

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

**CAMBIOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL MANEJO DE LA MATERIA  
ORGÁNICA EN UN SUELO CULTIVADO CON VID EN EL VALLE DEL  
HUASCO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.**

**FELIPE ARTURO VALENZUELA JERIA**

**SANTIAGO, CHILE  
2012**

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

**Memoria de Título**

**CAMBIOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL MANEJO DE LA MATERIA  
ORGÁNICA EN UN SUELO CULTIVADO CON VID EN EL VALLE DEL  
HUASCO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.**

**STRUCTURAL CHANGES BY MEANS OF ORGANIC MATTER  
MANAGEMENT IN A SOIL CULTIVATED WITH GRAPE, HUASCO  
VALLEY, ATACAMA REGION, CHILE**

**FELIPE ARTURO VALENZUELA JERIA**

**SANTIAGO, CHILE  
2012**

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

**CAMBIOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL MANEJO DE LA MATERIA  
ORGÁNICA EN UN SUELO CULTIVADO CON VID EN EL VALLE DEL  
HUASCO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.**

Memoria para optar al título profesional  
de Ingeniero Agrónomo  
Mención: Manejo de Suelos y Aguas

**FELIPE ARTURO VALENZUELA JERIA**

Profesores Guías	Calificaciones
<b>Cecilia Baginsky G.</b> Ingeniero Agrónomo Dr.	<b>6,2</b>
<b>Oscar Seguel S.</b> Ingeniero Agrónomo Dr.	<b>6,6</b>
Profesores Evaluadores	
<b>Oswaldo Salazar G.</b> Ingeniero Agrónomo M.Sc. PhD.	<b>6,4</b>
<b>Paola Silva C.</b> Ingeniero Agrónomo M.Sc. Dr.	<b>6,0</b>

**SANTIAGO, CHILE  
2012**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, a mis padres Eugenia y Mario por la educación, el amor y el apoyo que he recibido durante todos los años de mi vida, a mis queridos hermanos Ro, Ca y Pau por su compañía, amistad y cariño, a mi abuela Lucha por criarme, a mi abuela Ernestina y en especial a mi Abuelo Manuel. A mi grupo de amigos huapunepis, que son mis compañeros de scout, colegio, carretes, malones, etc.

Quiero agradecer a todos los profesores que tuve durante mis años de estudiante, a mis profesores guías, gracias Cecilia por la comprensión y a Oscar por el apoyo, amistad, consejos, por ayudarme a comprender el suelo y sus problemáticas, por ser un gurú; también a Huguito Pérez por la ayuda recibida en el laboratorio de Física y que sin él no funcionaría.

A las brujas del laboratorio (Luciana y Karina), al Maimo por su pesimismo. A Jaime Gustavo por las charlas sobre suelo, la universidad y sobre la tierra media. A las amigas que tuve en mi paso por la u y las que sigo teniendo, gracias (Kata, Fran, Denisse y Yas) por darse el tiempo de escucharme, aconsejarme o de tan solo conversar.... En especial a Soledad Villalobos por las jornadas de estudios, de carrete, de conversa con un cigarro junto al cresco Darío.

A mi compañera y pareja Carla por los años que me ha soportado.

A mis amigos forestales Burro, Conair, Kate, Pablo Ruiz y agrónomos Kanko, Zombe, Gonzaloco, Pitillo.

Agradecer a toda la gente que ha pasado por el lab de física de suelos (pésimas, pésimos, malas mujeres, innombrables, riego boys, etc) y los asados junto a las lombrices.

Para terminar doy las gracias por tenerte, por alegrarme cada día, darme ánimo, risas, momentos buenos y malos, por enseñarme a ser padre ..... gracias Daniela Florencia por ser mi hija.

Y brindo por las mujeres que derrochan simpatía..... Salud!!!

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
Palabras claves.....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
Key words.....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	7
Tratamientos y Diseño Experimental.....	7
Propiedades de suelo evaluadas.....	9
Caracterización del sistema poroso.....	9
Funcionalidad del sistema poroso.....	10
Resistencia mecánica del suelo.....	10
Estabilidad de agregados del suelo.....	10
Propiedades de la vid evaluadas.....	12
Productividad de la vid.....	12
Análisis estadístico.....	12
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	13
Propiedades generales.....	13
Morfología y fertilidad.....	13
Clase textural.....	14
Contenido de materia orgánica.....	15
Propiedades físicas del suelo.....	16
Densidad aparente.....	16
Distribución de tamaño de poros.....	17
Estabilidad de los agregados.....	18
Resistencia a la penetración.....	20
Propiedades dinámicas del suelo.....	22
Flujo de aire.....	23
Velocidad de infiltración.....	24
Propiedades de la vid.....	26
Productividad de la vid.....	26

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>29</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>30</b>
<b>APÉNDICE I.....</b>	<b>37</b>
<b>APÉNDICE II.....</b>	<b>38</b>
<b>APÉNDICE III.....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>43</b>

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar el efecto acumulado que produce la rotación de cultivos y el sinergismo de éstos con el estiércol sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con el crecimiento de plantas de vid (*Vitis vinifera*). La investigación se llevó a cabo en la Comuna de Vallenar, Región de Atacama, entre los años 2006 y 2009. El suelo corresponde a la Serie Cavancha (Xerollic Haplargids) de clase textural franco arcillosa y presencia de gravas. Se establecieron 4 tratamientos: T1, testigo con suelo desnudo; T2, rotación de cultivos (raps - haba - mostaza - avena); T3, aplicación de estiércol de cabra en dosis de  $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; T4, rotación de cultivos (raps - haba - cebada - mostaza) establecidos sobre estiércol. En parcelas de 8 plantas de vid distribuidas en dos hileras. Las propiedades físicas del suelo se evaluaron a tres profundidades (0-10; 10-30 y 30-50 cm) en tanto que en la vid se evaluó masa de poda, rendimiento y biomasa de raíces.

Las aplicaciones de estiércol (T3 y T4) generaron un incremento de la materia orgánica del suelo, lo que se tradujo en un mejoramiento de las propiedades físicas; sin embargo, el tratamiento que conjugó aplicación de estiércol y cultivo de cobertura (T4) fue el que logró los mejores resultados por un efecto sinérgico entre ambas estrategias. Así, T3 y T4 presentaron disminuciones en la densidad aparente y la resistencia a la penetración, con una mayor estabilidad de agregados y capacidad de flujo de agua y aire, pero además T4 mostró tendencias en aumentar el rendimiento en una de las temporadas evaluadas y un crecimiento sostenido en el tiempo de la biomasa de la vid; no obstante se requiere de un mayor número de temporadas de mediciones para corroborar, si esta situación se mantiene en el tiempo.

**Palabras clave:** Estiércol, cultivos de cobertura, propiedades físicas de suelo, estabilidad de agregados.

## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the accumulated effect of crop rotations with or without manure on the physical properties of the soil and its relation with the growth of grape (*Vitis vinifera*). The investigation was carried out in Vallenar, Atacama Region in Chile, between years 2006 and 2009. In a clay loam Xerollic Haplargid, plots of 8 plants of grapevine distributed in two rows were established, defining 4 treatments: T1, control, bare soil; T2, crop rotation (rapeseed - broad bean - mustard - oats); T3 manure in dose of 12.5 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>; T4, crop rotation (rapeseed - broad bean - barley - mustard) established over manure. The soil physical properties were evaluated at three depths (0-10; 10-30; 30-50 cm), while in the vine the pruning weight, the grape yield and the root growth were measured.

The applications of manure (T3 and T4) promoted an increase of the soil organic matter, which resulted in an improvement of physical properties; nevertheless, the treatment that brings together the use of manure and cover crops (T4) achieves the best results because of a synergic effect. T3 and T4 showed a decrease in bulk density and penetration resistance, with higher aggregate stability and capacity of water and air fluxes; in addition, T4 favored a significant higher yield in one season and a sustained biomass growth over time.

**Keywords:** Manure, cover crops, soil physical properties, aggregate stability.



## INTRODUCCIÓN

La actividad agropecuaria modifica las propiedades del suelo, entre ellas la estructura, observándose que la magnitud del cambio depende del tipo de manejo y duración de este (Ellies *et al.*, 1993).

La estructura corresponde a la organización natural de los separados individuales del suelo en grandes unidades conocidas como partículas secundarias o peds (Casanova y Luzio, 2006). Es uno de los factores fundamentales del funcionamiento edáfico, ya que influye en el movimiento del agua y la retención hídrica, afectando el ciclo de nutrientes, la aireación, la penetración de las raíces y el rendimiento de los cultivos (Hillel, 1998). Según Kay (1990) la estructura también influiría en la productividad al intervenir en el desarrollo de malezas, insectos y enfermedades.

Una buena estructura, según Salgado (1999), se hace evidente cuando la agregación y el ordenamiento de los separados individuales crean simultáneamente las condiciones favorables para la aireación y la retención del agua en el suelo. Estas condiciones están determinadas por los efectos que tienen las propiedades físicas inherentes del suelo, tales como textura y distribución de poros, sobre las condiciones dinámicas del sistema, las que determinan las propiedades conductivas y de almacenamiento de los suelos, siendo ambas de alto impacto sobre la productividad de los cultivos (Benavides, 1992).

Adicionalmente, Schaeffer y Schachtschabel (2002) afirman que la capacidad de un suelo para transportar agua y gases, está determinada por el tamaño y la distribución de los poros, la continuidad de éstos y su contenido de agua a saturación. La porosidad depende de la estructura del suelo, jugando un rol trascendental en el flujo de aire y agua, por lo que es lógico pensar que una alteración de la estructura producto del uso intensivo e inapropiado del suelo, implica también un cambio de los poros presentes en él. Un factor fundamental para tener una buena estructura es la presencia de materia orgánica en el suelo, puesto que esta aumenta la estabilidad y funcionalidad del sistema poroso (Kay y Angers, 2000).

El efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo apuntan a una mayor disponibilidad de agua en función de la textura del suelo (Rawls *et al.*, 2003), una mayor estabilidad estructural (Oades, 1993) que favorece la persistencia de un sistema poroso estable y funcional en el transporte de agua y gases (Horn, 2004) y una mayor resistencia mecánica en condiciones de alta humedad (Zhang *et al.*, 2005). Un suelo cuyo contenido de materia orgánica se incremente mediante aplicación de enmiendas orgánicas, mejora sus propiedades en cuanto a estabilidad estructural, porosidad total, infiltración y retención de agua (Barzegar *et al.*, 2002). Es por esto que el uso de la materia orgánica resulta vital como práctica de manejo para mantener la calidad del suelo en sistemas de cultivos permanentes (Reeves, 1997).

En el Valle de Huasco, Región de Atacama, las condiciones climáticas se presentan muy favorables para el cultivo de la vid, lo que permite que la producción de uva de mesa alcance precios de exportación altos (Lobato y Valenzuela, 2000), constituyéndose en una posibilidad productiva para pequeños agricultores. Sin embargo, las características edáficas presentes en el valle, especialmente en lo referente al bajo contenido de materia orgánica (CIREN, CHILE, 2007) inciden en que este potencial productivo se vea mermado, sobre todo por el deterioro físico del suelo producto del manejo agrícola. Los usos intensos del recurso provocan una disminución del carbono orgánico y un cambio en la dinámica de la formación de agregados, lo que disminuye la estabilidad al agua, deteriora la estructura y aumenta los riesgos de erosión (Ellies *et al.*, 1995; Ellies, 2000; Six *et al.*, 1999).

La Región de Atacama presenta un clima árido, con precipitaciones que para la Comuna de Vallenar alcanzan los 25 mm (CNR, CHILE, 2008). Por su parte, los suelos en el Valle de Huasco presentan baja retención de agua, limitantes de profundidad, pendientes elevadas, alta pedregosidad y/o compactación, escasa superficie y problemas de salinidad (CIREN, CHILE, 2007).

