

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO CON
APLICACIÓN DE COMPOST Y CULTIVO DE COBERTURA EN UN PARRÓN
DE UVA DE MESA**

KARIN ANDREA GUBELIN ALVARADO

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO CON
APLICACIÓN DE COMPOST Y CULTIVO DE COBERTURA EN UN PARRÓN
DE UVA DE MESA**

**SOIL PHYSICAL PROPERTIES ASSESMENT WITH COMPOST
APPLICATION AND COVER CROP IN A GRAPE VINE ORCHARD**

KARIN ANDREA GUBELIN ALVARADO

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO CON
APLICACIÓN DE COMPOST Y CULTIVO DE COBERTURA EN UN PARRÓN
DE UVA DE MESA**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo.

KARIN ANDREA GUBELIN ALVARADO

Profesor Guía	Calificaciones
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8
Sr. Rodrigo Callejas R. Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc. Agr.	6,6
Profesores Evaluadores	
Sr. Ian Homer B. Ingeniero Agrónomo, Dr. ing.	6,5
Sra. Susana Muñoz M. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	5,8

Santiago, Chile

2017

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, sobre todos mis padres (Walter y Luz María) por su apoyo incondicional.

A mis profesores guías (Oscar y Rodrigo), por su tiempo, disposición y paciencia. Gracias por ir más allá de la docencia y demostrar su gran calidad humana.

A los amigos que me ayudaron a montar este ensayo, gracias por su buena voluntad.

A mi pololo (Alejandro), por estar a mi lado en todo momento y ser un gran apoyo para terminar esta etapa.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODO	5
Lugar de estudio.....	5
Materiales.....	5
Tratamientos y diseño del experimento	6
Cultivo de cobertura.....	7
Compost.....	7
Evaluaciones	7
Propiedades físicas del suelo	7
Abundancia de raíces de la vid y producción de fruta	9
Análisis estadístico.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
Caracterización inicial del suelo	11
Densidad real y textura	11
Propiedades físicas del suelo	13
Densidad aparente.....	13
Distribución del tamaño de poros	15
Resistencia a la penetración.....	17
Estabilidad de los micro agregados.....	19
Conductividad hidráulica saturada (Ksat).....	20
Evaluaciones en la planta.....	22
Abundancia de raíces	22
Producción de fruta.....	23
Peso de racimos.....	24
CONCLUSIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	27
APÉNDICES	34
Apéndice 1	34
Descripción morfológica del suelo al inicio del ensayo	34
Apéndice 2	36
Abundancia de raíces finas y muy finas (F y MF) y medias (M)	36
Abundancia de raíces gruesas (G) y muy gruesas (MG)	37

RESUMEN

Considerando la relevancia de la uva de mesa en el norte del país y las restricciones asociadas a los suelos con bajo contenido de materia orgánica, se hace necesario el uso de enmiendas orgánicas para mejorar las condiciones físicas del suelo, con el propósito de aumentar o mantener los rendimientos en el tiempo. En el presente trabajo se evaluó la acción sinérgica del compost con un cultivo de cobertura, sobre las propiedades físicas del suelo y algunas variables de desarrollo de la vid. El estudio se realizó en Vicuña, Región de Coquimbo, sobre un suelo Typic Haplocambid cultivado con un parrón de uva de mesa variedad Queen Rose. Considerando unidades experimentales de 7 plantas en la hilera en un diseño en bloques al azar, en noviembre de 2014 se realizaron las aplicaciones de compost ($5,7 \text{ ton ha}^{-1}$) y en mayo de 2015 se realizó la siembra de haba ($500.000 \text{ plantas ha}^{-1}$). Se generaron así los tratamientos testigo (T0), suelo acondicionado con compost (T1) y suelo acondicionado con compost más cultivo de cobertura (T2). Al cabo de seis meses (septiembre de 2015) se evaluó por horizonte genético la densidad aparente, distribución de tamaño de poros, resistencia mecánica, estabilidad de los micro agregados y conductividad hidráulica, además del rendimiento y crecimiento de raíces. Los manejos generaron una tendencia a incrementar el agua aprovechable del suelo, alcanzando en el rango de 0-60 cm de profundidad, niveles de 61,8; 70,3 y 67,4 mm en los tratamientos T0, T1 y T2, respectivamente. Junto con esto, se mejoró la porosidad gruesa en superficie, especialmente con compost, aunque sin diferencias estadísticas significativas. Por otra parte, la mayor continuidad porosa se generó en el tratamiento de compost con haba (T2), el cual logró los mayores niveles de conductividad hidráulica, la que alcanzó niveles de 2,3; 3,5 y 6,9 cm h^{-1} en T0, T1 y T2, respectivamente. En cuanto a la resistencia mecánica, en general los valores se encontraron por debajo del valor crítico de 80 N. Finalmente, hubo un aumento en el peso promedio de racimo en T1 de un 5,9% con respecto al testigo, aunque sin lograr diferencias estadísticas significativas, por lo que es necesario continuar estudiando las alternativas de cultivos de cobertura para potenciar el efecto del compost sobre las propiedades físicas del suelo.

Palabras clave: *Vitis vinífera*, conductividad hidráulica, porosidad, compactación, productividad.

ABSTRACT

Considering the relevance of table grape in the north of Chile and constraints associated to soils with low organic matter content, it becomes necessary to use organic amendments to improve soil physical conditions with the purpose of increasing or maintaining yields over time. The present work assessed the synergic action of compost with a cover crop, evaluating soil physical properties and some development variables of *Vitis vinifera*. The study was conducted in Vicuña, Coquimbo Region, on a Typic Haplocambid cultivated with table grape, variety Queen Rose. Considering as experimental units 7 plants in a row, compost (5,7 ton ha⁻¹) applications in November 2014 and the sowing of broad bean (500.000 plants ha⁻¹) was carried out in May 2015. Treatments were defined as control (T0), soil conditioned with compost (T1) and soil conditioned with compost and cover crop (T2). After six months (September 2015) it was evaluated by genetic horizons the bulk density, pore size distribution, mechanical strength, stability of micro aggregates and hydraulic conductivity; while yield and root growth were evaluated in the vine. The managements generated a tendency to increase the available water of soil, reaching at 0-60 cm depth, levels of 61.8; 70.3 and 67.4 mm in treatments T0, T1 and T2 respectively. Also the coarse porosity increased on soil surface, especially with compost, although the greater porous continuity was generated by the treatment of compost with broad bean, which achieved the highest levels of hydraulic conductivity, with values of 2.3; 3.5 and 6.9 cm h⁻¹ in T0, T1 and T2, respectively. The mechanical strength, in general showed values below 80 N. Finally, there was an increase in the cluster weight in T1 of 5,9 % compared to the control treatment, although without significant differences. Therefore, it is necessary to continue studying cover crop alternatives to enhance the effect of compost on soil physical properties.

Key words: *Vitis vinifera*, hydraulic conductivity, porosity, soil compaction, productivity.

INTRODUCCIÓN

La función primaria de la agricultura es satisfacer la creciente demanda de alimentos a nivel mundial; sin embargo, la agricultura a su vez es el principal usuario de los recursos naturales y contribuye notablemente en la degradación de los suelos (Hamza y Anderson, 2005). La rápida y acelerada degradación de los suelos es un asunto de gran importancia hoy en día, tanto por sus efectos medioambientales como económicos; la forma en que se manejan tanto los suelos como los cultivos pueden tener un efecto negativo sobre las propiedades físicas del suelo, disminuyendo el rendimiento bajo sistemas altamente intensivos (Jarecki et al., 2005). El uso de grandes cantidades de fertilizantes y pesticidas ayuda a compensar estos efectos, manteniendo los rendimientos, pero tienen un gran potencial de contaminación y problemas a la salud, además de contribuir al alto consumo de energía, generando sistemas agrícolas insostenibles (Powlson et al., 2011). En base a esto, nace la necesidad de mejorar las técnicas de manejo para reducir la degradación física de los suelos, además de hacer uso de métodos sustentables que minimicen las consecuencias ambientales negativas (Hallberg, 1986; Bakker et al., 2004; Lanney et al., 2009).

Diversos autores (Abiven et al., 2009; Sainje et al., 2012; Karlen et al., 2013) señalan que prácticas que apuntan a una agricultura sustentable, como el uso de rotaciones de cultivos y la aplicación de enmiendas orgánicas por un periodo de tiempo prolongado, han demostrado que alteran positivamente las propiedades físicas del suelo y disminuyen el impacto ambiental negativo de los sistemas productivos intensivos.

La materia orgánica es un componente importante a la hora de mejorar las propiedades físicas del suelo, especialmente para sostener la productividad en suelos de zonas semiáridas, donde su presencia es escasa (Baginsky et al., 2010). Se ha demostrado que la aplicación de enmiendas orgánicas tiene efectos benéficos en las propiedades físicas del suelo, aumentando la estabilidad de los agregados, la distribución del tamaño de poros, la infiltración de agua y la capacidad de retención de agua en el perfil (Seguel et al., 2003; Hamza y Anderson, 2005; Porazinska y Wall, 2013). La consecuencia directa de la materia orgánica en el suelo se manifiesta en la estabilidad estructural, la cual es definida como la persistencia de los agregados frente a determinadas fuerzas destructivas, permitiendo mantener la funcionalidad física del suelo (Horn y Fleige, 2009).

Diversos estudios han demostrado una pérdida de productividad de las plantaciones de uva de mesa en Chile debido a un proceso de degradación de las propiedades físicas del suelo, como consecuencia de un exceso de tránsito (Sellés et al., 2012). Al respecto, se han buscado alternativas de manejos que prevengan esta degradación física del suelo. En un estudio realizado en Los Andes (Álvarez, 2013), se vio que el uso de cultivos de cobertura en asociación con lombrices de tierra podría ser una buena alternativa para mejorar las propiedades físicas del suelo; sin embargo, no es fácil asegurar la sobrevivencia de las lombrices.

Los cultivos de cobertura se siembran con el objetivo de reducir la erosión, protegiendo la superficie y manteniendo la estructura del suelo (Hartwig y Ammon, 2002). Están relacionados con la utilización de especies herbáceas, perennes o anuales, establecidas como monocultivo o rotación para cubrir el suelo durante todo o parte del año (Altieri, 1995). Estos son capaces de desempeñar un papel importante en la restauración de suelos degradados, resultando en un mejoramiento significativo de sus propiedades (Baginsky et al., 2010). Según Ingels (1992), los cultivos de cobertura tienen una gran gama de efectos benéficos, relacionados con el aumento de la fertilidad de los suelos, control de patógenos, retención de agua en periodos secos y como reserva de nitrógeno en el caso de las leguminosas. Además, el sistema de raíces que se regenera cada año renueva la porosidad del suelo y por ende su funcionalidad física, sin embargo, dependiendo del cultivo de cobertura, se podría generar alelopatía negativa hacia la vid, afectando sus rendimientos (Baginsky et al., 2010).

Por otra parte, en un estudio realizado en un parrón en Copiapó (Seguel et al., 2013), se vio que el estiércol fresco tiene mejores resultados sobre las propiedades físicas del suelo que un cultivo de cobertura; sin embargo, al ser un producto fresco con alta concentración salina, tiene un riesgo sobre el potencial productivo de la vid (Richards, 1983). Como alternativa, es posible utilizar enmiendas orgánicas estabilizadas, como el compost, el cual presenta una alta persistencia en el tiempo y casi nula carga de patógenos o salinidad (Baginsky et al., 2010).

El compostaje es un bioproceso aeróbico que permite la recuperación de los residuos orgánicos heterogéneos, convirtiéndolos en un producto homogéneo de gran calidad llamado compost. La aplicación de este producto a los suelos, permite incrementar la población microbiana existente, aumentando la fertilidad de los mismos (Albuquerque et al., 2007). Este producto es un buen mejorador de las propiedades físicas de los suelos, ya que aporta niveles importantes de materia orgánica estabilizada (Seguel et al., 2003). Además presenta baja densidad aparente ($0,5 \text{ Mg m}^{-3}$) y baja resistencia mecánica (Burés, 1997), por lo que su incorporación en el suelo permite mejorar la estructura, reduciendo la incidencia de la compactación y la susceptibilidad a la erosión, incrementando la capacidad de retención de agua y el intercambio gaseoso, lo que en último término resulta en un mayor desarrollo de raíces (Varnero, 2001; Zhang et al., 2005).