Como consecuencia del impacto que tiene el deterioro de las propiedades físicas del suelo sobre el desarrollo de los cultivos, y a fin de dar una solución a esta problemática, se desarrolló el proyecto “Suelo Vivo, Innovación y cambios tecnológicos en el uso de la materia orgánica en la optimización del manejo de parronales en la III Región” (INNOVA-CORFO 05CR11 IAT-06), el cual se enfocó en buscar alternativas de aumento de materia orgánica e innovar en su manejo, con el fin de aumentar la productividad del suelo a través del mejoramiento de sus propiedades físicas.

Para subsanar los problemas de suelo en la Región de Atacama, se realizan distintos manejos, uno de los cuales consiste en establecer las plantas de vid sobre platabandas, con el objeto de aumentar el volumen de exploración radical y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. La condición de tránsito de maquinaria y el pisoteo de la platabanda en condiciones inapropiadas de humedad, dan como resultado un deterioro de la estructura que se va acumulando con el tiempo, por lo que se recurre a enmiendas orgánicas, principalmente aplicación de estiércol de cabra (Baginsky *et al.*, 2011). Esta práctica contribuye a solucionar problemas de fertilidad y estructura en suelos empobrecidos, demasiado laboreados y que presentan un grado variable de erosión hídrica y encostramiento superficial. Sin embargo, cabe destacar, que el guano es comúnmente depositado en superficie, y muchas veces genera un aporte de sales que resulta ser detrimental para el cultivo de la vid (Poblete, 2011).

La dificultad de incorporar el estiércol en el perfil del suelo y el alto aporte salino restringe su uso; además, se ha observado que altas dosis de estiércol promueven el desarrollo de propiedades hidrófobas en el suelo, favoreciendo los procesos de escorrentía y dificultando la uniforme distribución de agua en el perfil (Ellies *et al.*, 2002).

De lo anterior se deduce que, para esta zona, la principal limitante para el cultivo de la vid está dada por la calidad del suelo y el correcto aprovechamiento del agua. Es de esperar

entonces que la implementación de algún manejo destinado al mejoramiento de la estructura, tenga algún efecto positivo sobre el rendimiento de esta especie frutal.

Como alternativa al uso de estiércol, se propone el uso de cultivos anuales, cuyo desarrollo radical generaría cambios en el perfil del suelo, aumentando tanto la porosidad como la resistencia de sus agregados, dado el permanente aporte de materia orgánica producto de la renovación anual de dichas raíces.

En cuanto a las especies anuales con potencial, sobresalen por sus características particulares las pertenecientes a las familias de las Fabaceae, Poaceae y Brassicaceae. Según Ruiz (1996), las Fabaceae destacan por poseer una raíz principal pivotante, que se asocia con la capacidad de resistir a las sequías, y que en especies como el haba se presenta muy vigorosa, pudiendo llegar a más de un metro de profundidad en suelos sin limitaciones (Faiguenbaum, 2003). Otra cualidad notable de esta familia, es la capacidad de formar asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*, con las que pueden fijar nitrógeno atmosférico (Sprent y Minchin, 1985). Esto implica que sus requerimientos de fertilizante nitrogenado son menores en comparación a especies que no realizan esta asociación (Barrientos, 1989), dejando un remanente disponible para otros cultivos cuando su ciclo de vida culmina y se incorporan sus residuos al suelo.

Por otro lado, las Poaceae se caracterizan por presentar un sistema radical fasciculado (cebada) y en algunas especies muy ramificado, como en el caso de la avena, el cual según McKenzie *et al.* (2009) se concentra en los primeros 20 cm a 30 cm de profundidad, representando el 60% del peso seco total de la planta; sin embargo, en las especies resistentes a la sequía se presenta un número elevado de raíces que profundizan mucho más y que tendrían un positivo efecto en la descompactación de suelos (Seguel *et al.*, 2009).

Finalmente, las Brassicaceae poseen una raíz pivotante, muy engrosada en el caso de raps y mostaza, cuya masa radical se concentra en los primeros 40 a 60 cm (Krarup y Moreira 1998) ; además se caracterizan por la producción de glucosinolatos, que son compuestos sulfurados y que como tales no son dañinos, sin embargo, en tejidos destruidos, como es el caso de los cultivos segados incorporados al suelo, son hidrolizados enzimáticamente por la mirosinasa y se liberan varios compuestos biológicamente activos, incluyendo tiocianato, isotiocianatos y nitrilos, los que tienen acción nematóxica (Halbrendt, 1993; Campos *et al.*, 1994). La cantidad de estos compuestos depende de la especie, la variedad y la fenología, reportándose como ejemplo que la concentración de glucosinolatos en el follaje del raps decrece a medida que la planta madura (Mojtahedi *et al.*, 1991).

En trabajos previos del proyecto Suelo Vivo, se establecieron rotaciones de cultivos en suelos pedregosos de matriz gruesa (Sandoval, 2010) sin resultados en el corto plazo; también se contrastó el efecto de los cultivos versus el uso de estiércol en suelos de clase textural fina (Poblete, 2011), con resultados satisfactorios cuando predominan las gramíneas en la rotación; sin embargo, no se ha probado la acción conjunta de los cultivos con el estiércol.

En base a los antecedentes antes entregados en el presente trabajo, se proponen las siguientes hipótesis:

- El establecimiento de cultivos de cobertura bajo un sistema de rotación, mejora las propiedades físicas del suelo por concepto de la incorporación de materia orgánica aportada tanto por las raíces al descomponerse como por los residuos que se dejan sobre el suelo, causando un efecto positivo sobre el crecimiento y rendimiento de la vid.
- Los cultivos establecidos sobre estiércol en la hilera de plantación de vid, presentan un efecto sinérgico, mejorando en mayor magnitud las propiedades físicas del suelo por la incorporación de materia orgánica aportada tanto por el estiércol como por la descomposición de la raíz de los cultivos usados, en comparación al uso de estiércol o de cultivos en forma independiente.

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto acumulado que produce la rotación de cultivos y el sinergismo de estos con el estiércol sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas de vid.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades de suelo relacionadas con la distribución de poros y su funcionalidad en los tratamientos establecidos.
- Evaluar la estabilidad físico-mecánica del suelo en función de los manejos propuestos.
- Evaluar el comportamiento de la vid en relación al manejo de la materia orgánica.

## MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se llevó a cabo entre los meses de marzo de 2009 y enero de 2010, en el predio San Ignacio, localizado a 7 km al oriente de la ciudad de Vallenar (28° 37' 02" Latitud Sur - 70° 42' 15" Longitud Oeste) en la Región de Atacama. Los análisis físicos se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

El suelo pertenece a una Fase no calcárea de la Serie Cavanha (Xerollic Haplargids), la cual según CIREN (2007) se caracteriza por ocupar una posición de terraza remanente, con topografía plana, suavemente inclinada. De clase textural superficial franca y color pardo en superficie, en profundidad alcanza una clase textural franco arcillosa a franco arcillo limosa, con color pardo rojizo a rojo amarillento; además, presenta algunos pedones con diferentes porcentajes de gravas medias.

El clima está caracterizado por temperaturas máximas promedio en enero de 26,5°C y mínima promedio en julio de 5,7°C, sin presencia de heladas. La zona presenta una evaporación anual de 1.743 mm (Osorio *et al.*, 1995) y precipitación de 25 mm (CNR CHILE, 2008). En el sitio del ensayo se encuentra establecido un cultivo de *Vitis vinifera* cv. Red Globe de 8 años de edad, en un marco de plantación de 3,5m x 3,5m.

Se establecieron, entre los años 2006 y 2009, diferentes especies de cultivos anuales bajo distintas rotaciones, realizándose la siembra sobre y entre hilera de plantación de la vid, con el objeto de evaluar el efecto acumulativo de estos manejos sobre las propiedades físicas del suelo. También se establecieron cultivos en rotación sobre estiércol aplicado en la sobre hilera de plantación de vid. La presente memoria considera la evaluación del efecto acumulado de los tratamientos al final del ensayo, es decir, al cuarto año.

### Tratamientos y Diseño Experimental

Se generaron cuatro tratamientos, los que consideraron la aplicación de una enmienda orgánica (estiércol de cabra fresco) sobre la hilera de plantación (T3), la cual corresponde a una práctica habitual entre los productores de vid de Vallenar. Además de la siembra de cultivos sobre hilera de plantación de vid (T2), se contempló la siembra de cultivos sobre estiércol aplicado en la sobre hilera de plantación (T4) y un tratamiento testigo (T1) el cual se mantuvo desmalezado (al igual que el resto de los tratamientos), pero no fue sembrado ni se aplicó estiércol. Los cultivos fueron establecidos en distintos sistemas de rotación a partir del año 2006, los cuales son detallados en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Tratamientos del ensayo.

Tratamiento	Año			
	2006	2007	2008	2009
T1	Testigo	Testigo	Testigo	Testigo
T2	Raps	Haba	Mostaza	Avena
T3	Estiércol	Estiércol	Estiércol	Estiércol
T4	Estiércol +Raps	Estiércol +Haba	Estiércol +Cebada	Estiércol +Mostaza

El diseño experimental consistió en bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones cada uno. Como unidad experimental se consideró una parcela de 14 m de largo por 7 m de ancho, la cual incluyó 8 plantas de vid distribuidas en dos hileras de cuatro plantas. El muestreo de suelo se realizó entre las dos plantas centrales de la hilera norte de cada unidad experimental.

El T1 correspondió al tratamiento testigo, en el cual el suelo se dejó sin sembrar y sin aplicar estiércol en las cuatro temporadas, manteniéndolo desnudo y libre de malezas.

En los tratamientos con cultivos, la siembra se realizó a mano, inmediatamente después de la cosecha de la uva (entre los meses de marzo y abril, según temporada). La semilla fue depositada sobre pequeños surcos, previo riego inicial de 8 horas con el fin de dar las condiciones óptimas de humedad a la semilla y así favorecer el proceso de germinación.

Los diferentes cultivos fueron sembrados a chorro continuo, excepto el haba (siembra a 12 cm en la sobrehilera), estableciéndose 5 hileras distanciadas a 20 cm.

Cuando se utilizó haba, esta fue previamente inoculada con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium leguminosarum* bv *viciae*). Las dosis de siembra fueron: haba, 80 kg ha<sup>-1</sup>; raps y mostaza, 44 kg ha<sup>-1</sup>; avena y cebada, 142 kg ha<sup>-1</sup>. El tratamiento T3 correspondió a un manejo habitual de aplicación de enmienda orgánica, que correspondió a estiércol de cabra fresco establecido en la sobre hilera sobre una batea de dimensiones de 2 m de largo, 0,5 m de ancho y 0,25 m de profundidad, en dosis de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup>. El T4 correspondió al mismo tratamiento con estiércol, pero sobre él se estableció un cultivo. En forma habitual el estiércol no es incorporado al suelo para evitar daño en las raíces de vid, aunque se tapa levemente con una capa de suelo de aproximadamente 5 cm. Cabe destacar que cada año fue incorporada la misma dosis de estiércol y los cultivos establecidos fueron previamente definidos en función de un sistema rotacional.

El tratamiento T2 tuvo siembra tanto en la entre hilera como en la sobrehilera, mientras que el T4 se sembró sólo en la sobrehilera, ya que se buscaba el efecto conjunto cultivo-estiércol, siendo este último aplicado sobre el camellón.

En cuanto a la fertilización, esta se realizó en función de las necesidades de la vid, evitando con ello alterar el manejo habitual realizado por los productores; lo mismo ocurrió con el riego, realizándose este por goteo, con una frecuencia y caudal determinado, según las necesidades de la vid. No obstante, para el establecimiento de los diferentes cultivos, se dio un riego extra por 8 horas.

El periodo estipulado para el crecimiento y desarrollo de las diferentes especies anuales, abarcó desde culminada la cosecha de la uva hasta la aplicación de la cianamida hidrogenada en el parronal (marzo a julio, aproximadamente). En ese momento se tomó una muestra de la parte aérea del cultivo para determinar materia seca por secado a estufa a 70°C hasta peso constante. El resto del cultivo se segó, picó y distribuyó sobre la superficie del suelo. En cuanto a la poda de la vid, esta se realizó pisoteando el cultivo, en el caso de T2, pero su naturaleza permitió la recuperación posterior; todos los residuos fueron dejados en la superficie de la parcela, previa cuantificación de su masa.

### **Propiedades de suelo evaluadas**

Durante la temporada 2009 se realizó una caracterización morfológica del suelo mediante calicatas, asegurando la homogeneidad del terreno. Esto se realizó después de la aplicación de cianamida hidrogenada (julio 2009) y sin la presencia de cultivos.

En Octubre 2009 se tomaron muestras de suelo 24 horas después de un riego, inmediatamente bajo la proyección del gotero y entre las dos plantas centrales de la sobrehilera norte de cada unidad experimental. Las muestras fueron colectadas a tres profundidades (0-10, 10-30 y 30-50 cm) de acuerdo a los horizontes de suelo.

Se determinó la densidad aparente por los métodos del cilindro y el terrón (Grossman y Reinsch, 2002) con cuyos resultados se calculó la porosidad exped, que consiste en la relación  $[1 - (D_{cil} / D_{terrón})]$  (Seguel y Horn, 2006) como un índice de poros interagregados. También se midió la textura por el método del hidrómetro Bouyoucos (Gee y Or, 2002) y se realizó un análisis de fertilidad a una profundidad de 0 a 20 cm, evaluando el N total y P y K disponibles, además de pH y MO por combustión húmeda (Sadzawka *et al.*, 2004).

### **Caracterización del sistema poroso**

Para caracterizar el sistema poroso se utilizaron cilindros de 6 cm de diámetro por 5 cm de altura, en los cuales se extrajeron muestras inalteradas de suelo, las cuales fueron sometidas a 0,2; 3; 6; 30 y 100 kiloPascuales (kPa) de tensión en cama de arena y olla de presión, luego de lo cual se determinó la densidad aparente por el método del cilindro (Grossman y Reinsch, 2002). Para la retención de agua a 1.500 kPa se utilizaron muestras disturbadas en plato de presión; con esta información se obtuvo la distribución de tamaño de poros a partir de la curva característica de retención de agua (Dane y Hopmans, 2002).

### **Funcionalidad del sistema poroso**

Con el objeto de determinar la funcionalidad del sistema poroso, se midió en terreno la velocidad de infiltración con cilindro infiltrómetro (Reynold *et al.*, 2002) para lo cual se realizaron mediciones de altura de agua infiltrada entre las dos plantas centrales de cada tratamiento, midiendo a los 0, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 y 180 minutos para construir las curvas de infiltración acumulada. Con la pendiente estabilizada se estimó la velocidad de infiltración de agua en el suelo.

Se midió también el flujo de aire (Peth, 2004) a través de muestras de suelo inalteradas en cilindros de 6 cm de diámetro y 5 cm de altura, equilibradas a -33 kPa en olla de presión, mediante un método de flujo por convección, el cual fue esquematizado y explicado por Farías (2009). Esta evaluación se realizó a las muestras de 10-30 y 30-50 cm de profundidad debido a que las muestras superficiales (0-10cm) sufrieron daño por acción de lombrices, lo que no generó resultados confiables.

### **Resistencia mecánica del suelo**

Para evaluar el grado de resistencia mecánica que presenta el suelo, se utilizó un penetrómetro de punta cónica (Koolen y Kuipers, 1983) el cual fue insertado horizontal y verticalmente en la cara de la calicata, tomando 10 mediciones por unidad experimental y profundidad (0-10; 10-30 y 30-50cm) un día después del riego. El objetivo de las mediciones horizontales y verticales en un mismo punto es obtener el coeficiente de descanso ( $k_0$ ) el cual según Terzaghi y Peck (1983) corresponde a:

Donde:

$$k_0 = (\sigma_{x,y} / \sigma_z)$$

$\sigma_{x,y}$  : Resistencia a la penetración horizontal

$\sigma_z$  : Resistencia a la penetración vertical

Valores de  $k_0 \geq 1$  acusan un estado de compactación del suelo (Hartge y Bachmann, 2004).

### **Estabilidad de agregados del suelo**

Con el objetivo de determinar la condición de los agregados en el suelo, se evaluó la estabilidad de macroagregados mediante la resistencia de estos al tamizaje en seco y húmedo (Hartge y Horn, 2009) de manera tal de evaluar la variación del diámetro al 70 % de la fracción acumulada (VD 70) para las muestras de 0-10 y 10-30 cm y al 90% para muestras de 30-50 cm (VD 90). Para esto se tamizaron 300 g de suelo en un set de tamices de 19; 9,5; 6,68; 4,75; 3,33 y 2 mm (ordenados de mayor a menor) a 60 Hertz durante dos minutos y luego se midió la masa de suelo en cada tamiz. Posteriormente, los tamices se



sumergieron en agua, se agregó el suelo antes tamizado y se procedió a agitarlo a ritmo constante de 60 ciclos por minuto durante 5 minutos, con el fin de realizar un tamizaje en saturado. Finalmente, se determinó la masa de suelo seco contenido en cada tamiz.

Con las fracciones acumuladas de cada tamizaje (seco y saturado) se calculó el VD considerando el 70% o 90% de la fracción acumulada en base a masa para cada tamizado (VD<sub>70</sub> o VD<sub>90</sub>) según la siguiente fórmula:

$$VD_i = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Donde:

VD<sub>i</sub> = Variación del diámetro de partículas para el 70 ó 90% de la fracción acumulada.

A = Diámetro de los agregados correspondientes al 70 ó 90% de la fracción acumulada para el tamizaje en seco.

B = Diámetro de los agregados correspondientes al 70 ó 90% de la fracción acumulada para el tamizaje en saturado.

La estabilidad de microagregados fue evaluada mediante el cálculo de la razón de dispersión (RD) según Berryman *et al.* (1982). Para esto se seleccionaron 50g de agregados de entre 1 y 2 mm, los cuales fueron sometidos a una dispersión en agua destilada, mientras que una contra muestra fue totalmente dispersada con un dispersante sódico durante 24 horas (20 mL de pirofosfato de sodio 0,5 N, Merck) y agitación mecánica por 10 minutos. Para una suspensión de las muestras en probeta, se realizó una medición de densidad con el hidrómetro de Bouyoucos a los 40 segundos (tiempo de decantación de arenas), determinando la RD mediante:

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

Donde:

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

(A+L)t = Arcilla + Limo de la dispersión con agua destilada, sodio y agitación mecánica.

Los parámetros VD<sub>70</sub>, VD<sub>90</sub> y RD corresponden a índices de dispersión, por lo que a menor valor, mayor la estabilidad de los agregados.

## **Propiedades de la vid evaluadas**

### **Productividad de la vid**

Para cumplir el tercer objetivo específico se evaluó la producción de uva comercial ( $\text{kg planta}^{-1}$ ), el peso de poda ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) y la materia seca de raíces ( $\text{g L}^{-1}$ ). Para la obtención de las raíces se realizó un muestreo de suelo utilizando un barreno tipo tarro de 6,6 cm de diámetro y 17 cm de altura. Las muestras fueron tomadas en Septiembre de 2009 a profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, envasadas y marcadas. Luego se llevaron a cámara de secado en laboratorio durante 2 semanas con el fin de separar las raíces del suelo, siendo clasificadas en tamaños menores a 2 mm como raíces finas y mayores a 2 mm como raíces gruesas; después de esto fueron llevadas a estufa a 65°C hasta peso constante. Finalmente las raíces fueron pesadas y su valor fue expresado en gramos de materia seca por litro de suelo. Se consideraron las dos plantas centrales de vid de la hilera norte de cada unidad experimental para las distintas mediciones, tales como rendimiento y productividad de la vid.

Además se midió la materia seca de los cultivos, para lo cual las plantas fueron segadas ( $2 \text{ m}^2$ ), depositadas en sobres de papel, llevadas a estufa a 70°C hasta llegar a peso constante y pesadas para determinar rendimiento de materia seca en equivalente a  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

### **Análisis estadístico**

Se calcularon los estadígrafos básicos (promedio, desviación estándar, coeficiente de variación). Los resultados de las propiedades de suelo y los parámetros productivos de los cultivos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el programa Minitab 15. En el caso que existir diferencias significativas, se realizó una prueba de rango múltiple de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). Para el caso de la infiltración agua en el suelo, se realizó un ajuste lineal de la infiltración estabilizada, haciendo una comparación de pendientes mediante una prueba t ( $\alpha \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades generales

#### Morfología y fertilidad

Se caracterizó el lugar de estudio al comienzo del proyecto “Suelo Vivo” (temporada 2006), realizando una descripción morfológica del sector de estudio (Anexo I) con lo cual se pudo identificar una fase no calcárea de la Serie Cavancha (CIREN, 2007). También se realizó un análisis químico de fertilidad, concentración de sales y contenido de materia orgánica por combustión húmeda (Anexo II). La concentración de macronutrientes, disminuyó con la profundidad, presentando niveles medios a bajos en N, medios a muy bajo en P, mientras que el K presentó un nivel muy alto a medio según la tabla de referencia presentada en el Anexo III. El Ca y Mg presentaron niveles de concentración muy altos, a diferencia del B, que presentó niveles de concentración muy bajos (INIA, 2010). Este suelo se caracterizó por ser no sódico, ya que presentó una saturación de  $\text{Na}^+ < 15$ , pero presentó una ligera salinidad en superficie, con valores de conductividad eléctrica (CE) de  $3,7 \text{ dS m}^{-1}$ .

El estiércol de cabra tuvo concentraciones muy altas de nutrientes y concentraciones tóxicas de B y Na (Anexo II), además de una alta salinidad, CE de  $15,25 \text{ dS m}^{-1}$ . Estas propiedades confieren cierta restricción para el crecimiento y desarrollo de muchas especies que se establecen bajo esas condiciones. Por tal motivo, y con el objeto de aminorar el efecto de la salinidad y lograr un crecimiento normal de las plantas sembradas sobre este guano (tratamiento T4), se seleccionaron especies que presentaran algún nivel de tolerancia, como lo indica Oster (1995), quien señala que existe menos de 30% de pérdida productiva con niveles de CE de  $4,1 \text{ dS m}^{-1}$  en haba,  $14 \text{ dS m}^{-1}$  en cebada,  $10,2 \text{ dS m}^{-1}$  en avena y  $4,9 \text{ dS m}^{-1}$  en raps. Todas estas propiedades se deben a que el estiércol corresponde a un residuo fresco no estabilizado, pudiendo ser perjudicial para el cultivo cuando es aplicado en dosis altas.

Al final del ensayo (Enero 2010) se realizó un análisis de fertilidad de suelo (0-20cm) con muestra compuesta por tratamiento, resultados que se presentan en el Cuadro 2.