En base a estos antecedentes, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto que ejerce la aplicación de compost y su acción sinérgica con el establecimiento de un cultivo de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo cultivado con uva de mesa, junto con medir el efecto sobre el rendimiento y la abundancia de raíces de la vid.

MATERIALES Y MÉTODO

Lugar de estudio

El ensayo se realizó entre octubre de 2014 y enero 2016, en el Fundo Los Pozos, ubicado en la localidad de El Durazno (Coordenadas 30°02'17,6''S 70°40'15''W), perteneciente a la Comuna de Vicuña, Región de Coquimbo, mientras que los análisis físicos de suelo se ejecutaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Materiales

El estudio corresponde a la finalización de un ensayo que comenzó el año 2013, con los mismos tratamientos utilizados en el presente estudio y en las mismas unidades experimentales (Figura 1), de manera que en la presente memoria se ven los efectos acumulados de los manejos propuestos. Este se llevó a cabo en un campo con plantación de vid de mesa cv. Queen Rose con un sistema de conducción tipo parrón español, plantadas en 1997 sobre una platabanda de 20 cm de altura y aproximadamente 1 metro de ancho. El marco de plantación es de 3 x 2 m² y se utilizó un sistema de riego localizado de alta frecuencia, que constó de 2 líneas de goteo, a 80 cm cada gotero sobre la línea, con emisores de 1,6 L h⁻¹. Existió una distancia de 15 cm entre la línea de goteo y el tronco de la planta.

El sector posee un clima que se encuentra en una transición entre clima mediterráneo desértico y semidesértico con matiz estepárica cálida en el interior (Novoa y López, 2001). Las temperaturas diarias promedio varían desde un mínimo de 5,8 °C en julio a un máximo de 28,3 °C en enero. Las precipitaciones del sector presentan una media histórica de 81,6 mm, concentradas principalmente en invierno, con una evapotranspiración potencial anual de 1132,1 mm (Uribe et al., 2012).

El suelo pertenece a la Serie Vicuña, la cual según CIREN (2005) es miembro de la Familia limosa fina sobre arenosa esquelética, mixta, térmica, de los Typic Haplocambids (Aridisol). Posee texturas dominantes francas finas, pero descansa sobre un sustrato pedregoso de matriz gruesa. Es un suelo bien drenado, moderadamente profundo y pendientes en el rango de 2 a 5%.

Tratamientos y diseño del experimento

En un diseño de bloques completos al azar, se establecieron unidades experimentales (1 metro de ancho y 14 metros de largo) constituidas por parcelas de 7 plantas cada una, abarcando la hilera de plantación (bloque en cada uno de los cuales se distribuyeron los tres tratamientos), totalizando 3 bloques. Cada bloque estuvo compuesto por tres tratamientos distribuidos al azar. Los tratamientos, con tres repeticiones, se establecieron sobre la hilera de plantación:

- T0: Control
- T1: Compost
- T2: Compost + Haba

En la Figura 1 se presenta la línea de tiempo con los manejos y aplicaciones realizadas en la presente memoria y los manejos previos.

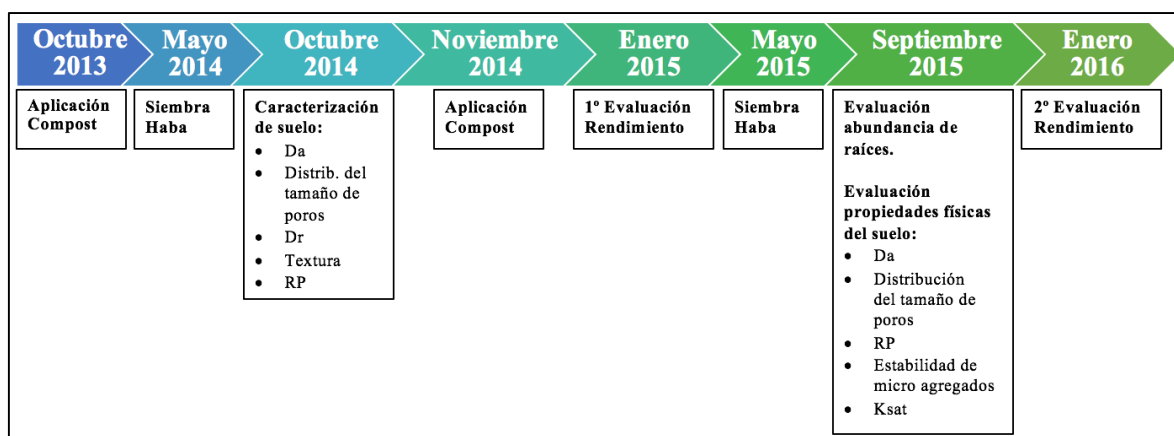


Figura 1. Línea de tiempo de los manejos y evaluaciones durante y previo al ensayo. RP: Resistencia a la penetración; Dr: Densidad real; Da: Densidad aparente; Ksat: Conductividad hidráulica saturada.

En octubre de 2014 se realizó la caracterización de suelo, a continuación, en noviembre de 2014 se procedió a hacer la aplicación del compost. La primera evaluación de rendimiento se realizó en enero de 2015, luego se hizo la siembra del cultivo de cobertura en mayo de 2015. Para evaluar el efecto de los tratamientos, se realizó una segunda evaluación de propiedades de suelo y rendimiento, en septiembre de 2015 y enero de 2016 respectivamente, donde se incluyó también la abundancia de raíces (septiembre 2015). Para las evaluaciones de suelo se consideró el espacio entre las 2 plantas centrales de vid de cada unidad experimental.

Cultivo de cobertura

El cultivo de cobertura utilizado fue haba (*Vicia faba*) de crecimiento determinado. La siembra se realizó a mano, depositando la semilla en surcos abiertos sobre la platabanda, acción realizada 24 horas después de un riego para lograr una condición cercana a capacidad de campo. Esto último se hizo con el fin de dar a la semilla las condiciones óptimas de humedad y así favorecer el proceso de germinación. La dosis sembrada fue de 500.000 plantas ha⁻¹, y se llevó a cabo depositando una semilla cada 10 cm, a una distancia entre hileras de 20 cm y un total de 3 hileras, con una distribución espacial de una hilera a cada lado y otra central, en línea con el tronco de vid. Se empleó un inoculante comercial de *Rhizobium leguminosarum* bv viciae en dosis de 150 gramos de inoculante por cada 50 kg de semilla, con el fin de favorecer la fijación de nitrógeno atmosférico.

En cuanto a la fertilización y los riegos, estos se realizaron en función de las necesidades de la vid, alterando de esta forma lo menos posible el manejo habitual realizado por el agricultor. Con respecto al riego, al año se aplican en promedio 7300 m³ ha⁻¹ de agua y en cuanto a la fertilización, por temporada se aplican N, P, K equivalente a 100, 30 y 200 kg ha⁻¹ respectivamente.

Compost

La enmienda orgánica correspondió a compost clase A de la empresa Rosario S.A., de origen vegetal, con un pH 7 y una CE < 3 dS m⁻¹. La dosis utilizada fue de 5700 kg ha⁻¹ y su aplicación se realizó sobre zanjas construidas sobre la hilera de plantación de la vid, con una aplicación de 7 litros de compost por zanja. Estas zanjas tuvieron un ancho aproximado de 20 cm y un largo equivalente a la distancia que existió entre las dos plantas de vid; la profundidad de estas fluctuaron entre 20 y 30 cm. Una vez aplicado el compost, se cubrió con suelo de alrededor, con el objeto de evitar pérdidas de humedad y/o excesos de calor que pudiesen afectar a su composición física o química.

El tratamiento T2 consideró aplicación de compost y cultivo de cobertura. Para esto, primero se aplicó el compost de la misma forma que en T1 y, posteriormente, se sembró el haba sobre el compost, siguiendo la metodología ya descrita.

Evaluaciones

Propiedades físicas del suelo

Al inicio del presente ensayo (octubre 2014), se realizó una caracterización morfológica del suelo mediante calicatas, de acuerdo a estándares de Schoeneberger et al. (2012), con el

objeto de comprobar la homogeneidad del sitio del ensayo. Para esto se efectuó la descripción morfológica incluida en el Apéndice 1 y se tomaron muestras según horizontes genéticos.

Como caracterización inicial, mediante muestras tamizadas a 2 mm, se determinó la densidad real (D_r) por el método del picnómetro y la textura por el método del hidrómetro, ambos descritos por Sandoval et al. (2012).

En septiembre de 2015 se realizó una segunda campaña de muestreo, realizando 9 calicatas en total, perpendiculares a la unidad experimental, a 30 cm del eje de la planta de vid y tomando muestras a profundidades aproximadas de 0-15, 15-30 y 30-65 cm, de acuerdo a los horizontes genéticos, evaluándose las propiedades físicas relevantes para los manejos propuestos: densidad aparente, distribución de tamaño de poros, resistencia a la penetración, estabilidad de micro agregados y velocidad de infiltración.

La distribución de tamaño de poros se determinó a través de muestras colectadas en cilindros (5,9 cm de diámetro, 5 cm de altura), las cuales fueron sometidas a succión mediante cama de arena y olla de presión a distintas tensiones, permitiendo relacionar una determinada retención de agua con su respectivo diámetro de poro (Dane y Hopmans, 2002). Se aplicaron tensiones de 0,2, 6 y 33 kPa de presión en cama de arena y olla de presión, mientras que a muestras disturbadas se les midió la retención de agua a 1.500 kPa en plato de presión, cuyo valor en base gravimétrico fue debidamente transformado a base volumétrica. Con estos datos fue posible caracterizar los poros de drenaje rápido (PDR) mediante la diferencia entre la porosidad total y el equilibrio a los -6 kPa; los poros de drenaje lento (PDL) como la diferencia entre los contenidos de agua a -6 y -33 kPa, y finalmente poros responsables de almacenar agua de útil para las plantas (PAU), que se calculó por la diferencia entre la retención de agua a -33 y -1.500 kPa. Con las muestras de los cilindros secas en estufa a 105°C se calculó la densidad aparente mediante el método del cilindro (Sandoval et al., 2012); a partir de esta se calculó el contenido de agua volumétrico de la retención de agua a -1500 kPa.

Para evaluar la resistencia a la penetración (Lowery y Morrison., 2002), se utilizó un medidor de fuerza digital Extech, el cual posee un rango de medición de entre 0 y 220 N. La medición se realizó 24 horas después de un riego, de manera de igualar el estado energético del agua a una condición cercana a capacidad de campo. Para la medición, se hicieron calicatas perpendiculares a la unidad experimental, a 30 centímetros del tronco de la vid, de 1 metro de profundidad y 1 metro de ancho. En cada calicata se hicieron cuadrículas de 20 x 20 cm², midiendo en cinco secciones a lo ancho del perfil y en cuatro profundidades (0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm). En cada cuadrícula se realizaron seis mediciones, las cuales fueron promediadas. En la primera temporada de muestreo se evaluó solo una repetición (3 calicatas) y en la segunda temporada, todas las repeticiones (9 calicatas). Solo para efectos de comparación estadística entre tratamientos, las submuestras ($n = 6$) de la primera temporada fueron consideradas como repeticiones.