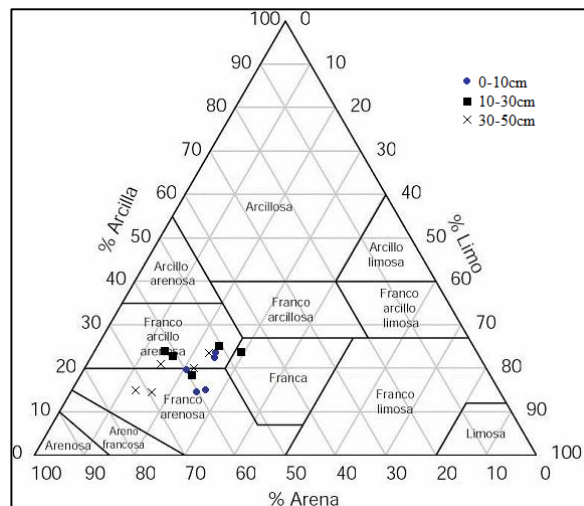
**Cuadro 2.** Análisis químico de macronutrientes y pH al final del ensayo (Enero 2010).

Tratamiento	N (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (cmol kg <sup>-1</sup> )	pH
T1	0,22	58	1,83	7,4
T2	0,20	79	1,47	7,5
T3	0,43	314	5,26	7,4
T4	0,85	672	8,54	7,6

Se aprecia en el Cuadro 2 que en todos los tratamientos hubo un aumento de los macronutrientes, llegando a niveles altos y muy altos, comparados al año 2006 (Anexo II) y no hubo alteración importante del pH durante los años del ensayo. El aumento de los macronutrientes depende de la fertilización específica realizada en el predio, complementada en el testigo con la aplicación de los residuos de poda en superficie, mientras que en el T2 además se agrega la descomposición de los distintos cultivos en la rotación. Se observa una marcada diferencia en T3 y T4 con respecto a los otros tratamientos, ya que en estos se aplicó estiércol de cabra, pero el T4 además fue sembrado con distintos cultivos, los que pudieron aportar con el reciclaje de nutrientes tomados desde el suelo.

### Clase textural

Las clases texturales, obtenidas a partir del análisis granulométrico, se presentan en la Figura 1.

**Figura 1.** Distribución de las clases texturales dentro del ensayo.

El suelo presentó una dominancia de la fracción arena, con valores de partículas de 50  $\mu\text{m}$  en general superiores al 50%, aunque entre 10-30 cm aumenta el contenido de arcilla. Es un suelo bastante homogéneo, concordando con lo indicado en CIREN (2007), con niveles de arcilla (15-25%) que lo hacen susceptible a la compactación (Horn, 2003).

### Contenido de materia orgánica

Se realizó un muestreo de materia orgánica (MO) con el objetivo de determinar el aporte que realizaron los cultivos al suelo al descomponer sus raíces. Para esto se extrajeron muestras de 0-20 cm y de 20-40 cm de profundidad, ya que es la zona donde se concentra la mayor cantidad de raíces. Los resultados se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Contenido de materia orgánica (%  $\pm$ DS) medido por combustión húmeda a dos profundidades por tratamiento. Muestreo realizado en el mes de diciembre del año 2009 (al 4º año de iniciarse el ensayo).

Tratamiento	MO (%)	
	0 – 20 cm	20 – 40 cm
T1	3,64 ( $\pm$ 0,63) b	2,05 ( $\pm$ 0,52)
T2	3,65 ( $\pm$ 0,94) b	2,59 ( $\pm$ 1,20)
T3	10,06 ( $\pm$ 3,85) a	2,96 ( $\pm$ 1,19)
T4	10,04 ( $\pm$ 4,24) a	3,38 ( $\pm$ 1,13)

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para una misma profundidad (misma columna) ( $\alpha \leq 0,05$ ).

El contenido de materia orgánica aumentó considerablemente en las dos profundidades muestreadas con respecto al año 2006 (Anexo II); esto puede deberse a un aumento del enraizamiento de los distintos cultivos utilizados en el tratamiento T2 o al uso de cultivos y enmiendas en forma conjunta (tratamiento T4) durante el periodo 2006 a 2009. Para el caso del testigo, el cambio en el manejo de parte del residuo de poda (picado y dejado en superficie) pudo explicar el incremento de MO, cuya mineralización aumenta con el aumento de la temperatura (Brady y Weil, 2000) especialmente si se mantiene la humedad del suelo vía riego.

Entre tratamientos se presentaron diferencias estadísticas significativas, observándose que los tratamientos que contemplaron aplicación de estiércol y/o estiércol más cultivo, presentaron los valores más altos de MO (Cuadro 3). Esta tendencia se mantuvo (T3 y T4) en profundidad, aunque sin diferencias estadísticas significativas. La aplicación directa de dosis anuales de estiércol en los tratamientos T3 y T4 favorecieron la acumulación de MO en superficie, alcanzando niveles mayores en relación al resto de los tratamientos, tal como lo describió Poblete (2011), quien en un suelo con 27% de arcilla y dosis anuales de estiércol de 15 Mg ha<sup>-1</sup> incrementó el contenido de materia orgánica de un 2,8 a un 6,2% en un periodo de tres años.

## Propiedades físicas del suelo

### Densidad Aparente

La densidad aparente ( $D_a$ ) es una de las propiedades del suelo que resulta afectada por los manejos antrópicos, alterando la porosidad total que presenta el suelo. Los resultados de  $D_a$  son presentados en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) y porosidad expd ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) para cada uno de los tratamientos, a distintas profundidades. Promedio ( $\pm$ DS).

Propiedad	Tratamiento	Profundidad (cm)		
		0-10	10-30	30-50
$D_a$ cilindro ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	T1	1,54 ( $\pm 0,16$ ) b	1,62 ( $\pm 0,07$ ) b	1,73 ( $\pm 0,08$ )
	T2	1,53 ( $\pm 0,12$ ) b	1,63 ( $\pm 0,05$ ) b	1,72 ( $\pm 0,12$ )
	T3	1,24 ( $\pm 0,23$ ) ab	1,41 ( $\pm 0,20$ ) ab	1,70 ( $\pm 0,10$ )
	T4	0,93 ( $\pm 0,22$ ) a	1,29 ( $\pm 0,15$ ) a	1,68 ( $\pm 0,26$ )
$D_a$ terrón ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	T1	1,77 ( $\pm 0,06$ ) a	1,84 ( $\pm 0,07$ )	1,87 ( $\pm 0,08$ )
	T2	1,79 ( $\pm 0,10$ ) a	1,80 ( $\pm 0,05$ )	1,87 ( $\pm 0,08$ )
	T3	1,59 ( $\pm 0,05$ ) b	1,79 ( $\pm 0,10$ )	1,90 ( $\pm 0,03$ )
	T4	1,39 ( $\pm 0,09$ ) c	1,72 ( $\pm 0,16$ )	1,92 ( $\pm 0,13$ )
P expd ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	T1	0,13 ( $\pm 0,06$ )	0,12 ( $\pm 0,02$ ) ab	0,07 ( $\pm 0,04$ )
	T2	0,14 ( $\pm 0,10$ )	0,09 ( $\pm 0,05$ ) b	0,08 ( $\pm 0,07$ )
	T3	0,22 ( $\pm 0,16$ )	0,21 ( $\pm 0,12$ ) ab	0,10 ( $\pm 0,06$ )
	T4	0,33 ( $\pm 0,14$ )	0,25 ( $\pm 0,07$ ) a	0,14 ( $\pm 0,12$ )

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para una misma profundidad (misma columna) ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Como era de esperar la  $D_a$  por cilindro resultó ser menor que la  $D_a$  obtenida por terrón, debido a que con este último método, no se contabilizan los espacios interagregados (Brady y Weil, 2000).

La  $D_a$  aumentó en profundidad en todos los tratamientos, destacando T3 y T4 con una baja  $D_a$  en superficie debido a la aplicación de guano fresco de cabra ( $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) en la sobre hilera de plantación de vid. La  $D_a$  obtenida por terrón fue bastante homogénea en profundidad, mostrando diferencias entre los tratamientos sólo en superficie. En este último caso destaca T4 como el mejor tratamiento, en el que la aplicación de estiércol se complementa con el establecimiento de un cultivo.

Como se puede observar en el Cuadro 4, entre los 10 y 30 cm de profundidad se presentaron diferencias estadísticas significativas en la porosidad expd entre el tratamiento con cultivo (T2) y el cultivo con adición de estiércol (T4) se pudo observar que el cultivo de cobertura no fue efectivo, en el corto plazo, en generar agregados más densos por secado de raíces, lo que ya había sido observado por Seguel *et al.* (2011) en un

suelo de clase textural gruesa; sin embargo, la actividad de raíces se potenció cuando se recurrió a aplicaciones de estiércol.

### Distribución de tamaño de poros

A partir de la curva de retención de agua se clasificaron los poros de drenaje según lo indicado por Ellies (1995). Los resultados son presentados en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Distribución de tamaño de poros (%) para los tratamientos en función de la profundidad. Promedio ( $\pm$ DS).

Tamaño poros ( $\mu\text{m}$ )	Tratamiento	Profundidad (cm)		
		0-10	10-30	30-50
PDR ( $>50 \mu\text{m}$ )	T1	16,1 ( $\pm 2,5$ )	9,0 ( $\pm 2,6$ )	7,2 ( $\pm 1,0$ )
	T2	19,8 ( $\pm 7,5$ )	8,6 ( $\pm 2,5$ )	9,0 ( $\pm 5,2$ )
	T3	39,2 ( $\pm 24,5$ )	10,4 ( $\pm 6,5$ )	11,0 ( $\pm 6,5$ )
	T4	29,2 ( $\pm 3,7$ )	11,5 ( $\pm 2,1$ )	10,4 ( $\pm 7,8$ )
PDL ( $50 - 10 \mu\text{m}$ )	T1	2,2 ( $\pm 1,5$ )	1,4 ( $\pm 0,6$ )	1,8 ( $\pm 0,7$ )
	T2	3,4 ( $\pm 1,3$ )	1,5 ( $\pm 0,9$ )	2,5 ( $\pm 1,1$ )
	T3	2,6 ( $\pm 0,7$ )	2,1 ( $\pm 0,7$ )	2,3 ( $\pm 1,0$ )
	T4	2,8 ( $\pm 1,2$ )	2,0 ( $\pm 0,7$ )	2,9 ( $\pm 0,9$ )

PDR: Poros de drenaje rápido; PDL: Poros de drenaje lento. No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

La aireación y el flujo de agua en el suelo dependen de la distribución y tamaño de los poros y son un factor crítico para el desarrollo de las raíces (Sellés *et al.*, 2003). A modo de ejemplo, cuando se habla de poros de drenaje rápido (PDR) la literatura indica un rango entre 12 y 15% como un valor referencial para el óptimo desarrollo de los cultivos (INIA-ODEPA, 2000).

En superficie (0-10 cm) se presentó un alto porcentaje de poros de drenaje rápido (PDR) para todos los tratamientos. En el caso del testigo, podría deberse a la formación de la platabanda, que se encuentra más mullida en superficie, pero se genera una discontinuidad en profundidad, al igual que en los otros tratamientos. En los tratamientos T3 y T4 el estiércol fue dejado en superficie y no incorporado, por esto hay una disminución brusca de la macroporosidad en profundidad. Si bien existen cultivos que presentan sistemas de raíces pivotantes, permitiendo una mayor exploración en profundidad y generando poros gruesos cuando se descomponen (Trükmann *et al.*, 2006) el T4 no fue capaz de generar una mayor macroporosidad, a diferencia de lo ocurrido con los espacios entre los agregados (Cuadro 4).