La estabilidad de los micro agregados se evaluó solo en la segunda temporada de medición, mediante el método de la razón de dispersión (RD) según lo describen Berryman et al. (1982). Para esto, de cada muestra se seleccionaron agregados con un diámetro de entre 1 y 2 mm y se sometieron a una dispersión con agua destilada. Por otro lado se tomó una contra muestra, la cual se dispersó totalmente con un dispersante sódico (pirofosfato de sodio 0,5 N, Merck) y agitación mecánica por diez minutos. A ambas muestras se les determinó el contenido de limo y arcilla según la metodología del hidrómetro de Bouyoucos, de manera de determinar la razón de dispersión (RD, %) según la siguiente fórmula:

$$RD = \frac{(A + L)w}{(A + L)t} * 100$$

Donde:

(A+L)w = Arcilla + Limo de la dispersión en agua destilada.

(A+L)t = Arcilla + Limo de la solución con dispersante sódico y agitación mecánica.

El parámetro RD corresponde a un índice de dispersión, por lo que al observarse un valor menor, mayor será la estabilidad de los agregados.

En la segunda temporada únicamente, se midió en campo la conductividad hidráulica no saturada (Kns) mediante el método del minidisco infiltrómetro, a cuatro tensiones de suministro de agua (-1, -2, -4 y -6 hPa) (Reynolds, 2006). Se empleó una arena fina como interfase de contacto entre el equipo y la superficie rugosa en el suelo (Angulo-Jaramillo *et al.*, 2000) y se registró la altura de agua infiltrada cada 30 segundos durante un periodo de tiempo de 10 minutos ó hasta alcanzar el equilibrio en la tasa de entrada de agua al suelo. Para el procesamiento de los datos se utilizó el método descrito por Zhang (1997), que considera la geometría del bulbo de mojamiento en función de la clase textural del suelo. Para el cálculo de la conductividad hidráulica fue preciso al menos 15-20 mL de agua infiltrada en el suelo durante cada medición, realizándose un ajuste cuadrático de la altura de agua infiltrada en función de la raíz cuadrada del tiempo. Con el coeficiente de curvatura (C₁) del ajuste se calculó la conductividad hidráulica no saturada (Kns) mediante $Kns=C_1/A$, donde A es el parámetro de conexión en función de la clase textural del suelo. Finalmente, con el ajuste de Kns en función de la tensión de medición, se calculó la conductividad hidráulica saturada (Ksat) al proyectar el ajuste lineal a la tensión cero.

Abundancia de raíces de la vid y producción de fruta

Con el objeto de conocer el efecto de los tratamientos sobre la vid, se evaluó la producción de uva comercial (kg/planta), peso de racimos (g) y abundancia de raíces. Las dos primeras mediciones se realizaron en enero de 2015 y enero de 2016, donde se evaluó cada una de las plantas de la unidad experimental. Para la abundancia de raíces, según criterios de tamaño de Schoeneberger et al. (2012), se hicieron mediciones en septiembre de 2015. Esta última se llevó a cabo en las mismas calicatas de medición de resistencia y las muestras se

tomaron de las dos plantas centrales de cada unidad experimental. En cada calicata se hicieron cuadrículas de $20 \times 20 \text{ cm}^2$ a lo ancho del perfil (1 m de ancho total) y en cuatro profundidades (0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm). En cada cuadrícula se determinó el número de raíces finas y muy finas ($< 2 \text{ mm}$), medias (2-5 mm), y raíces gruesas y muy gruesas ($> 5 \text{ mm}$). Como no hubo diferencias según la posición respecto al eje de la planta, se promediaron los valores de una misma profundidad, considerándolos como repeticiones, los cuales se compararon con los otros tratamientos dentro de un mismo tamaño de raíz.

Para la evaluación de rendimiento, se pesaron dos racimos (tamaño comercial) de cada planta y luego se promediaron los pesos, para calcular el peso promedio de racimo por planta en cada unidad experimental. Posteriormente se contó el número de racimos de cada planta y con estos datos se estimó el rendimiento promedio por unidad experimental en kg/planta. Cabe destacar que generalmente en el predio se trabajó con una regulación de carga de 34 racimos por planta; sin embargo, en la segunda temporada casi no hubo regulación de carga, debido al bajo número de racimos por planta.

Análisis estadístico

Para comparar las propiedades entre tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) a una misma profundidad, con un nivel de significancia de un 5%. En los casos en que se detectó significancia, se realizó un test de rango múltiple (LSD) con un nivel de significancia de un 5%, para así poder identificar los tratamientos con diferencias estadísticamente significativas. También se realizaron comparaciones dentro de un mismo tratamiento y profundidad para la resistencia a la penetración y la abundancia de raíces, para ver si existieron diferencias estadísticamente significativas a lo ancho del perfil. Las pruebas de infiltración fueron ajustadas a expresiones lineales (significancia de 5%) mediante pruebas de regresión. Además se realizó una prueba t para las mediciones de Kns (previa transformación logarítmica) en función de la tensión de suministro, en la que se compararon los interceptos de la recta, la cual equivale a la K saturada (Ksat). A partir de los intervalos de confianza ($p > 95\%$) de los ajustes, se estimaron los límites inferiores y superiores de la Ksat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización inicial del suelo

En base a la descripción morfológica realizada al inicio del ensayo (Apéndice 1), se comprobó que el suelo pertenece a la Serie Vicuña. Si bien los horizontes presentan un rango de variación en su espesor, en general coinciden entre los distintos sectores del ensayo, permitiendo realizar el muestreo en las profundidades seleccionadas.

Densidad real y textura

La Dr es una propiedad física fundamental, ya que refleja las características y origen de los minerales del suelo. Valores típicos para suelos minerales van en el rango de 2,5 a 2,8 Mg m⁻³, siendo 2,65 Mg m⁻³ el valor representativo para muchos casos, ya que corresponde a la Dr del cuarzo, mineral muy abundante en la mayoría de los suelos (Warrick, 2002). El Cuadro 1 presenta los resultados de la Dr según tratamiento y profundidad de suelo.

Cuadro 1. Densidad real (Mg m⁻³, promedio ± DS) de los tratamientos para las distintas profundidades de muestreo en la primera temporada de medición (2014).

Tratamiento	Densidad real (Mg m ⁻³)		
	Profundidad (cm)		
	0-15	15-30	30-80
Testigo (T0)	2,42 (±0,06) ab*	2,56 (±0,06) a	2,59 (±0,09) a
Compost (T1)	2,31 (±0,08) a	2,47 (±0,10) a	2,53 (±0,06) a
Compost + Haba (T2)	2,52 (±0,06) b	2,52 (±0,02) a	2,54 (±0,08) a

*Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad.

Según Brady y Weil (2002), la densidad real de los suelos de mineralogía cristalina puede variar entre 2,60 y 2,75 Mg m⁻³, evaluándose en el ensayo valores entre 2,31 y 2,59 Mg m⁻³. Los valores más bajos se encontraron en T1 y T0, donde la Dr alcanzó valores de 2,31 y 2,42 Mg m⁻³ en superficie (0-15 cm). La densidad real de materiales orgánicos varía entre 1,2 y 2,0 Mg m⁻³ (Warrick, 2002), por lo que para suelos a los que se les ha aplicado altas dosis de enmiendas orgánicas se esperan valores menores a 2,65 Mg m⁻³, dada la menor Dr de la MO (Seguel et al., 2003). Para el resto de las situaciones, el rango entre 2,4 y 2,6 Mg m⁻³ se puede explicar por el material parental, en que sedimentos aluviales con minerales secundarios, con abundancia de sales solubles, pueden presentar valores bajos de Dr, aún sin tener un elevado contenido de materia orgánica (Schaetzl y Anderson, 2005).

En el Cuadro 2 se presentan las evaluaciones de textura realizadas al inicio del ensayo. La

clasificación se hizo en base a USDA (Shoeneberger et al., 2012).

Cuadro 2. Distribución de tamaño de partículas (A: arcilla; L: limo; a: arena) de los tratamientos para las distintas profundidades.

Tratamiento	Textura			
	Profundidad (cm)			
	0-15	15-30	30-80	>80
	% A			
Testigo (T0)	25,1	25,0	22,6	7,4
Compost (T1)	18,9	19,9	9,5	-
Compost + Haba (T2)	19,3	22,6	27,3	5,6
	% L			
Testigo (T0)	27,8	27,1	23,0	2,2
Compost (T1)	32,2	29,3	8,7	-
Compost + Haba (T2)	32,1	31,1	28,9	3,4
	% a			
Testigo (T0)	47,2	47,9	54,4	90,4
Compost (T1)	48,9	50,8	81,8	-
Compost + Haba (T2)	48,6	46,1	43,8	91,0

A partir de lo observado en el Cuadro 2, se destaca la alta homogeneidad textural que se encuentra en los primeros 30 cm de profundidad, determinándose valores de arena entre 46 y 51% y de arcilla entre 19 y 25%. Por otra parte, en el subsuelo (bajo los 80 cm de profundidad) se encuentra un sustrato arenoso, típico de suelos aluviales jóvenes (Casanova et al., 2013). A partir de los valores de separados texturales, se determinó la clase textural (Cuadro 3), determinando que la mayoría de los casos se encuentra en el límite de las clases franco arcillo arenosa (FAa) y franca (F).

Cuadro 3. Clase textural en función de la profundidad del suelo.

Tratamiento	Clase Textural			
	Profundidad (cm)			
	0-15	15-30	30-80	>80
Testigo (T0)	FAa	FAa	FAa	a
Compost (T1)	F	F	aF	-
Compost + Haba (T2)	F	F	FA	a

El tratamiento T0 presentó un suelo homogéneo hasta los 80 cm de profundidad, correspondiendo a una clase textural franco arcillo arenosa, la cual, al presentar un porcentaje mayor al 15% de arcilla, lo hace susceptible a la compactación (Horn, 2003). A partir de los 80 cm de profundidad se observa una pérdida de material fino, llegando a una matriz arenosa, descripción que concuerda a la realizada por CIREN (2005).

En el caso de T1 y T2, ambos presentan una clase textural franca hasta los 32 cm de profundidad (Cuadro 3). Luego, a partir de los 32 cm, incrementa el contenido de arena en

el tratamiento T1, esto debido a un límite ondulado donde aparece el material más grueso; es por esto que se determinaron las profundidades de muestreo hasta 65 cm, asegurando así el muestreo en un suelo franco a franco fino, evitando muestrear material areno francoso (aF) de la parte superior del límite ondulado.

Propiedades físicas del suelo

Se hicieron evaluaciones de las propiedades físicas en dos momentos. La primera fecha de evaluación fue en octubre de 2014, periodo en que la vid está en proceso de floración. La segunda fecha fue en septiembre de 2015, a inicios de primavera, donde la vid está en estado de brotación.

Densidad aparente

En el Cuadro 4 se presentan los valores de densidad aparente (D_a), donde se observan los efectos benéficos de la MO en los tratamientos T1 y T2 en superficie (0-15 cm), en comparación con el tratamiento testigo, en ambas fechas de medición; sin embargo, dada la alta variabilidad del tratamiento testigo, en la segunda fecha de medición no se registraron diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 4. Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$, promedio \pm DS) de los tratamientos para las distintas profundidades de muestreo y tiempos de medición.

Tratamiento	Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$)		
	Profundidad (cm)		
	0-15	15-30	30-65
	Temporada 1 (octubre 2014)		
Testigo (T0)	1,17 ($\pm 0,14$) b*	1,33 ($\pm 0,14$) a	1,28 ($\pm 0,07$) a
Compost (T1)	0,93 ($\pm 0,04$) a	1,22 ($\pm 0,08$) a	1,40 ($\pm 0,09$) a
Compost + Haba (T2)	0,84 ($\pm 0,11$) a	1,37 ($\pm 0,05$) a	1,35 ($\pm 0,04$) a
	Temporada 2 (septiembre 2015)		
Testigo (T0)	1,25 ($\pm 0,29$) a	1,38 ($\pm 0,11$) a	1,50 ($\pm 0,03$) b
Compost (T1)	1,14 ($\pm 0,07$) a	1,38 ($\pm 0,12$) a	1,27 ($\pm 0,08$) a
Compost + Haba (T2)	1,17 ($\pm 0,05$) a	1,37 ($\pm 0,08$) a	1,27 ($\pm 0,12$) a

*Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad y tiempo de medición.