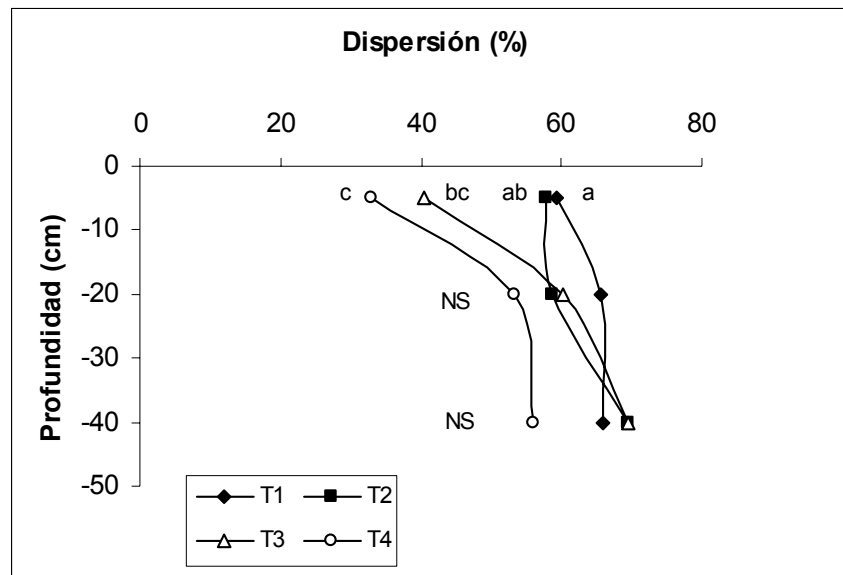
Al igual que en los PDR, en los poros de drenaje lento (PDL) no se presentaron diferencias

significativas entre tratamientos, pero hay una tendencia a una mayor proporción de ellos en los tratamientos donde hubo rotación de cultivos y prácticamente en todas las profundidades muestreadas.

Con respecto a los poros de agua útil (0,2-10  $\mu\text{m}$ ) estos variaron entre 13 a 21%, sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ni tendencias claras.

### Estabilidad de los agregados

La Figura 2 muestra la dispersión en agua de los agregados del suelo sometidos a tamizaje en seco y húmedo, considerando el diámetro del agregado interceptado al 70% de la fracción acumulada (VD70) para las profundidades entre 0-10 y 10-30 cm y de 90% (VD90) para los agregados obtenidos entre 30-50 cm.



**Figura 2.** Dispersión de los agregados (%) en cada tratamiento y profundidad. NS: sin diferencias estadísticas significativas ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Como se aprecia en la Figura 2, los tratamientos manifestaron una mayor estabilidad en superficie (0-10 cm), la que disminuyó en profundidad, alcanzando valores de dispersión mayores al 60%. Esto significa una menor estabilidad de los agregados, dado que disminuye la disponibilidad de materia orgánica y los ciclos de secado y humectación disminuyen su intensidad (Semmel *et al.*, 1990). A la profundidad de 30-50 cm, la baja estabilidad de los agregados (alta dispersión) está dada por la condición del suelo, que tiene una estructura débil por la poca evolución pedológica y la menor actividad biológica (Farías, 2009). En el testigo, la estabilidad en superficie se debe a la intensidad de los ciclos de secado y humedecimiento, ya que el suelo se encuentra descubierto, permitiendo



una rápida evaporación del agua, lo que favorece la contracción de las partículas. Sin embargo, es la menor estabilidad entre todos los tratamientos y se mantiene casi sin variaciones en profundidad.

En T2 se observa una estabilidad homogénea hasta los 30 cm, debido a que la mayoría de los cultivos seleccionados en la rotación tienen una raíz pivotante profundizadora (Faiguenbaum, 2003). En T3 y T4 se observó la mayor estabilidad de agregados en superficie comparado con los demás tratamientos, producto de la aplicación de estiércol, pero T4 presentó una mejor estabilidad en todo el perfil, ya que junto con la enmienda se incluyó la rotación de cultivos, lo que destaca el efecto aditivo del estiércol sobre la acción del cultivo de cobertura.

No se encontraron diferencias significativas en profundidad, en parte por la alta variabilidad de los resultados (Apéndice I), demostrando que el efecto de los tratamientos es mayoritariamente de carácter superficial.

La degradación y posterior destrucción de los agregados del suelo por efecto del agua, se debe al hinchamiento por hidratación y a la energía cinética del impacto de las gotas de lluvia. La destrucción de las unidades estructurales por hidratación e hinchamiento, se observa cuando la unión entre las partículas primarias se produce exclusivamente por deshidratación parcial, es decir, por la tensión superficial que ejercen los meniscos de agua; el posterior hinchamiento y desestabilización se reduce cuando la unión entre las partículas está dada por cementantes de orden físico o químico (Ellies *et al.*, 1995).

La materia orgánica tiene un efecto agregante más duradero, debido a que forma una estructura reticular alrededor de los componentes inorgánicos, además de la unión de estos componentes con grupos  $\text{CO}^-$ ,  $\text{OH}^-$  y  $\text{COOH}^-$ , que aseguran una mejor estabilidad de los agregados en el tiempo, dada la naturaleza electrostática de estas uniones (Ellies *et al.*, 1995).

Chenu *et al.*, (2000) señalan que la aplicación de materia orgánica da una mayor cohesión interna de los agregados e incrementa la hidrofobia de estos. Permite por tanto, mejorar la estabilidad de los agregados al agua, por un aumento de la resistencia a la presión del aire debido a una menor velocidad de humectación.

La estabilidad de los microagregados se evaluó mediante el cálculo de la razón de dispersión (RD) propuesto por Berryman *et al.* (1982), la cual permite comparar microagregados de 1 a 2 mm a través de un análisis de sedimentación con y sin dispersante químico. Los valores de RD indican el nivel de dispersión de los microagregados, si son altos presentarán menor estabilidad y viceversa. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Razón de dispersión (RD) expresado en porcentaje (%) para cada uno de los tratamientos a tres profundidades. Promedio ( $\pm$  DS).

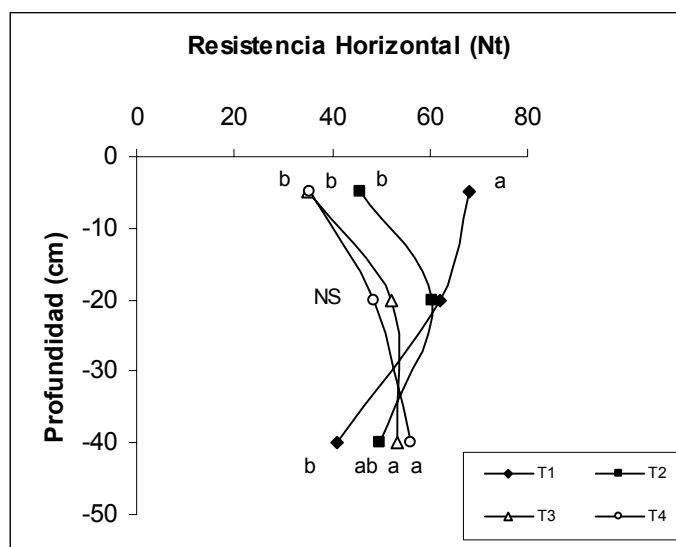
Tratamiento	RD (%)		
	0-10 cm	10-30 cm	30-50 cm
T1	44,1 ( $\pm$ 15,1) ab	61,3 ( $\pm$ 6,3)	58,7 ( $\pm$ 20,5)
T2	55,4 ( $\pm$ 11,5) a	55,0 ( $\pm$ 8,3)	61,4 ( $\pm$ 13,8)
T3	24,0 ( $\pm$ 10,7) b	54,1 ( $\pm$ 10,9)	54,7 ( $\pm$ 23,8)
T4	29,6 ( $\pm$ 9,7) b	45,5 ( $\pm$ 10,2)	55,5 ( $\pm$ 13,3)

Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad ( $\alpha \leq 0,05$ ).

En superficie los tratamientos T3 y T4 presentaron valores de RD bajos, los cuales pueden ser clasificados según Berryman *et al.*, (1982) como levemente inestable e inestable respectivamente, observándose una mejora en las propiedades físicas del suelo con respecto al resto de los tratamientos, que son clasificados como muy inestables (RD >30%). Los resultados responden a la incorporación de MO fresca y en altas dosis en los tratamientos T3 y T4, esto debido al mayor aporte de polisacáridos, que favorecen más eficientemente la unión de partículas como resultado de la descomposición de materiales frescos (Havlin *et al.*, 1999).en profundidad no se presentaron diferencias estadísticas significativas, pero entre 10 – 30 cm se comienza a ver el efecto de la acción conjunta de los cultivos con estiércol (T4), manifestando una menor dispersión en relación al resto de los tratamientos.

### 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. Valores elevados de resistencia a la penetración podrían relacionarse a problemas de compactación, los que en algunos casos pueden llegar a ser tan intensos que causan un impedimento al crecimiento radical (Lindstrom y Voorhees, 1994). La Figura 3 presenta los valores de resistencia a la penetración horizontal, para cada uno de los tratamientos en profundidad, evaluados a capacidad de campo.



**Figura 3.** Resistencia a la penetración horizontal (Nt) a distintas profundidades para cada uno de los tratamientos.

Algunos factores que influyen en la resistencia a la penetración son el contenido de agua, la densidad aparente, el contenido de MO, la estructura de suelo y el contenido de arena y arcilla, entre otros (Horn, 2003). En este caso, el factor diferenciante es el contenido de MO, que afecta a la  $D_a$  y con ello a la resistencia mecánica. Diversos autores destacan el efecto de la MO al disminuir la resistencia a la penetración (Zhang *et al.*, 2005), lo que se relaciona, para un mismo suelo, con una mejora en la estructura. Esto es debido a que la MO confiere propiedades elásticas al suelo, lo que permite recuperarse de cargas aplicadas en superficie, como lo son el tráfico de maquinaria y humano.

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Apéndice II) en superficie (0-10cm) y en profundidad (30-50cm), pudiendo observarse en el testigo una alta resistencia en superficie dado el estado de sobreconsolidación por tráfico, mientras que el resto de los tratamientos presentó una menor resistencia producto del manejo orgánico. La resistencia a la penetración varía desde fuerte a muy fuerte, limitando el crecimiento radical de los cultivos y de la vid, aunque no sobrepasa el valor crítico de 80 Nt (NSSC, 2002) sobre el cual las raíces no pueden elongarse. Las diferencias en profundidad estarían relacionadas más al sustrato pedológico que al manejo en superficie (Farias, 2009).

También es posible evaluar el estado de compactación de un suelo a través del coeficiente de descanso  $k_o$  (Terzaghi y Peck, 1983), en que los valores de  $k_o \leq 1$  acusan un estado de sobreconsolidación antrópica. Este parámetro presenta la ventaja de ser independiente del manejo o del contenido de agua (Bachmann *et al.*, 2006), por lo que resulta más confiable al momento de evaluar compactación. En el Cuadro 7 se aprecian los valores de  $k_o$  obtenidos para cada tratamiento y a distintas profundidades.

**Cuadro 7.** Valores de  $k_o$  ( $Nt\ Nt^{-1}$ ) obtenidos en los distintos tratamientos y profundidades. Promedio ( $\pm DS$ ).

Tratamiento	$k_o$ ( $Nt\ Nt^{-1}$ )		
	0-10 cm	10-30 cm	30-50 cm
T1	1,28 ( $\pm 0,31$ )	1,36 ( $\pm 0,16$ )	1,03 ( $\pm 0,29$ )
T2	1,06 ( $\pm 0,11$ )	1,31 ( $\pm 0,31$ )	1,02 ( $\pm 0,30$ )
T3	1,04 ( $\pm 0,14$ )	1,41 ( $\pm 0,26$ )	1,16 ( $\pm 0,34$ )
T4	1,05 ( $\pm 0,13$ )	0,96 ( $\pm 0,12$ )	1,15 ( $\pm 0,15$ )

Sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Los valores  $k_o$  se presentan altos, especialmente entre 10-30 cm de profundidad en los tratamientos T1, T2 y T3, lo que podría deberse a la presencia de un pie de arado. Sólo el T4 logró desarrollar valores bajos en todo el perfil, aunque sin diferencias estadísticas significativas con respecto a los demás tratamientos. Esto podría deberse a que el enraizamiento de los cultivos en T4 se vio potenciado por la aplicación de estiércol, manifestando una mayor exploración de raíces en profundidad, lo que trajo consigo la disminución de cargas normales y la consecuente reducción de la resistencia a la penetración (Trukmann *et al.*, 2006). En general el suelo se presenta sobreconsolidado, y el tratamiento con cultivo no es suficiente para remediar esta situación en el corto plazo. El alto valor de  $k_o$  del tratamiento con estiércol (T3) entre 10-30 cm se explica por la discontinuidad generada por las aplicaciones de enmiendas en cobertera y/o bateas (Poblete, 2011), por lo que el complemento de esta práctica con el uso de cultivos potencia los efectos benéficos sobre el suelo.