La densidad aparente (D_a) es una de las propiedades más sensibles a las intervenciones antrópicas del suelo (Zeng et al., 2013), siendo una propiedad altamente dinámica, y por ende no completamente confiable para evaluar el estado físico del suelo, aunque es adecuada para reflejar la variabilidad de los manejos en el corto plazo (Horn y Fleige,

2009). Considerando las clases texturales franco-finas, en general los valores de D_a se presentan dentro de rangos normales, con incrementos en profundidad en la medida que aumenta el contenido de arena (Sandoval et al., 2012). La excepción la constituyen las muestras superficiales de los tratamientos con compost (T1 y T2), que presentaron valores bajos, dado el aporte de MO, tal como lo observaron Seguel et al. (2003) en un Mollisol de la zona central de Chile al cual se le aplicó una dosis alta de estiércol.

En la primera temporada de medición, la D_a disminuyó entre los 0-15 cm cuando se utilizó compost y cuando se complementó el compost con el haba (T1 y T2), desapareciendo este efecto en profundidad. Esta menor D_a se traduce en una mayor porosidad, la cual es generada por el compost, que posee una baja D_a y favorece la estructuración del suelo (Abiven et al., 2009). Si bien en la segunda fecha de medición no se observaron diferencias estadísticas significativas en superficie (0-15 cm), los tratamientos T1 y T2 mantuvieron valores menores en relación al testigo. El aumento de D_a superficial (0-15 cm) de una temporada a otra se podría deber al pisoteo de los trabajadores al momento de realizar los manejos pertinentes a la vid.

Según Sellés et al. (2012) la vid es relativamente sensible a altos valores de D_a , afectándose el desarrollo del sistema radical de la vid de mesa con valores de D_a superiores a $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$. En el Cuadro 4 se puede observar que sobre el 90% de los datos están bajo $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$.

En un estudio realizado en el Valle de Copiapó por Seguel et al. (2013), en un suelo franco fino, se encontró que el uso de guano de cabra como enmienda orgánica disminuyó significativamente los valores de D_a en superficie, coincidiendo con la profundidad de aplicación de la enmienda. Al contrario, en un estudio de Aravena (2014), donde se aplicaron distintas enmiendas orgánicas en la hilera de plantación, entre ellas compost, en un huerto de olivos en la Región de Coquimbo, no obtuvo diferencias significativas de la D_a en superficie (0-10 cm) con respecto al testigo. Por otra parte, el uso de una rotación de cultivos de cobertura en el estudio de Seguel et al. (2013) no generó resultados significativos en superficie, pero sí en profundidad (10-30 cm), donde se incrementó la macro porosidad gracias al desarrollo de las raíces, las cuales fueron capaces de desplazar las partículas del suelo, generando porosidad gruesa a medida que crecieron en longitud y diámetro.

De acuerdo a Seguel et al. (2011), quienes trabajaron en Copiapó en un suelo franco arenoso con grava, el uso de cultivos de coberturas no genera diferencias estadísticamente significativas de la D_a en el corto plazo, siendo necesario un periodo de tiempo mayor para generar efectos positivos sobre el suelo. A diferencia de este estudio, en el presente ensayo, se observaron disminuciones en superficie de la densidad aparente, detectándose un efecto de la acción conjunta del cultivo de cobertura más la enmienda orgánica (T2), aunque con un efecto concentrado solo en superficie. Al respecto, Seguel et al. (2013) señalan que a medida que las raíces de los cultivos de cobertura forman una nueva red de poros, estos también se expanden en diámetro y longitud, produciendo una aglutinación de las partículas del suelo y resultando en un poro con una estabilidad mucho mayor cuando mueren las raíces.

Distribución del tamaño de poros

Para determinar la distribución de tamaño de poros se realizaron curvas de retención de agua, las que se generaron al someter muestras no disturbadas a distintas tensiones. Los resultados se presentan en los cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Distribución de tamaño de poros (% , promedio \pm DS) de los tratamientos para las distintas profundidades de muestreo en la temporada 1 (octubre 2014).

Tratamiento	Porosidad (%)		
	Profundidad (cm)		
	0-15	15-30	30-65
	PDR (>50 μ m)		
Testigo (T0)	14,9 (\pm 3,2) a*	14,2 (\pm 1,0) a	16,4 (\pm 0,4) a
Compost (T1)	19,9 (\pm 0,9) a	13,9 (\pm 0,8) a	10,4 (\pm 2,5) b
Compost + Haba (T2)	18,9 (\pm 5,1) a	13,5 (\pm 1,2) a	13,2 (\pm 1,3) b
	PDL (10-50 μ m)		
Testigo (T0)	5,0 (\pm 0,3) a	3,4 (\pm 0,6) b	3,7 (\pm 0,7) a
Compost (T1)	7,6 (\pm 2,1) a	5,3 (\pm 0,8) a	3,8 (\pm 0,3) a
Compost + Haba (T2)	6,0 (\pm 2,0) a	3,2 (\pm 0,5) b	5,5 (\pm 3,5) a
	PAU (0,2-10 μ m)		
Testigo (T0)	8,6 (\pm 4,3) a	11,7 (\pm 1,3) a	12,4 (\pm 1,7) a
Compost (T1)	14,5 (\pm 1,2) a	10,8 (\pm 2,1) a	13,2 (\pm 0,8) a
Compost + Haba (T2)	11,5 (\pm 2,1) a	11,9 (\pm 1,7) a	12,9 (\pm 1,5) a

PDR: Poros de drenaje rápido; PDL: Poros de drenaje lento; PAU: Poros de agua útil.
*Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad y para un mismo tamaño de poro.

Cuadro 6. Distribución de tamaño de poros (% , promedio \pm DS) de los tratamientos para las distintas profundidades de muestreo en la temporada 2 (septiembre 2015).

Tratamiento	Porosidad (%)		
	Profundidad (cm)		
	0-15	15-30	30-65
	PDR (>50 μ m)		
Testigo (T0)	18,3 (\pm 5,9)	15,1 (\pm 3,4)	10,8 (\pm 1,4)
Compost (T1)	16,8 (\pm 4,8)	13,0 (\pm 2,1)	16,0 (\pm 3,8)
Compost + Haba (T2)	17,0 (\pm 4,4)	16,0 (\pm 3,9)	15,3 (\pm 2,3)
	PDL (10-50 μ m)		
Testigo (T0)	4,6 (\pm 2,1)	4,6 (\pm 1,4)	4,7 (\pm 1,4)
Compost (T1)	8,7 (\pm 4,6)	5,7 (\pm 2,6)	4,1 (\pm 0,8)
Compost + Haba (T2)	4,9 (\pm 0,6)	4,4 (\pm 1,5)	3,8 (\pm 1,1)
	PAU (0,2-10 μ m)		
Testigo (T0)	10,5 (\pm 1,2)	7,8 (\pm 2,1)	11,9 (\pm 3,7)
Compost (T1)	12,3 (\pm 2,2)	10,7 (\pm 1,4)	12,2 (\pm 4,1)

Compost + Haba (T2)	16,3 ($\pm 9,7$)	9,5 ($\pm 1,1$)	10,7 ($\pm 0,9$)
---------------------	--------------------	-------------------	--------------------

PDR: Poros de drenaje rápido; PDL: Poros de drenaje lento; PAU: Poros de agua útil. No se registraron diferencias estadísticas significativas.

La capacidad del suelo para transportar y almacenar agua depende de la proporción y funcionalidad de sus poros, por lo que una proporción adecuada de todos los tamaños es importante para la funcionalidad física del suelo (Warrick, 2002). La cuantificación del espacio poroso permite entender las modificaciones inducidas por prácticas de manejo y de esta forma, se pueden identificar las prácticas que son más compatibles con la protección de la estructura del suelo (Hartge y Horn, 2016).

Cuando se habla de poros gruesos ($>50 \mu\text{m}$) o poros de drenaje rápido, la literatura señala un mínimo de 12% como un valor referencial para un adecuado desarrollo de la vid (INIA, 2000). Todos los tratamientos en superficie (0-30 cm) presentaron valores de PDR mayores al 12% en ambas fechas de medición. A pesar que no se observan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento testigo, se puede distinguir dentro de los primeros 15 cm la tendencia a un incremento de la porosidad gruesa en los tratamientos T1 y T2 para la primera temporada de medición. Según la clasificación de Pagliai y Vignozzi (2002), todo el perfil y en ambas fechas de medición, estaría dentro del rango de suelos moderadamente porosos. La mayor cantidad de PDR en profundidad (30-65 cm) en la primera temporada para el tratamiento testigo, se podría explicar por la presencia de un límite ondulado a esa profundidad, donde empieza a aparecer el material más grueso, el cual posee un mayor porcentaje de PDR, dada su naturaleza (Ruiz et al., 2007). Al igual que en este estudio, Aravena (2014) observó que al aplicar compost en la hilera de plantación, en un huerto de olivos en la Región de Coquimbo, no se obtuvieron resultados significativos de la porosidad gruesa en superficie (0-10 cm) con respecto al testigo.

Los PDL mostraron valores similares entre los tratamientos y a lo largo de las dos temporadas de estudio, con valores en el rango de 3,4 a 6,0 %, con excepción del tratamiento con compost (T1) en superficie (0-15 cm), que superó el 7%. Este tamaño de poros en general presenta montos bajos (Seguel et al., 2011), pero presenta la ventaja de jugar un papel dual en el suelo, ya que al drenarse lentamente pueden constituir parte de la porosidad de agua aprovechable (Reynolds et al., 2009). Así, la tendencia del T1 de incrementar los PDL podría estar reflejando un proceso de estructuración secundaria una vez que el compost pase a constituir la MO del suelo.

La curva característica de retención de agua del suelo muestra el comportamiento de los distintos horizontes en la medida que se secan, pudiendo establecerse los valores de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) como un estado energético del agua en el suelo. Así, con el rango entre ambos se puede determinar el agua aprovechable o porosidad de agua útil (PAU), que corresponde al agua energéticamente disponible para la absorción de los vegetales (Warrick, 2002). Si bien no existieron diferencias estadísticas significativas, la mayor cantidad de agua aprovechable promovida por el compost, generó un valor ponderado de los PAU entre 0-65 cm de profundidad de

69,2; 75,7 y 74 mm en la primera temporada para T0, T1 y T2, respectivamente; y para la segunda temporada de 61,8; 70,3; 67,4 mm, respondiendo a la buena persistencia del compost en el tiempo (Abiven et al., 2009).

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración permite estimar el esfuerzo necesario que deben ejercer las raíces en el suelo para poder abrirse paso a través del perfil. En el suelo se requiere un mínimo de resistencia mecánica para asegurar traficabilidad y sustentación física de los cultivos (Schäffer et al., 2010). Valores elevados de resistencia a la penetración podrían relacionarse con problemas de compactación, los cuales en algunos casos pueden causar un impedimento al crecimiento radical (Lindstrom y Voorhees, 1994). Una práctica alternativa para eliminar la compactación es utilizar cultivos cuyas raíces tengan la habilidad de penetrar el suelo, de tal forma que cultivos con sistemas radicales vigorosos proveerían una forma más económica y de menor gasto energético que la labranza para reducir la compactación del subsuelo en sistemas agrícolas (Trückmann et al., 2006). En el Cuadro 7 se presentan los valores de resistencia a la penetración horizontal, para cada uno de los tratamientos en profundidad, evaluados a capacidad de campo.

Cuadro 7. Resistencia a la penetración promedio (N, promedio \pm DS) de los tratamientos para las distintas profundidades de muestreo.