### Propiedades dinámicas del suelo

El suelo tiene la capacidad para conducir fluidos, lo que dependerá de las propiedades dinámicas de este, como son la estructura y la distribución del sistema poroso (Benavides, 1992). A través de este se mueven los distintos fluidos (agua y aire) y es por esto que la porosidad del suelo (distribución de tamaños y continuidad) es el mejor indicador de la calidad de la estructura del suelo. Al ser cuantificado el espacio poroso en términos de forma, tamaño, continuidad, orientación y el arreglo de los poros en el suelo, se puede definir la complejidad de la estructura del suelo (Pagliai y Vignozzi, 2002). Sin embargo, es la capacidad de conducir fluidos la que en definitiva determina la calidad y funcionalidad física del suelo.

## Flujo de Aire

El Cuadro 8 muestra los resultados de flujo de aire (expresados en  $\text{cm h}^{-1}$ ) obtenidos a partir de muestras de suelo no alteradas y equilibradas a -33 kPa en olla de presión.

**Cuadro 8.** Flujo de aire ( $\text{cm h}^{-1}$ ) en los distintos tratamientos y profundidades.

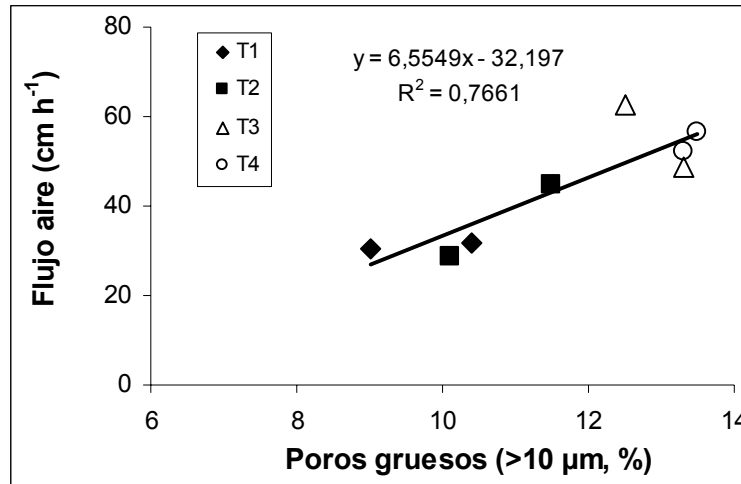
Tratamiento	Flujo aire ( $\text{cm h}^{-1}$ )	
	10-30 cm	30-50 cm
T1	31,80 ( $\pm 0,62$ )	30,50 ( $\pm 0,73$ )
T2	37,19 ( $\pm 0,36$ )	44,67 ( $\pm 0,39$ )
T3	62,53 ( $\pm 0,64$ )	48,80 ( $\pm 0,41$ )
T4	56,62 ( $\pm 0,44$ )	52,24 ( $\pm 0,46$ )

Sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Aunque no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, T3 y T4 tendieron a presentar un mayor flujo de aire en las dos profundidades analizadas. En el caso del tratamiento T2 se observó un ligero aumento del flujo aire en profundidad, ya que la rotación de cultivos incluyó especies con distintos sistemas radicales que exploran de mejor forma el suelo, generando una porosidad más continua y funcional en el tiempo.

El flujo de aire evaluado a capacidad de campo es bajo, ya que parte del espacio poroso se encuentra con agua y la disponibilidad de conducir aire es menor, estando disponibles sólo los poros más gruesos. Sin embargo, al secarse el suelo hay más poros participando en el flujo de aire, pero estos poros son de diámetro reducido, por lo cual el incremento en la capacidad de conducir aire es marginal y se basa en una menor disponibilidad de agua para el cultivo. Esto confirma lo expresado por Dexter (2002), quien afirma que la capacidad del suelo para conducir fluidos no sólo depende del volumen de poros, sino que también influye la distribución de tamaños y la continuidad de éstos.

Los resultados son acordes con los obtenidos por Poblete (2011) y Sandoval (2010), quienes trabajaron en un suelo que presentaba problemas de compactación y en otro de textura gruesa y presencia de gravas, respectivamente. En este último caso, la presencia de gravas aumentó la tortuosidad del sistema poroso, por lo que el flujo de aire no fue mayor al obtenido en suelos de clase textural más fina. Para el presente estudio, la aplicación de estiércol tendió a mejorar las condiciones edáficas, logrando un mejor flujo de aire, pero se observaron mejores resultados cuando se sembró cultivo sobre el estiércol. Este hecho estaría relacionado con la descomposición de las raíces de las diferentes especies que conformaron la rotación, mejorando la persistencia y continuidad del sistema poroso en el tiempo. Como resultado, se favorece la capacidad de conducción de aire en el suelo, existiendo una correlación entre el flujo de aire y los poros gruesos, como se aprecia en la Figura 4.



**Figura 4.** Correlación entre poros gruesos (>10 μm, %) y flujo de aire (cm h<sup>-1</sup>).

La correlación fue significativa en un 95% ( $r=0,8753$ ) lo cual está reflejando que existe una continuidad porosa, permitiendo el flujo de aire a través del suelo (Pagliai y Vignozzi, 2002). Las muestras fueron evaluadas a una tensión mátrica de -33 kPa con el fin de dejar con aire todos los poros de drenaje (Cuadro 5).

### Velocidad de Infiltración

La velocidad de infiltración (VI) fue obtenida graficando la infiltración acumulada en el tiempo hasta que llegue a estabilizarse, considerando la pendiente estabilizada como un valor cercano a la conductividad hidráulica saturada del suelo (Apéndice III). Se realizó una prueba t de comparación de pendientes, resultados que se presentan en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Resultado de prueba de comparación de pendientes estabilizadas de la velocidad de infiltración (VI).

Tratamiento	VI estabilizada (cm h <sup>-1</sup> )
T1	14,6 c
T2	24,5 ab
T3	24,0 b
T4	32,8 a

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las pendientes de los tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

La velocidad de infiltración está relacionada con la textura dominante en el suelo y el contenido de MO, la cual promueve la formación de macroporos, mejorando así la

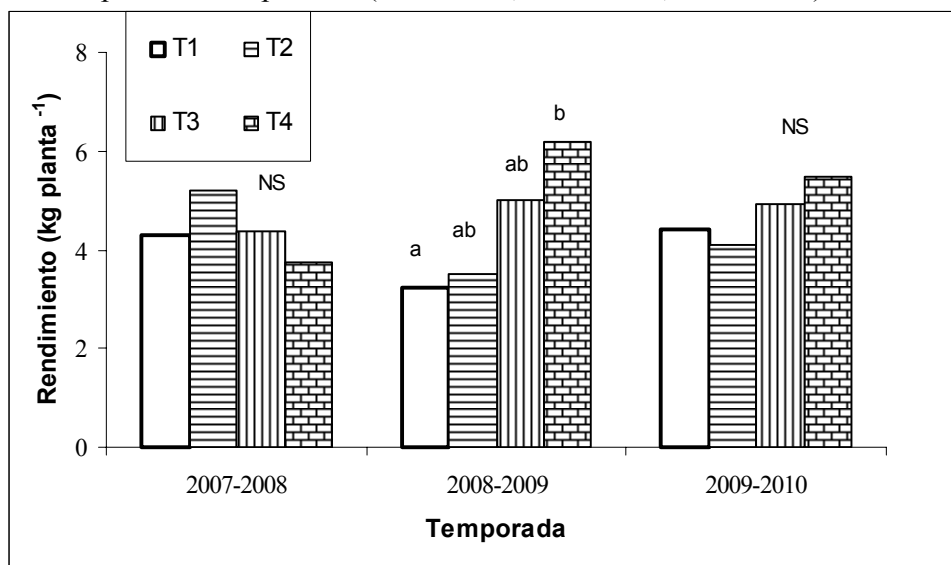
infiltración de agua y la aireación del suelo (Brady y Weil, 2000); por ende una mayor porosidad explica una mayor infiltración acumulada en los tratamientos orgánicos (Seguel *et al.*, 2003; Pfeiffer, *et al.*, 2008). Por este motivo, que el tratamiento T4 posee la mayor VI en comparación a los otros tratamientos, puesto que tiene un mayor contenido de materia orgánica (Cuadro 3). Las mayores tasas de infiltración la presentaron los tratamientos T2, T3 y T4, ya que poseen una gran proporción de macroporos, como se aprecia en el Cuadro 5; además los tratamientos T3 y T4 presentaron una mayor estabilidad (Figura 2) debido a la depositación de MO en las paredes de los macroporos.

Según la clasificación de Casanova *et al.* (2008) los valores obtenidos para la VI son considerados como de clase rápida en T1, T2 y T3, y como muy rápida en T4, lo que implica una mejoría en la estructura respecto a la condición inicial del suelo.

## Propiedades de la vid

### Productividad de la vid

La Figura 5 muestra el rendimiento de las plantas de vid en términos de la producción de uva comercial para tres temporadas (2007-2008, 2008-2009, 2009-2010).

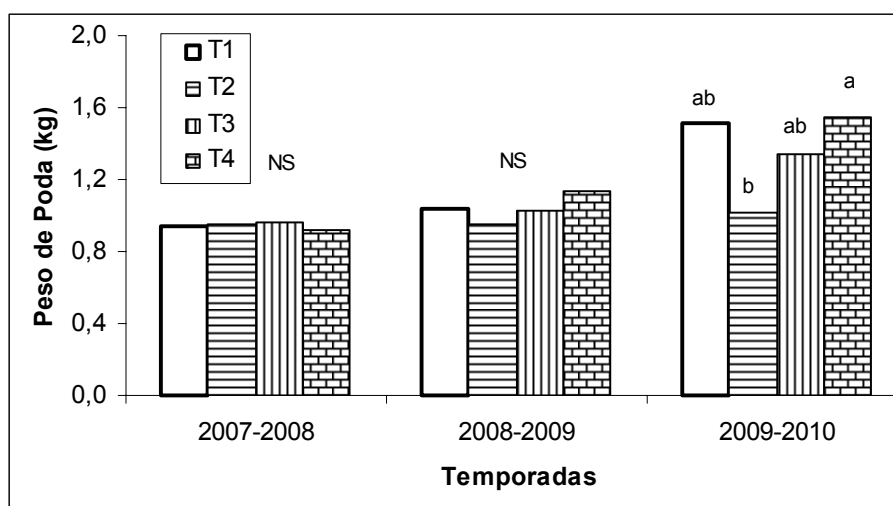


**Figura 5.** Producción de uva comercial ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) en tres temporadas de producción. NS: sin diferencias significativas entre tratamientos. Letras diferentes implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos dentro de una misma temporada ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Como se observa en la Figura 5, los rendimientos fueron variables durante las temporadas,

esto producto que la vid está influenciada por distintos factores, tales como, el suelo, las condiciones climáticas y el manejo. La rotación de cultivos en los tratamientos no fue limitante para el desarrollo normal de la vid, ya que no afectó el rendimiento en relación al testigo, por lo que se puede concluir que la siembra de los cultivos en el periodo de receso de la vid no generó competencia por los recursos agua y nutrientes. También se observó que los tratamientos donde se aplicaron enmiendas orgánicas como el estiércol, al cabo del tiempo aumentaron los rendimientos, aunque no siempre generaron diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo. Poblete (2011) plantea que los tratamientos con estiércol disminuyen la variabilidad interanual producto de accidentes climáticos, lo que no se observó con claridad en los resultados de este estudio. Sin embargo, se ha demostrado que los sistemas productivos que favorecen el incremento de la MO del suelo, disminuyen la variabilidad de los rendimientos por un efecto buffer del continuo suelo – planta – atmósfera (Pan *et al.*, 2009).

También se midió la masa de poda ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) en las tres temporadas, resultados que se presentan en la Figura 6.

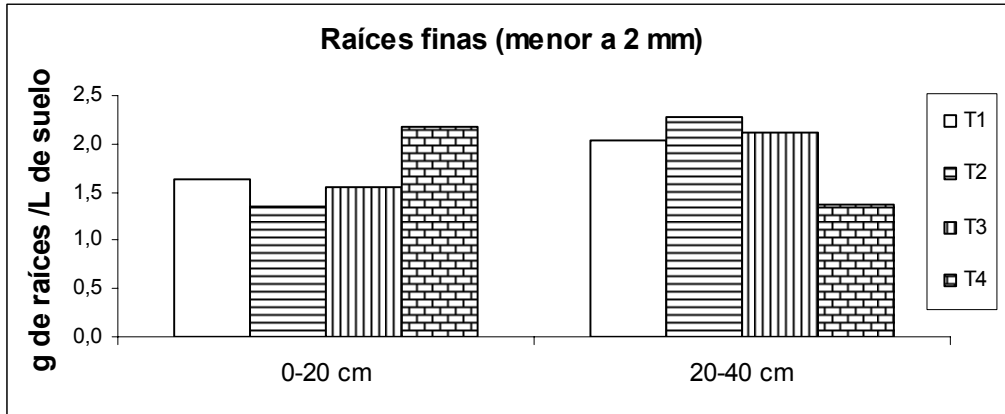


**Figura 6.** Peso de poda ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) en tres temporadas de producción. NS: sin diferencias significativas entre tratamientos. Letras diferentes implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

En general la biomasa de poda depende del manejo específico que se realiza al parrón, pudiendo variar año a año. Además, los tratamientos con estiércol generan un aporte extra de macronutrientes una vez que ocurre el proceso de mineralización. En este estudio, salvo el T2 con cultivo de cobertura, los tratamientos tuvieron un incremento sostenido de la biomasa vegetativa, llegando a la tercera temporada de evaluación a generar diferencias estadísticas significativas entre T4 y T2. Sin embargo, el peso de poda no se correlacionó con el rendimiento de uva, por lo que las diferencias se deberían a un equilibrio funcional de la planta de vid más que a competencia entre éstas con los cultivos.



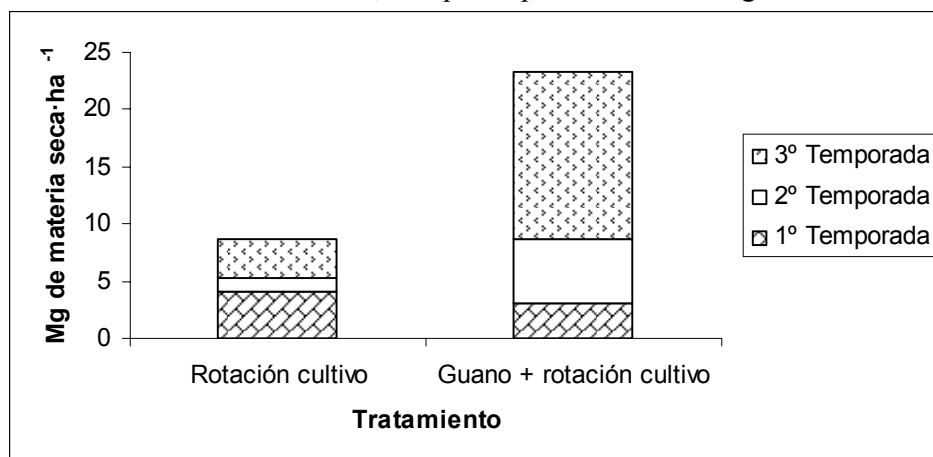
Se evaluaron las raíces de la vid en dos rangos de profundidad, resultados que se presentan en la Figura 7.



**Figura 7.** Materia seca de raíces finas (< 2 mm). No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

La distribución de raíces es similar en los distintos tratamientos, con lo que se puede concluir que no se produjo una alteración negativa en las plantas de vid al implementar las rotaciones de cultivos. Se aprecia que en T4 hay un aumento de las raíces finas en superficie en comparación con los demás tratamientos, debido a las mejores condiciones físicas y posiblemente por el aumento de temperatura al descomponerse el estiércol, llegando a valores cercanos al óptimo de 30°C para el máximo crecimiento (Ibacache y Lobato, 1995). No se apreciaría un efecto dañino por aporte salino del estiércol, ya que las altas tasas de riego favorecerían el lavado de sales, además del efecto de absorción por parte de la cobertura en el T4 (Covarrubias *et al.*, 2008).

Finalmente se midió la materia seca (MS) de los diferentes cultivos que se utilizaron en los tratamientos con sistemas de rotación, los que se presentan en la Figura 8.



**Figura 8.** Peso de la materia seca de los cultivos de cobertura por hectárea por temporada.

Los valores de MS en general son mayores cuando se utilizaron cultivos sembrados sobre el estiércol. Esto generó un aporte equivalente de MS al suelo que varió, en la tercera temporada, entre 3 Mg ha<sup>-1</sup> de MS en el T2 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> de MS en el T4, por lo que la sinergia estiércol – cultivo favorece el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo por una acción conjunta entre el aporte fresco directo (estiércol) y la acción de las raíces de los cultivos, debiendo continuar con estudios que discriminen las mejores rotaciones.

## CONCLUSIONES

Los manejos de la materia orgánica propuestos para un suelo bajo riego en un clima semiárido tuvieron efectos positivos sobre las propiedades estructurales de éste. La aplicación de enmiendas orgánicas permite una mejora en las propiedades físicas del suelo, destacando la disminución de la densidad aparente y la resistencia mecánica, además del aumento de la estabilidad de agregados y la velocidad de infiltración de agua.

La aplicación de cultivos de cobertura en la sobrehilera de plantación de vid no afecta el rendimiento de uva comercial.

La aplicación conjunta de estiércol y siembra de cultivo, mejora las propiedades físicas de suelo y en una de las temporadas logra un mayor rendimiento de uva comercial; sin embargo, es necesario tener presente que el resultado se potencia por el aporte de nutrientes propios del estiércol.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Bachmann, J., K. Contreras, K.H. Hartge, and R. MacDonald. 2006. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil & Tillage Research* 87: 112–118.
- Baginsky, C., O. Seguel y A. Contreras. 2011. Impacto en la utilización de cultivos y enmiendas orgánicas sobre la funcionalidad del suelo. Facultad de Ciencias Agronómicas, Serie Ciencias Agronómicas N° 17. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 143 p.
- Barrientos, L. 1989. Inoculación de leguminosas. *IPA Carillanca* 8 (3): 6-9.
- Barzegar, A. R., A. Yousefi and A. Daryashenas. 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil* 247: 295-301.
- Benavides, C. 1992. El suelo como sistema físico. pp: 121-153. *In: Vera, W (Ed). Suelos, una visión actualizada del recurso. 1ª Ed. Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.*
- Berryman, C., D. Davies, C. Evans, M. Harrod, A. Hughes, R. Skinner, R. Swain and D. Soane. 1982. Techniques for measuring soil physical properties. Formerly Advisory Paper N°18. Reference Book 441. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Swedish. 116 p.
- Brady, N. and R. Weil. 2000. Elements of the nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. USA. 559 p.
- Casanova, M., W. Vera y W. Luzio. 2006. Rasgos morfológicos de los suelos. pp:43-90. *In: Luzio, W. y M. Casanova (eds.). Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 393p.*
- Casanova, M., O. Seguel., J. Haberland y C. Kremer. 2008. Propiedades físicas: Indicadores de calidad y salud de suelos. *Antumapu* 6 (1-2):32-34.
- Campos, H., N. Lizama y M.G. Marquez. 1994. Determinación cualitativa del contenido de glucosinolatos en semillas de raps (*Brassica napus* L.) a través de glucocinta. *Agricultura Técnica (Chile)* 54:318-322.
- Centro de Información de Recursos Naturales. CIREN. 2007. Estudio Agrológico Valle de Copiapó y Valle del Huasco. Región de Atacama. Publicación N° 135. Chile. 145p.
- Chenu, C., Y. Le Bissonais and D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1479-1486.

Comisión Nacional de Riego. CNR. 2008. ESIIR. Sistema de información integral de riego. Disponible en: <http://esiir.cnr.cl/>. Leído el 14 de Mayo de 2009. Chile.

Covarrubias, J., C. Baginsky, O. Seguel y C. Gonzalez. 2008. Evaluación de la extracción de sales por tres cultivos de cobertera establecidos sobre un parrón de uva de mesa en el valle de Copiapó. 59° Congreso Agronómico. 7-8 Octubre. La Serena, Chile.

CSRservicios. 2006. Laboratorio de análisis agrícolas. Análisis de suelos agrícolas. Interpretación de resultados. Disponible en: [http://www.csr servicios.es/CONSULTORIA\\_AGRICOLA/DESCARGAS/TABLA\\_INTEPRETACION\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_CSR.pdf](http://www.csr servicios.es/CONSULTORIA_AGRICOLA/DESCARGAS/TABLA_INTEPRETACION_SUELOS_AGRICOLAS_CSR.pdf). Leído el 1 de Septiembre de 2010.

Dane, J.H. and J. W. Hopmans. 2002. Water retention and storage. pp: 671-720. *In*: Dane, J.H. and Topp, G.C. (Eds.) Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. SSSA Book Serie Nr 5. Madison, Wisconsin, USA.

Dexter, A. 2002. Soil structure: the key to soil function. pp: 57-69. *In*: Pagliai, M. and Jones, R. (eds). Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. Advances in Geocology 35. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany.

Ellies, A., C. Ramírez, y R. MacDonald. 1993. Cambios en la porosidad de un suelo por efecto de su uso. Turrialba 43 (1): 72-76.

Ellies, A. 1995. Efecto del manejo sobre las propiedades físicas de suelos trumaos y rojo arcillosos. Bosque 16:101-110.

Ellies, A., R. Grez y C. Ramírez. 1995. Potencial de humectación y estabilidad estructural de los agregados de suelos sometidos a diferentes manejos. Agricultura Técnica 55 (3-4): 220-225.

Ellies, A. 2000. Soil erosion and its control in Chile – An overview. Acta Geológica Hispánica 35: 279-284.

Ellies, A., R. Mac Donald, C. Ramírez y P. Campos. 2002. Manejo del suelo y capacidad de humectación en los agregados. pp: 103-106. *En*: Boletín N° 18 Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Talca, Chile.

Faiguembaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Impresora y Editor Ograma, Santiago, Chile. 760p.

Farías, E. 2009. Cambio en las propiedades físicas de un suelo en laderas cultivadas con vid (*Vitis vinifera*). Memoria de Título Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 40p.

Gee, G. W. and D. Or. 2002. Particle size analysis. pp: 255-293. *In*: Dane, J. H. and Topp, G.C. (eds.) *Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods.* Soil Science Society of America (SSSA). Book Series Nr 5. Madison, Wisconsin, USA.

Grossman, R.B. and T.G. Reinsch. 2002. Bulk density and linear extensibility. pp: 201-228. *In*: Dane, J.H. and Topp, G.C. (eds.) *Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods.* Soil Science Society of America (SSSA). Book Series Nr 5. Madison, Wisconsin, USA.