Tratamiento	Resistencia a la penetración (N)			
	Profundidad			
	0-20	20-40	40-60	60-80
Temporada 1 (octubre 2014)				
Testigo (T0)	48,9 (\pm 13,3) a*	31,7 (\pm 13,7) a	46,0 (\pm 14,8) a	136,3 (\pm 43,6) a
Compost (T1)	56,3 (\pm 6,10) a	18,3 (\pm 10,4) a	177,7 (\pm 13,7) c	196,7 (\pm 5,80) b
Compost + Haba (T2)	100,6 (\pm 27,5) b	105,0 (\pm 19,5) b	75,3 (\pm 9,10) b	76,7 (\pm 27,5) a
Temporada 2 (septiembre 2015)				
Testigo (T0)	93,8 (\pm 38,2) a	64,1 (\pm 17,1) a	53,4 (\pm 9,4) a	41,9 (\pm 4,8) a
Compost (T1)	69,5 (\pm 31,8) a	69,6 (\pm 26,5) a	59,4 (\pm 9,4) a	56,0 (\pm 11,7) b
Compost + Haba (T2)	74,8 (\pm 28,5) a	80,3 (\pm 20,0) a	74,7 (\pm 11,0) b	65,2 (\pm 24,8) b

*Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad y para una misma temporada.

De acuerdo a la clasificación de Shoeneberger et al. (2012), en superficie (0-20 cm) de la primera temporada de medición, los mejores resultados se obtuvieron en T0 y T1, donde los agregados estuvieron dentro del rango de muy firmes (40-80 N), situación que se mantuvo en profundidad hasta los 40 cm en T1 y hasta los 60 cm en T0. En ambos tratamientos, a mayor profundidad se alcanzaron rangos extremadamente firmes ($>$ 80 N). Por su parte, T2 es extremadamente firme en superficie (0-40 cm) y muy firme en profundidad (40-80 cm), con diferencias estadísticas significativas respecto a T0 y T1, y un comportamiento inverso a estos en profundidad. Según Pagliai y Vignozzi (2002), existe una fuerte correlación entre la porosidad del suelo y la resistencia a la penetración, a tal punto que al disminuir la

porosidad se incrementa la resistencia. Sin embargo, no fue el caso en este ensayo, donde el T2 presentó en general mayores resistencias mecánicas en ambas temporadas, aun cuando presentó bajos niveles de D_a en superficie. Estas diferencias pueden haberse generado por el riego previo a la medición, el cual fue uniforme para todos los tratamientos, y como el compost posee una mayor capacidad de retención de agua, se generó un diferencial de potenciales mátricos entre los tratamientos, con valores más negativos en T1 y T2. Así, tal como lo indican Stock y Downes (2008), la resistencia a la penetración aumenta en forma exponencial en función de la disminución del potencial mátrico.

Para la segunda temporada de medición, en superficie (0-40 cm) no hubo diferencias significativas entre tratamientos, manteniéndose la mayoría dentro del rango de los agregados muy firmes. En profundidad (40-80 cm) se mantiene la misma tendencia, es decir, se observan valores que estarían dentro del mismo rango (muy firmes), no obstante se generaron diferencias estadísticas entre tratamientos, donde T0 presentó los menores valores, seguido por T1 y luego T2. La disminución de valores en profundidad del T0 puede haberse dado por un riego más largo, que pudo haber provocado que el suelo estuviese más húmedo. Contrario a lo que ocurrió en la primera temporada de medición, este riego más largo generó que T2 almacenara más agua en superficie, disminuyendo su potencial mátrico y por ende disminuyendo su resistencia mecánica de una temporada a otra.

Hay ciertos factores que inciden en la resistencia a la penetración, tales como el contenido de agua, la densidad aparente, el contenido de materia orgánica, la estructura del suelo y la textura, entre otros (Horn, 2003). En el caso de este ensayo, los factores que ejercen la diferencia son el contenido de MO y el contenido de agua, que afectan directamente a la D_a y a la resistencia mecánica. Diversos autores destacan el efecto de la MO en la disminución en la resistencia mecánica (Blanco-Canqui et al., 2005; Stock y Downes, 2008), lo que se debe en primera instancia a una mayor retención de agua (Rawls et al., 2003); sin embargo, en algunos casos podría aumentar la resistencia por un efecto de estructuración al generar agregados más densos (Seguel y Horn, 2006). Las aplicaciones de MO permiten mantener o recuperar la matriz porosa, debido a que la MO le confiere propiedades elásticas al suelo, lo que le permite recuperarse de cargas aplicadas en superficie, como lo son el tráfico de maquinaria y humano (Zhang et al., 2005).

Según Hamza y Anderson (2005), las raíces constituyen una fuente importante de materia orgánica al suelo una vez descompuestas, permitiendo mejorar la estructura del suelo. El efecto de las raíces sobre la estructura del suelo depende de la especie cultivada, la constitución del suelo y los factores ambientales; este efecto también está influenciado por la micro-flora del suelo asociada a las raíces de las plantas (Steenwerth y Belina, 2008). La habilidad de penetración de las raíces sobre suelos con limitaciones de compactación, difiere ampliamente dependiendo de la especie; esto fue confirmado por Trükmann et al. (2008), quienes reportaron que las leguminosas son más efectivas en la estabilización de la estructura del suelo que las no leguminosas. Sin embargo, hay otras especies que también tienen potencial de descompactación, tal como lo indican Trükmann et al. (2006) en un ensayo sobre un suelo de textura franco arenosa, donde los resultados indican que el

sistema radical de *Artemisia vulgaris L.*, al igual que el de *Lupinus luteus L.*, fueron capaces de profundizar el subsuelo compactado, logrando penetrar suelos con niveles de resistencia mecánica de 4,5 MPa. En el presente estudio, la condición más crítica se presentó en el T1 bajo los 40 cm de la primera temporada, aunque nunca superó los 200 N, lo que para la punta utilizada equivale a valores de resistencia menores a 3 MPa.

Estabilidad de los micro agregados

La razón de dispersión (RD) es un parámetro que permite determinar la estabilidad de los agregados entre 1 y 2 mm de diámetro, al comparar un análisis de sedimentación con y sin dispersante químico. Valores altos de RD indican una alta dispersión de los micro agregados y por ende, una menor estabilidad de los mismos. Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Razón de dispersión (RD, %; promedio \pm DS) para cada uno de los tratamientos a distintas profundidades de muestreo para la segunda temporada de medición (septiembre 2015).

Tratamiento	RD (%)		
	Profundidad (cm)		
	0-15	15-30	30-65
Testigo (T0)	56,7 (\pm 16,8)	57,3 (\pm 5,9)	56,8 (\pm 1,6)
Compost (T1)	64,0 (\pm 17,1)	55,7 (\pm 7,4)	54,3 (\pm 2,7)
Compost + Haba (T2)	45,8 (\pm 7,50)	63,3 (\pm 4,0)	47,7 (\pm 9,1)

No se registraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad.

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en los valores de RD entre tratamientos a una misma profundidad, posiblemente por el poco tiempo transcurrido del ensayo. Según Abiven (2009) para ver resultados del efecto de la adición de enmiendas orgánicas al suelo se deben mantener los manejos por lo menos 6 a 10 años.

La estabilidad de los micro agregados está fuertemente ligada tanto al contenido total de MO como a la composición de la misma (Cuevas et al., 2006). Por otra parte, la mineralogía también es importante, tal como lo indican Fuentes et al. (2011), quienes señalan que en los suelos de la zona centro-norte del país (desde la Región del Maule hacia el norte) predomina la mineralogía cristalina, con contenidos de materia orgánica (MO) relativamente bajos, lo que genera una baja estabilidad de agregados (valores de RD altos), mientras que desde la Región del Bío-Bío hacia el sur dominan los suelos con influencia volcánica, con presencia de minerales no cristalinos, altos niveles de MO y una alta estabilidad física-mecánica.

En un estudio hecho por Seguel et al. (2011) en el Valle de Copiapó, en un suelo de clase textural gruesa, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la estabilidad de

micro agregados, usando distintas rotaciones de cultivos de cobertura por 3 años. La ausencia de resultados se debe a que las clases texturales francas a franco arenosas (con una alta presencia de grava a medida que aumenta la profundidad) poseen una estructura muy inestable para lograr cambios significativos en periodos cortos de tiempo. Además, si bien las raíces de los cultivos contribuyen con MO en forma de residuo fresco, que generan polisacáridos como subproducto de su descomposición, el efecto sobre la estabilidad de los agregados es importante solo por un corto periodo de tiempo (Seguel et al., 2013). En el mismo ámbito, Pagliai y Vignozzi (2002) mencionan que la MO del suelo crea una cubierta de cementación en la pared de los poros, la cual tiene una función protectora contra las fuerzas destructivas del agua y ayuda a mantener el sistema poroso funcionando por más tiempo. Sin embargo, esta protección no es permanente, ya que una vez descompuesta y mineralizada la MO, la protección disminuye y el poro eventualmente colapsa.

Por otra parte, en un estudio realizado por Poblete (2011) en el Valle de Copiapó, en un suelo con texturas francas-finas, igualmente plantado con vid, se utilizaron dos tratamientos, que consistieron en una rotación de cultivo de cobertura y uno de aplicación de estiércol en una dosis de $15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, estudio que se extendió por tres temporadas. La mayor estabilidad de agregados la presentaron los tratamientos con estiércol y la rotación de gramíneas, esto dado a que ambos representan un aporte importante de materia orgánica al suelo, ya sea en forma directa como es el caso de las aplicaciones de estiércol de cabra o de manera más indirecta, mediante una rotación de cultivos, principalmente gramíneas. En esta última, predominan raíces fasciculadas, lo que aumenta la posibilidad del aporte de exudados a todo el volumen del suelo, en comparación a la rotación de cultivos con raíces pivotantes.

Si bien el tratamiento T2 mostró mejoras relativas en dos de los tres horizontes analizados, de acuerdo a Berryman et al. (1982), bajo un 30% de RD los suelos son estables. De acuerdo a esta clasificación, los suelos del ensayo son inestables, por lo que es necesario extender esta práctica en el tiempo para lograr cambios significativos.

Conductividad hidráulica saturada (Ksat)

La capacidad que tiene el suelo para conducir fluidos depende de la textura y la estructura, los cuales determinan la distribución del sistema poroso (Dirksen, 1999). Debido a que a través del suelo se mueven los distintos fluidos (agua y aire), permitiendo así el suministro de agua y oxígeno a las raíces, por esta razón, la conductividad del suelo es considerada como el mejor indicador de la calidad de la estructura (Horn y Fleige, 2009). Al ser cuantificado el espacio poroso en términos de forma, tamaño, continuidad y orientación, se puede definir la complejidad de la estructura del suelo (Pagliai y Vignozzi, 2002), sin embargo, la funcionalidad física se logra caracterizar directamente a través de propiedades de flujo, como lo es la conductividad hidráulica (Hartge y Horn, 2016).

Para la Ksat de los tratamientos, se realizó una prueba t de comparación de interceptos, resultados que se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Interceptos de las rectas de ajuste de la Kns en función de la tensión de suministro, equivalentes a la conductividad hidráulica saturada (Ksat) para cada tratamiento en la segunda temporada de medición (septiembre 2015).

Tratamiento	Ksat	LI	LS
		cm h ⁻¹	
Testigo (T0)	2,32 b*	0,87	6,16
Compost (T1)	3,50 b	2,26	5,44
Compost + Haba (T2)	6,95 a	4,52	10,68

LI: Límite inferior; LS: Límite superior. *Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

La Ksat tiene una estrecha relación con la textura dominante en el suelo y el contenido de MO; esta última promueve la formación de macro poros, mejorando así la infiltración del agua y la aireación del suelo (Brady y Weil, 2002). Es por esto que una mayor porosidad explicaría una mayor infiltración acumulada en los tratamientos en los que se aplicó MO. La tasa de infiltración de agua también puede ser usada para monitorear el estado de compactación del suelo, especialmente en la capa superior del suelo, ya que el agua infiltrará más fácilmente en suelos con partículas bien agregadas que en suelos con estructura masiva (Hamza y Anderson, 2005).

Observando el Cuadro 9, y de acuerdo a la clasificación de Ksat realizada por Schoeneberger et al. (2012), T0 y T1 pertenecen a la clase moderadamente alta ($0,36 < 3,60$ cm hr⁻¹), a diferencia del T2, el cual entra en la clasificación de alta ($3,60 < 36,0$). De acuerdo a los resultados, T2 mostró diferencias estadísticas significativas con respecto a los demás tratamientos, presentando un importante aumento en su capacidad para conducir agua en comparación con el tratamiento control.

En un estudio realizado por Seguel et al. (2011), donde se probaron distintas rotaciones de cultivos en un huerto de uva de mesa en el Valle de Copiapó en un suelo similar al del estudio, se encontró que las leguminosas promueven un sistema poroso más continuo, junto con un incremento de porosidad gruesa y un mayor flujo de aire y agua. En la misma zona de estudio, Seguel et al. (2013) observaron un incremento de un 169% de la Ksat en superficie con respecto al control, gracias a la incorporación de estiércol de cabra en una dosis de 15 ton ha⁻¹ a una profundidad de 30 cm en la sobre hilera de plantación.

Por otra parte, en un estudio realizado por Eusufzai y Fujii (2012) en el noreste de Japón, sobre un suelo Andisol, se encontró que al incorporar compost a una profundidad de 15 cm, la Ksat aumentó en un 34,4% en superficie con respecto al tratamiento control.

Finalmente, Seguel et al. (2003) señalan que los mayores efectos sobre la funcionalidad física del suelo se generan cuando se aplican enmiendas como guano o compost, especialmente en altas dosis de aplicación. En cualquier caso, es necesario mantener estas prácticas en el tiempo para que los efectos positivos de la materia orgánica se mantengan en el largo plazo (Abiven et al., 2009).

Evaluaciones en la planta

La conexión entre problemas físicos del suelo y la calidad de la fruta es un asunto poco tratado o que no ha sido cuantificado en una forma más sistemática, incluso a nivel mundial. A pesar de esto, son numerosas las publicaciones en que se hace referencia a que los problemas físicos del suelo afectan la productividad, vigor y calidad de la fruta (Hamza y Anderson, 2005; Ruiz et al., 2007; Chamen et al., 2015).

Abundancia de raíces

Existe una estrecha relación entre el crecimiento de la parte aérea y la actividad del sistema radical de la vid. La calidad del sistema radical define en gran medida el desarrollo y vigor de las vides, así como los niveles productivos de los huertos (Sellés et al., 2012). Desde el punto de vista de la funcionalidad, las raíces más importantes son aquellas de menor diámetro ($< 2\text{mm}$) y de color blanco, las cuales se ha demostrado que tienen una alta tasa de absorción de nutrientes y agua (Ruiz, 2000; Sellés et al., 2003; Ruiz et al., 2007; Callejas et al., 2012). Además, la mayor actividad del sistema radical se ubica en los primeros 50 cm de profundidad (Callejas, 2015).

Con el objeto de conocer el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de raíces de la vid, se hizo una evaluación de abundancia de raíces en septiembre de 2015, a un año del establecimiento del ensayo, en inicio de brotación de la vid (Apéndice 2, Cuadro 10).

Cuadro 10. Número de raíces promedio y desviación estándar (\pm) de los tratamientos para las distintas profundidades. F y MF corresponden a raíces finas y muy finas, en tanto M son las raíces medias.

Tamaño Tratamiento	F y MF ($< 2\text{ mm}$)			
	Profundidad (cm)			
	0-20	20-40	40-60	60-80
Testigo (T0)	10,6 ($\pm 1,1$) a*	5,67 ($\pm 1,6$) a	7,67 ($\pm 4,7$) a	6,33 ($\pm 5,0$) a
Compost (T1)	6,07 ($\pm 2,5$) b	6,47 ($\pm 1,2$) a	8,67 ($\pm 3,0$) a	4,60 ($\pm 1,3$) a
Compost + Haba (T2)	7,07 ($\pm 3,3$) b	9,33 ($\pm 5,1$) a	11,2 ($\pm 3,2$) a	3,33 ($\pm 1,9$) a
	M (2-5 mm)			
Testigo (T0)	3,00 ($\pm 0,9$) a	3,60 ($\pm 1,1$) a	3,07 ($\pm 0,8$) ab	2,33 ($\pm 0,5$) a
Compost (T1)	2,53 ($\pm 1,2$) a	2,27 ($\pm 0,5$) a	2,67 ($\pm 1,1$) b	2,00 ($\pm 0,3$) a
Compost + Haba (T2)	3,67 ($\pm 3,5$) a	2,87 ($\pm 1,7$) a	4,20 ($\pm 0,9$) a	2,73 ($\pm 1,0$) a

*Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad.

Se observa una mayor abundancia de raíces finas ($< 2\text{ mm}$) en los primeros 20 cm de profundidad por parte del tratamiento testigo. Por otra parte, en T1 y T2 hubo una mayor

exploración en profundidad, aunque sin diferencias estadísticas significativas. La menor presencia en superficie de raíces finas en T1 y T2 pudo deberse a que estas se vieron afectadas al momento de hacer las zanjas para incorporar el compost. Se evidenció una situación similar en un estudio realizado en la III Región de Atacama, donde se evaluaron aplicaciones de compost y guano sobre la hilera en parrones de uva de mesa. Los resultados mostraron que las plantas testigo tuvieron un mayor crecimiento radical de una temporada a otra, obteniendo los valores más altos, diferenciándolas significativamente del resto de los tratamientos (FIA, 2008). De igual forma ocurrió en un estudio realizado por Seguel et al. (2013), quienes en un huerto de uva de mesa en el Valle de Copiapó en un suelo similar al del estudio, incorporaron estiércol de cabra por tres años consecutivos, utilizando una dosis de 15 ton ha⁻¹ a una profundidad de 30 cm en la sobre hilera de plantación. De los resultados obtenidos, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque se observó una pequeña disminución de la materia seca de raíces en superficie (0-20) de los tratamientos con respecto al testigo.

Por otra parte, en un estudio realizado por Gaiotti et al. (2016) en el noreste de Italia, se evidenció que incorporaciones de compost (dosis de 4 ton ha⁻¹) bajo la hilera de la vid cada año, durante 5 años consecutivos, generó aproximadamente el doble de crecimiento de raíces finas y muy finas (< 2 mm) en superficie (0-20 cm) con respecto al tratamiento control.

Finalmente, es posible observar que el promedio de todas las profundidades resulta en valores similares entre tratamientos, por lo que en términos globales se puede concluir que no existe una alteración negativa en el uso de compost como acondicionador físico, o su uso en combinación con una cobertura vegetal invernal.

Producción de fruta

El rendimiento de la vid, en términos de la producción de uva comercial, fue evaluado en ambas temporadas de medición (Cuadro 11).

Cuadro 11. Rendimiento promedio (ton ha⁻¹) y desviación estándar (±) por tratamiento en ambas fechas de medición.

Tratamiento	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	
	1º Temporada (enero 2015)	2º Temporada (enero 2016)
Testigo (T0)	39,9 (±8,6)	32,0 (±6,8)
Compost (T1)	38,4 (±9,6)	27,5 (±6,3)
Compost + Haba (T2)	44,2 (±8,2)	29,6 (±6,2)

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para cada temporada.

Es importante destacar que el tratamiento que incluyó cultivo de cobertura no representó una competencia o limitante para el normal desarrollo de la vid, dado que su desarrollo fenológico coincidió con el periodo de receso de esta. Esto ya había sido observado por

Seguel et al. (2013), quienes tras tres años de rotación de cultivos en un huerto de uva de mesa, demostraron que no se afectan los rendimientos comerciales. Sin embargo, si se establecen coberturas tales como cebada, mostaza y sorgo (*Hordeum vulgare*, *Sinapis alba* y *Sorghum bicolor x Sorghum sudanense*) se podría presentar algún efecto alelopático sobre las plantas de vid (Bernabé, 2011).

La baja de rendimiento en general de una temporada a otra es debido principalmente a dos factores. El primero de ellos, la baja fertilidad de yemas, la cual está asociada a aplicaciones de GA₃ para crecimiento de bayas como parte de los manejos del campo, lo que provocó yemas infértiles para la próxima temporada (Navarro et al., 2001), además de la edad del parrón, el cual se estableció en 1997. El segundo factor estaría relacionado a un mal arreglo de racimos, esto debido a que esta variedad tiene respuesta casi nula a las aplicaciones de GA₃, por lo que gran parte de esta labor debe hacerse a mano.

Peso de racimos

En el Cuadro 12 se presenta el peso racimo promedio por tratamiento y el número promedio de racimos por planta en cada tratamiento en ambas fechas de medición.

Cuadro 12. Peso de racimo promedio por tratamiento y número promedio de racimos por planta en cada tratamiento en ambas fechas de medición.

Tratamiento	Peso racimo (g)		N° racimos/planta	
	1° Temporada (2015)	2° Temporada (2016)	1° Temporada (2015)	2° Temporada (2016)
Testigo (T0)	583,8 (±70,6) a*	790,8 (±72,5) ab	41,2 (±10,4) a	24,6 (±7,1) a
Compost (T1)	596,1 (±3,1) a	837,8 (±100) a	43,7 (±10,3) a	24,4 (±3,0) a
Compost+Haba (T2)	548,1 (±97,6) a	738,3 (±60,5) b	41,7 (±13,6) a	22,2 (±4,9) a

*Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

De acuerdo al Cuadro 12, en la primera temporada no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En la segunda temporada, el incremento del peso de racimo es probable que ocurra por la menor carga general del parrón, destacando el tratamiento T1, con diferencias estadísticas significativas respecto a T2.

Si bien hubo un menor rendimiento general en la segunda temporada, T0 y T1 tuvieron significativamente mayor peso por racimo. En un estudio realizado por Buckerfield y Webster (1998) en Australia, sobre viñedos de 5 años de edad, a los cuales se les incorporó compost a una profundidad de 15 cm sobre la hilera de plantación, se verificó un aumento del peso de racimo en un 15% con respecto al tratamiento control.

Aunque no es el objetivo comparar entre temporadas de mediciones, cabe destacar que a pesar que en la segunda temporada se obtuvo un menor rendimiento, en este caso se obtuvo un mayor peso promedio de racimo por tratamiento, en respuesta al menor número de

racimos por planta. El aumento en el peso de racimos en la segunda temporada se debió principalmente a un mal arreglo de éstos; de hecho, hubo mucho racimo que no se cosecho debido a que quedaron con un exceso de bayas. En general un racimo debe tener unas 400 a 600 bayas previo al raleo y deben quedar con 80 a 200 para que el racimo quede aceptable para comercialización (Pinochet, 2011).

Gallant (2015), realizó una investigación en Nueva Escocia por dos años para evaluar los efectos del uso de enmiendas orgánicas y cultivos de cobertura en la producción de uva para vino. Los tratamientos con cultivo de cobertura incrementaron el rendimiento y el peso de los racimos. Los tratamientos en los que hubo interacción entre las enmiendas y los cultivos de cobertura resultaron en aumentos significativos en el número de racimos por planta y en el peso promedio de racimo. Finalmente, se concluyó que los tratamientos que incluyeron enmiendas orgánicas proporcionaron resultados comparables a los fertilizantes sintéticos. En el presente estudio, si bien se obtienen beneficios a nivel de suelo, no se generaron efectos en el rendimiento, por lo que hay que mantener los manejos propuestos a lo largo de los años para generar resultados en el mediano a largo plazo.

CONCLUSIONES

Las aplicaciones sucesivas de materia orgánica en la sobre hilera de plantación de vid, tienen efectos positivos sobre algunas propiedades físicas del suelo, transmitiéndose las características intrínsecas del material orgánico a éste. En las aplicaciones de compost al suelo se observa una disminución estadística significativa en superficie de la densidad aparente, además de un aumento en el flujo y la retención de agua, no obstante esta última sin diferencias significativas.

El compost acompañado de cultivo de cobertura resultó igualmente efectivo en las propiedades antes mencionadas, además, como efecto sinérgico el cultivo de cobertura promovió una mejor continuidad del sistema poroso gracias al crecimiento de raíces en profundidad, resultando en un importante aumento con diferencias significativas en la capacidad de conducir agua en el perfil.

El corto tiempo de aplicación de los tratamientos no permite reflejar las mejoras en las propiedades físicas que ha experimentado el suelo en aumentos de rendimientos, aún así se logra un incremento no significativo en el peso de racimo promedio en el tratamiento en que se incorporó compost, con respecto al tratamiento testigo

Finalmente, no se observó ningún efecto negativo sobre las plantas de vid y su rendimiento a consecuencia de los tratamientos.

BIBLIOGRAFÍA

Abiven, S.; S. Menasseri and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - a literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 41 (1): 1-12.

Alburquerque, J.; J. Gonzalez; D. García and J. Cegarra. 2007. Effects of a compost made from a solid by-product (“alperujo”) of a two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrients content of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Bioresource Technology*, 98 (4): 940-945.

Altieri, M. 1995. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Uruguay: Nordan-Comunidad. 305p.

Álvarez, I. 2013. Cambios estructurales del suelo mediante el uso de coberturas vegetales y anélidos en un sitio cultivado con *Vitis vinifera* en la Región de Valparaíso, Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 60h.

Angulo-Jaramillo, R.; J. Vandervaere; S. Roulier; J. Thony; J. Gaudet and M. Vauclin. 2000. Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: a review and recent developments. *Soil and Tillage Research*, 55 (1-2): 1-29.

Aravena, A. 2014. Evaluación del efecto de manejos de poda y enmiendas al suelo sobre el potencial hídrico de los brotes de olivos (*Olea europea* L.) sometidos a déficit hídrico absoluto en la Región de Coquimbo. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 40h.

Baginsky, C.; O. Seguel y A. Contreras. 2010. Impacto en la utilización de cultivos y enmiendas orgánicas sobre la funcionalidad del suelo. Santiago, Chile: MAVAL. 122p.

Bakker, M.; G. Govers and D. Rounsevell. 2004. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena*, 57 (1): 55-76.

Bernabé, D. 2011. Efecto del lixiviado de riego de cultivos utilizados como cobertura sobre vid de mesa de un año de edad. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 33h.

Berryman, C.; D. Davies; C. Evans; M. Harrod; A. Hughes; R. Skinner et al. 1982. Techniques for measuring soil physical properties. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Swedish. 116p.

Blanco-Canqui, H.; R. Lal; L. Owens; W. Post and R. Izaurrealde. 2005. Mechanical properties and organic carbon of soil aggregates in the northern Appalachians. *Soil Science Society of American Journal*, 69 (5): 1472-1481.

Brady, N. and R. Weil. 2002. The nature and properties of soils. 13a. ed. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall. 960p.

Buckerfield, J. and K. Webster. 1999. Compost as mulch for managing young vines. (rep. téc. N° 27), The Australian grapegrower and winemaker. Adelaide, Australia: Ryan Publications. 418p.

Burés, S. 1997. Sustratos. Madrid, España: Ediciones Agrotécnicas. 342p.

Callejas, R. 2015. En uva de mesa es fundamental concentrar el esfuerzo en incrementar la densidad de raíces finas en el bulbo húmedo. [en línea]. *Antumapu Profesional*, recuperado en: http://www.agren.cl/antumapu_profesional/opinion/7 Consultado el: 25 Agosto de 2016.

Callejas, R.; E. Rojo; C. Benavidez y E. Kania. 2012. Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parronales de vides de mesa. *Agrociencia*, 46 (1): 23-35.

Casanova, M.; O. Salazar; O. Seguel and W. Luzio. 2013. Main features of Chilean soils: major soil zones. (cap 2, pp. 25-93). In: The soils of Chile. USA: Springer. 185p.

Chamen, T.; A. Moxey; W. Towers; B. Balana and P. Hallet. 2015. Mitigating arable soil compaction: a review and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research*, 146: 10-25.

CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales), Chile. 2005. Estudio agrológico, IV Región: Descripciones de suelos, materiales y símbolos. [Santiago, Chile]: CIREN. 300p. (Publicación CIREN N° 129).

Cuevas, J.; O. Seguel; A. Ellies y J. Dörner. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 6 (2): 1-12.

Dane, J. and W. Hopmans. 2002. The soil solution phase. (cap. 3, pp. 671-720). In: Dane, J. y G. Topp. (eds.). Methods of soil analysis: part 4 Physical Methods. Wisconsin, USA: SSSA. 1692p. (SSSA Book Series 5).

Dirksen, C. 1999. Soil physics measurements. Reiskirchen, Germany: GeoEcology paperback. 154p.

Eusufzai, M. and K. Fujii. 2012. Effect of organic matter amendment on hydraulic and pore characteristics of a clay loam soil. *Open Journal of Soil Science*, 2 (4): 372-381.

FIA (Fundación para la Innovación Agraria), Chile. 2008. Resultados y lecciones en evaluación de raíces de vides: proyecto de innovación en la Región de Atacama, valorización a junio de 2008. Santiago, Chile: FIA. 30p. (Serie Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario).

Fuentes, I.; O. Seguel y M. Casanova. 2011. Degradación física de suelos de la zona central versus suelos volcánicos del sur de Chile. (Bol. N° 24), Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile: SCHCS. 173p.

Gaiotti, F.; P. Marcuzzo; F. Battista; N. Belfiore; D. Petoumenou and D. Tomasi. 2016. Compost amendment effects on grapevine root density and distribution. *Acta Horticulturae*, 1136: 115-120.

Gallant, K. 2015. Soil amendments and cover crops in wine grape production. Thesis Master of Science (MSc). Halifax, Canada: Dalhousie University. 145h.

Hallberg, G. 1986. From hoes to herbicides: agriculture and groundwater quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41 (6): 357-364.

Hamza, M. and W. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82 (2): 121-145.

Hartge, K. and R. Horn. 2016. Essential soil physics. An introduction to soil processes, functions, structure and mechanics. Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart, Germany. 391p.

Hartwig, N. and H. Ammon. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science*, 50 (6): 688-699.

Horn, R. 2003. Stress-strain effect on structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. *Geoderma*, 116 (1-2): 77-88.

Horn, R. and H. Fleige. 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in northwest Germany at farm scale. *Soil and Tillage Research*, 102 (2): 201-208.

Ingels, C. 1992. Sustainable agriculture and grape production. *American Journal of Enology and Viticulture*, 43 (3): 296-298.

INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias), Chile. 2000. Proyecto sistemas de validación y transferencia de tecnologías de riego y sistemas productivos en áreas regadas. Provincias de San Felipe y Los Andes: Informe final de actividades. [Santiago, Chile]: INIA. 213p.

- Jarecki, M.; R. Lal and R. James. 2005. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmers fields in north-eastern Ohio. *Soil and Tillage Research*, 81 (2): 265-276.
- Karlen, D; J. Kovar; C. Cambardella and T. Colvin. 2013. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. *Soil and Tillage Research*, 130: 24-41.
- Lanney, F.; J. Janzen; B. Olson and A. Olson. 2009. Erosion-productivity-soil amendment relationships for wheat over 16 years. *Soil and Tillage Research*, 103 (1): 73-83.
- Linstrom, M. and W. Voorhees. 1994. Responses of temperate crops in North America to soil compaction (pp: 265-286). In: Soane, B. and C. Van Ouwerker (Eds.). Soil compaction in crop production. New York, USA: Elsevier Science. 684p.
- Lowery, B. and J. Morrison. 2002. Soil penetrometers and penetrability. (cap. 2, pp. 363-388). In: Dane, J. y G. Topp (Eds.). Methods of soil analysis: part 4 physical methods. Madison, Wisconsin, USA: SSSA. 1692p. (SSSA Book Series 5).
- Navarro, M.; J. Retamales y B. Defilippi. 2001. Efecto del arreglo de racimo y aplicación de citoquinina sintética (CPPU) en la calidad de uva de mesa variedad Sultanina tratada con dos fuentes de giberelinas. *Agricultura Técnica (Chile)*, 61 (1), 15-25.
- Novoa, J. y Lopez, D. 2001. IV Región: El escenario geográfico físico. (pp. 13-31). En: Arancio, G.; M. Kalin; G. Brown; L. Cavieres; J. Gutiérrez; C. Jorquera et al. Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo, La Serena, Chile: Universidad de La Serena. 361p.
- Pagliai, M. and N. Vignozzi. 2002. The soil pore system as an indicator of soil quality. (pp.71-82). In: Pagliai, M. y R. Jones. (Eds.). Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. Reiskirchen, Germany: GeoScience. 598p.
- Pinochet, C. 2011. Efecto de la carga frutal en la producción y calidad en uva de mesa "Sultanina". Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 25h.
- Poblete, L. 2011. Modificación de las propiedades físicas de un suelo de textura fina de la III Región cultivado con vid, mediante la incorporación de materia orgánica en la sobre hilera. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 47h.
- Porazinska, D. and D. Wall. 2013. Soil conservation. (pp. 590-598). In: Levin, S. (Ed.). Encyclopedia of biodiversity. 2^a. New York, USA: Elsevier Press. 5504p.

- Powlson, D.; P. Gregory; W. Whalley; J. Quinton; D. Hopkins; A. Whitmore et al. 2011. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*, 36 (1): 572-587.
- Rawls, W.; Y. Pachepsky; J. Ritchie; T. Sobecki and H. Blodworth. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116 (1-2): 61-76.
- Reynolds, W.; C. Drury; C. Tan; C. Fox and X. Yang. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152 (3-4): 252-263.
- Reynolds, W. 2006. Unsaturated hydraulic properties: field tension infiltrometer. (pp. 1101-1121). In: Carter, M. and E. Gregorich (Eds.). Soil sampling and methods of analysis. 2nd Ed. Florida, USA: CRC Press. 1262p.
- Richards, D. 1983. The grape root system: volume 5. (pp. 127-178). In: Horticultural Reviews. Hoboken, NJ, USA: Wiley Blackwell. 168p.
- Ruiz, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*, 60 (4): 379-398.
- Ruiz, R.; G. Sellés y R. Ahumada. 2007. Aspectos físicos del suelo y calidad de fruta en parronales de uva de mesa. (pp. 77-84). En: Seminario internacional de manejo de riego y suelo en vides para vino y mesa (26 y 27 de octubre de 2005, Santiago, Chile). Serie Actas INIA N° 39. I. Muñoz; M. González y G. Sellés (Eds.). Santiago, Chile: INIA. 196p.
- Sainje, U.; A. Lenssen; T. Caesar-TonThat; J. Jalmo; R. Lartey; R. Evans et al. 2012. Tillage, crop rotation, and cultural practice effects on dryland soil carbon fractions. *Open Journal of Soil Science*, 2 (3): 242-255.
- Sandoval, M.; J. Dörner; O. Seguel; J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Chillán, Chile: Universidad de Concepción. 80p. (Departamento de Suelos y Recursos Naturales Universidad de Concepción. Publicación N° 5).
- Schaetzl, R. and S. Anderson. 2005. Soils: genesis and geomorphology. New York, USA: Cambridge University Press. 817p.
- Schäffer, B.; P. Boivin and R. Schulin. 2010. Compressibility of repacked soil as affected by wetting and drying between uniaxial compression tests. *Soil Science Society of American Journal*, 74 (5): 1483-1492.
- Schoeneberger, P.; D. Wysocki and E. Benham. 2012. Field book for describing and sampling soils. 3a ed. Lincoln, USA: USDA. 302p.

Seguel, O.; V. García de Cortázar y M. Casanova. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica*, 63 (3): 287-297.

Seguel O. and R. Horn. 2006. Structure properties and pore dynamics in aggregate beds due to wetting-drying cycles. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 169 (2): 221-232.

Seguel, O.; C. Baginsky; A. Contreras; J. Covarrubias; C. González and Sandoval. 2011. Changes in physical properties of a Typic Haplocambid by annual crop culture. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11 (1): 1-15.

Seguel, O.; C. Baginsky; A. Contreras; J. Covarrubias; C. González and L. Poblete. 2013. Physical properties of a fine textured Haplocambid after three years of organic matter amendments management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (3): 690-705.

Sellés, G.; R. Ferreyra; G. Contreras; R. Ahumada; J. Valenzuela y R. Bravo. 2003. Manejo de riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson Seedless cultivada en suelos de textura fina. *Agricultura Técnica (Chile)*, 63(2): 180-192.

Sellés, G.; R. Ferreyra; R. Ruíz; R. Ferreyra y R. Ahumada. 2012. Compactación de suelos y su control: estudio de casos en el Valle de Aconcagua. (Bol. N° 234), Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile: INIA. 54p.

Steenwerth, K. and K. Belina. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40: 359-369.

Stock, O. and N. Downes. 2008. Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension rate. *Soil and Tillage Research*, 99 (2): 191-201.

Trükmann, K.; E. Reintam; J. Kuht; E. Nugis and L. Edesi. 2008. Effect of soil compaction on growth of narrow-leafed lupine, oilseed rape and spring barley on sandy loam soil. *Agronomy Research*, 6 (1): 101-108.

Trükmann, K.; E. Reintam; J. Kuht and V. Rääts. 2006. Growing of mugwort (*Artemisia vulgaris* L.), canadian thistle (*Cirsium arvense* L.) and yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) on compacted soil. *Advances in Geoecology*, 39: 362-369.

Uribe, J.; O. Cabrera; A. Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Santiago, Chile: Andros Impresores. 229p.

Varnero, M. 2001. Desarrollo de sustratos orgánicos: compost y bioabonos. (pp. 21-30). En: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Experiencias internacionales en la rehabilitación de espacios degradados. Santiago, Chile: UC. 123p.

(Publicaciones misceláneas forestales N° 3).

Warrick, A. 2002. Soil physics companion. Washington, USA: CRC Press. 389p.

Zhang, B.; R. Horn and P. Hallet. 2005. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. *Soil Science Society of American Journal*, 69 (3): 864-871.

Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of American Journal*, 61 (4): 124-130.

Zeng, C.; Q. Wang; F. Zhang and J. Zhang. 2013. Temporal changes in soil hydraulic conductivity with different soil types and irrigation methods. *Geoderma*, 193-194: 290-299.

APÉNDICES

Apéndice 1

Descripción morfológica del suelo al inicio del ensayo

Control (T0)

Profundidad (cm)

0-15 Ap	10YR3/2; franco arcillo arenosa; bloques subangulares finos moderados; plástico y adhesivo; raíces finas escasas; poros finos comunes. Límite lineal claro.
15-32 B ₁	10YR3/3; franco arcillo arenosa; bloques subangulares gruesos y medios, fuertes; ligeramente plástico y adhesivo; raíces finas comunes y medias escasas; poros finos abundantes y medios escasos. Límite lineal gradual.
32-80 B ₂	10YR3/2; franco con arena gruesa; bloques subangulares finos moderados; ligeramente plástico y adhesivo; raíces finas escasas y medias escasas; poros finos abundantes y medios comunes. Límite lineal gradual.
80-100 BC	75YR3/2; areno francosa; bloques subangulares medios y gruesos, débiles; no plástico, no adhesivo; raíces finas muy escasas y medias escasas; poros finos abundantes.

Observaciones: Abundante actividad biológica con coprolitos comunes en el segundo horizonte. No se observa reacción al HCL en todo el perfil.

Compost + Haba (T2)

Profundidad (cm)

0-12 Ap	10YR3/3; franco arcillosa; granular medio fuerte, con algunos bloques subangulares medios moderados; plástico y adhesivo; raíces finas abundantes y medias comunes; poros finos abundantes y medios escasos. Límite lineal claro.
12-38 B ₁	10YR3/3; franco arcillo arenosa; bloques subangulares gruesos fuertes; ligeramente plástico y adhesivo; raíces finas, medias y gruesas escasas; poros finos y medios abundantes. Límite lineal claro.

38-70
B₂ 10YR3/2; franco arcillosa; bloques subangulares finos moderados; plástico y adhesivo; raíces finas, medias y gruesas escasas; poros finos y medios abundantes. Límite ondulado gradual.

70-90
C 10YR3/2; arenosa; grano simple; no plástico ni adhesivo; raíces gruesas escasas.

Observaciones: Muy ligera efervescencia en el 30% de la matriz al HCL.

Compost (T1)

Profundidad (cm)

0-15
Ap 10YR3/3; franca; bloques subangulares gruesos moderados (50%) y granular fino fuerte (50%); plástico y adhesivo; raíces finas comunes y gruesas escasas; poros finos, medios y gruesos abundantes. Límite lineal claro.

15-37
B₁ 10YR3/4; franco arcillosa; bloques subangulares finos y medios moderados; plástico y adhesivo; raíces finas comunes, medias y gruesas escasas; poros finos abundantes y gruesos comunes. Límite lineal gradual.

37-60
B₂ 10YR2/2; franco arcillo arenosa; bloques subangulares gruesos fuertes; plástico y adhesivo; raíces finas y medias comunes; poros finos y medios abundantes y gruesos comunes. Límite ondulado gradual.

60-80
BC 10YR4/2; arena francosa; bloques subangulares medios y gruesos débiles; ligeramente plástico no adhesivo; raíces finas, medias y gruesas escasas; poros finos abundantes, medios comunes.

Observaciones: Muy ligera efervescencia al HCL en el primer horizonte.

Apéndice 2

Abundancia de raíces finas y muy finas (F y MF) y medias (M)

Testigo (T0). Número de raíces promedio y desviación estándar (\pm) del tratamiento T0 para las distintas profundidades.

Profundidad (cm)	Tronco				
	F y MF (<2 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	11,0 (\pm 9,5)	12,0 (\pm 11,5)	9,0 (\pm 5,2)	10,6 (\pm 9,8)	10,3 (\pm 12,7)
20-40	4,3 (\pm 1,1)	4,3 (\pm 0,5)	5,0 (\pm 4,5)	7,0 (\pm 3,4)	7,6 (\pm 2,5)
40-60	15,3 (\pm 12,7)	9,0 (\pm 6,2)	5,6 (\pm 5,5)	3,6 (\pm 3,5)	4,6 (\pm 4,1)
60-80	14,0 (\pm 20,8)	8,3 (\pm 8,0)	4,3 (\pm 4,5)	4,0 (\pm 3,4)	1,0 (\pm 1,0)
	M (2-5 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	2,6 (\pm 2,0)	1,6 (\pm 1,5)	3,6 (\pm 2,8)	3,6 (\pm 3,2)	3,3 (\pm 4,0)
20-40	3,3 (\pm 2,5)	4,3 (\pm 1,5)	3,3 (\pm 2,3)	2,0 (\pm 0,0)	5,0 (\pm 1,0)
40-60	4,3 (\pm 1,1)	3,0 (\pm 1,7)	3,0 (\pm 1,0)	2,6 (\pm 0,5)	2,3 (\pm 0,5)
60-80	2,3 (\pm 3,2)	3,0 (\pm 2,6)	1,6 (\pm 2,0)	2,3 (\pm 2,5)	2,3 (\pm 2,0)

Compost (T1). Número de raíces promedio y desviación estándar (\pm) del tratamiento T1 para las distintas profundidades.

Profundidad (cm)	Tronco				
	F y MF (<2 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	7,3 (\pm 6,1)	12,6 (\pm 11,2)	5,0 (\pm 1,50)	5,7 (\pm 1,5)	5,0 (\pm 5,3)
20-40	2,6 (\pm 3,1)	14,0 (\pm 10,5)	14,0 (\pm 11,0)	10,3 (\pm 5,5)	5,7 (\pm 5,7)
40-60	8,3 (\pm 1,5)	16,6 (\pm 2,9)	10,0 (\pm 10,4)	11,0 (\pm 2,7)	10,0 (\pm 4,4)
60-80	1,0 (\pm 1,7)	5,0 (\pm 5,0)	5,7 (\pm 8,10)	2,3 (\pm 1,5)	2,7 (\pm 2,3)
	M (2-5 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	1,3 (\pm 1,5)	9,7 (\pm 12,0)	1,3 (\pm 1,2)	3,00 (\pm 2,7)	3,0 (\pm 1,7)
20-40	1,0 (\pm 1,0)	1,7 (\pm 0,6)	2,7 (\pm 1,2)	5,30 (\pm 1,2)	3,7 (\pm 1,5)
40-60	3,0 (\pm 2,0)	3,7 (\pm 0,6)	4,7 (\pm 1,2)	5,30 (\pm 2,1)	4,3 (\pm 4,4)
60-80	1,7 (\pm 0,6)	4,0 (\pm 3,0)	2,0 (\pm 1,0)	2,30 (\pm 1,5)	3,7 (\pm 1,5)

Compost + Haba (T2). Número de raíces promedio y desviación estándar (\pm) del tratamiento T2 para las distintas profundidades.

Profundidad (cm)	Tronco				
	F y MF (<2 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	5,7 (\pm 8,1)	10,0 (\pm 10,6)	4,3 (\pm 6,7)	6,7 (\pm 9,1)	3,7 (\pm 1,5)
20-40	5,0 (\pm 4,4)	8,3 (\pm 4,2)	6,7 (\pm 7,2)	6,3 (\pm 8,5)	6,0 (\pm 7,2)
40-60	12,0 (\pm 3,5)	9,3 (\pm 6,1)	8,0 (\pm 4,6)	4,0 (\pm 2,7)	10,0 (\pm 10,2)
60-80	5,3 (\pm 4,7)	3,0 (\pm 1,7)	4,0 (\pm 3,0)	4,3 (\pm 2,5)	6,3 (\pm 2,3)
	M (2-5 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	1,0 (\pm 1,0)	2,0 (\pm 2,0)	2,3 (\pm 1,2)	4,0 (\pm 2,0)	3,30 (\pm 2,5)
20-40	3,0 (\pm 2,7)	2,0 (\pm 0,0)	1,7 (\pm 2,1)	2,3 (\pm 1,2)	2,30 (\pm 1,5)
40-60	1,7 (\pm 0,6)	3,3 (\pm 2,5)	4,3 (\pm 2,3)	2,0 (\pm 1,0)	2,00 (\pm 1,0)
60-80	2,0 (\pm 1,0)	2,3 (\pm 2,1)	2,3 (\pm 2,5)	1,7 (\pm 1,5)	1,70 (\pm 2,1)

Abundancia de raíces gruesas (G) y muy gruesas (MG)

Control (T0). Número de raíces gruesas y muy gruesas promedio y desviación estándar (\pm) del tratamiento T0 para las distintas profundidades.

Profundidad (cm)	Tronco				
	G y MG (>5 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,5)	0,0 (\pm 0,0)	1,0 (\pm 1,0)	0,3 (\pm 0,5)
20-40	0,3 (\pm 0,5)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,5)	0,0 (\pm 0,0)
40-60	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,6)
60-80	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,6 (\pm 1,1)

Compost (T1). Número de raíces promedio y desviación estándar (\pm) del tratamiento T1 para las distintas profundidades.

Profundidad (cm)	Tronco				
	G y MG (>5 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	1,0 (\pm 1,0)	0,0 (\pm 0,0)
20-40	0,0 (\pm 0,0)	0,6 (\pm 0,5)	0,6 (\pm 0,5)	0,6 (\pm 1,1)	0,0 (\pm 0,0)
40-60	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,5)	0,3 (\pm 0,5)	0,3 (\pm 0,5)
60-80	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,5)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)

Compost + Haba (T2). Número de raíces promedio y desviación estándar (\pm) del tratamiento T2 para las distintas profundidades.

Profundidad (cm)	Tronco				
	G y MG (>5 mm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
0-20	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,5)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,0)
20-40	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,5)	0,7 (\pm 1,1)	0,3 (\pm 0,5)	0,7 (\pm 1,1)
40-60	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	1,0 (\pm 1,7)	0,0 (\pm 0,0)	0,3 (\pm 0,5)
60-80	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)	0,0 (\pm 0,0)