Halbrendt, J. M. 1993. Evaluation of rotational crops for nematode management in orchards. *Pennsylvania Fruit News* 73:62-66.

Hartge, K.H. und R. Horn. 2009. *Die physikalische Untersuchung von Böden.* Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Germany. 177p.

Hartge, K., und J. Bachmann. 2004. Ermittlung des Spannungszustandes von Böden aus Werten des Eindringwiderstandes von Sonden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167: 304-308.

Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 1999. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management.* Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 499 p.

Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics.* Academic Press. New York, USA. 771p.

Horn, R. 2003. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. *Geoderma* 116: 77-88

Horn, R. 2004. Structure formation and its consequences on gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. pp: 79-85. *In*: Glinski, J., G. Jósefeciuk and R. Stahr (eds.). *Soil- Plant- Atmospher aeration and environmental problems.* Lublin, Stuttgart. Germany.

Ibacache, A. y A. Lobato. 1995. Periodos de crecimiento de raíces en vid. *Revista Frutícola* 16 (1): 23 – 26.

INIA-ODEPA (Chile). 2000. Proyecto sistemas de validación y transferencia de tecnologías de riego sector regado de las provincias de San Felipe y Los Andes. Convenio INIA-ODEPA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Santiago. Chile. 52 p.

INIA. 2010. Laboratorio de suelos. Interpretación de análisis químicos de suelos. Disponible en: <http://www.inia.cl/link.cgi/suelo/resultados/7706> . Leído el 1 de Septiembre de 2010.

- Kay, B.D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*. 12: 1- 4. Special Issue. Stewart, B.A. (Ed.). Springer-Verlag, New York, USA.
- Kay, B.D. and D.A. Angers. 2000. Soil structure: A229-A276. *In*: Sumner, M. (Ed.). *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA.
- Koolen, A. and H. Kuipers. 1983. *Agricultural soil mechanics*. Advances Series in Agricultural Sciences 13. Springer Verlag. Berlin, Germany. 241 p.
- Krarup, C. y I. Moreira. 1998. Hortalizas de estación fría. *Biología y diversidad cultural*. P. Universidad Católica de Chile, VRA, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile. [http://www.puc.cl/sw\\_educ/hort0498](http://www.puc.cl/sw_educ/hort0498). Leído el 1 de Agosto de 2012.
- Linstrom, M.J. and W.B. Voorhees. 1994. Responses of temperate crops in North America to soil compactation. pp: 265-286. *In*: Soane, B.D. and C. Van Ouwerker (Eds). *Soil compaction in crop production*. New York, USA.
- Lobato, A y J. Valenzuela. 2000. Zona Central. pp: 31-38. *In*: INIA. *Uva de mesa en Chile*. Santiago, Chile. 1515p.
- McKenzie, B.M., A.G. Bengough, P.D. Hallett, W.T.B. Thomas, B. Forster and J.W. McNicol. 2009. Deep rooting and drought screening of cereal crops: A novel field-based method and its application. *Field Crops Research* 112: 165-171.
- Mojtahedi, H., G.S. Santo, A.N. Hang and J.H. Wilson. 1991. Suppression of root-knot nematode populations with selected rapeseed cultivars as green manure. *Journal of Nematology* 23:170-174.
- Nacional Soil Survey Center (NSSC). 2002. *Field Book for describing and sampling soils*. version 2.0 Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, September 2002.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Osorio, A., F. Tapia y R. Salinas. 1995. *Suelos y climas del valle del Huasco y sus alternativas de cultivo*. INIA-Intihuasi. Cartilla Divulgativa N°1. 12 p.
- Oster, J. 1995. *Curso: Riego con aguas Salinas*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional Intihuasi. La Serena, 28 al 30 de marzo de 1995. 91 p.

Pagliai, M. and N. Vignozzi. 2002. The soil pore system as an indicator of soil quality. pp: 71-82. In: Pagliai, M. and R. Jones (Eds). Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. Advances in Geoecology 35. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany.

Pan, G., P. Smith and W. Pan. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. Agriculture, Ecosystems and Environment 129: 344-348.

Peth, S. 2004. Bodenphysikalische Untersuchungen zur Trittbelastung von Böden bei der Rentierweidewirtschaft an borealen Wold- und subarktisch-alpinen Tundrenstandorten. Auswirkungen auf thermische, hydraulische und mechanische Bodeneigenschaften. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde, H64, ISSN:0933-680x

Pfeiffer, M., J. Haberland, C. Kremer y O. Seguel. 2008. Comparación de dos métodos alternativos al pozo barreno para la medición de la conductividad hidráulica saturada (Ks) en un alfisol. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 8(4):49-56.

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 sobrehilera. Memoria de Título de Ingeniera Agrónoma. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 47 p.

Rawls, W.J., Y.A. Pachepsky, J.C. Ritchie, T.M. Sobecki and H. Bloodworth. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. Geoderma 116: 61-76.

Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil and Tillage Research 43: 131-167.

Reynold, W. D., D. E. Elrick, E. G. Youngs, A. Amoozegar, H. W. Booltink and J. Bouma. 2002. Saturated and field saturated water flow parameters. pp: 797-878. In: Dane, J.H. and Topp, G.C. (eds.) Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America (SSSA). Book Serie Nr 5 Madison, Wisconsin, USA.

Ruiz, I. (Ed). 1996. Praderas para Chile. 2<sup>da</sup> ed. INIA, Santiago Chile. 720 p.

Sadzawka, A., M. A. Carrasco, R. Grez y M. Mora. 2004. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de Normalización y Acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile. 113p.

Salgado, L. 1999. Manual de estándares técnicos y económicos para obras de drenaje. Comisión Nacional de Riego. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 401p.



- Sandoval, M. 2010. Modificación de las propiedades físicas de un suelo de la III Región cultivado con vid, mediante el uso de especies anuales en la sobre hilera. Memoria de Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 44 p.
- Schaeffer F. und P. Schachtschabel. 2002. Lehrbuch der Bodenkunde, 15 Ed. Spectrum Publ., Heidelberg, Germany. 593 p.
- 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. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169: 221-232.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, C. González, R. Callejas, M. Sandoval, L. Poblete y F. Valenzuela. 2009. Uso de especies anuales en la sobre-hilera de plantación de vid (*Vitis vinifera*) como alternativa para mejorar las propiedades físicas del suelo en el Valle de Copiapó. pp: 127-128. XI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Chillán, Chile, 24-26 de Agosto de 2009. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Boletín 21.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, J. Covarrubias, C. González and M. 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.
- 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 63 (2): 180-192.
- Semmel, H., R. Horn, A. R. Dexter and E.D. Schulze. 1990. The dynamics of soil aggregate formation and the effect on soil physical properties. Soil Technology 3:113-129.
- Six, J., E.T. Elliott and K. Paustian, 1999. Aggregate and soil organic matter dynamic under conventional and no-tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1350- 1358.
- Sprent, J. and F. Minchin. 1985. *Rhizobium*, nodulation and nitrogen fixation. pp: 115-143. In: Summerfield, W. and Robert, E. (eds). Grain Legume Crops. London, England.
- Terzaghi, K. y R. H. Peck. 1983. Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Ed. El Ateneo. Buenos Aires. Argentina. 681p.
- 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. pp:362-369. In: Horn, R., H. Fleige, S. Peth. and X. Peng (Eds). Soil management for Sustainability. Advances in Geoecology 38. IUSS. Catena Verlag.

Reiskirchen. Germany. 497 p.

United States Soil Conservation Service (SSLS). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaly soils. United States Department of Agriculture. Handbook 60. Washington D. C., USA. 160 p.

Zhang, B., R. Horn and P. Hallet. 2005. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 69: 864-871.

## APÉNDICE I

Estabilidad de agregados mediante la variación del diámetro en seco y húmedo. Promedio ( $\pm$  desviación estándar). El menor valor indica mayor estabilidad.

Tratamiento	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
T1	59,3 ( $\pm$ 10,5) a	65,5 ( $\pm$ 7,7)	65,9 ( $\pm$ 11,1)
T2	57,8 ( $\pm$ 13,1) a	58,7 ( $\pm$ 21,1)	69,6 ( $\pm$ 1,3)
T3	40,5 ( $\pm$ 11,3) ab	60,3 ( $\pm$ 12,4)	69,5 ( $\pm$ 6,0)
T4	33,1 ( $\pm$ 17,8) b	53,2 ( $\pm$ 24,2)	56,0 ( $\pm$ 25,2)

Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad ( $\alpha \leq 0,05$ ).

T1: Testigo

T2: Rotación raps - haba - mostaza - avena

T3: Estiércol de cabra

T4: Estiércol de cabra + rotación raps - haba – cebada – mostaza

## APÉNDICE II

Resistencia a la penetración (Nt). Promedio ( $\pm$ DS) de valores horizontales evaluados a capacidad de campo.

Tratamientos	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
T1	68 ( $\pm$ 13) a	62 ( $\pm$ 10)	41 ( $\pm$ 11) b
T2	46 ( $\pm$ 7) b	60 ( $\pm$ 17)	50 ( $\pm$ 4) ab
T3	35 ( $\pm$ 4) b	52 ( $\pm$ 12)	53 ( $\pm$ 3) a
T4	36 ( $\pm$ 8) b	49 ( $\pm$ 6)	56 ( $\pm$ 1) a

Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad ( $\alpha \leq 0,05$ ).

T1: Testigo

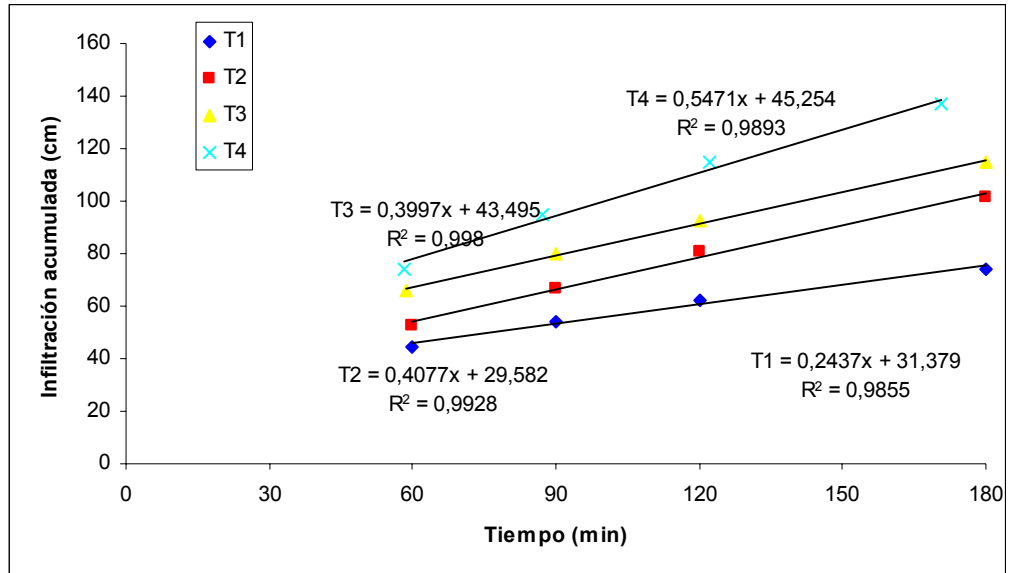
T2: Rotación raps - haba - mostaza - avena

T3: Estiércol de cabra

T4: Estiércol de cabra + rotación raps - haba – cebada – mostaza

### APÉNDICE III

Curvas de infiltración acumulada.



T1: Testigo

T2: Rotación raps - haba - mostaza - avena

T3: Estiércol de cabra

T4: Estiércol de cabra + Rotación raps - haba - cebada - mostaza

## ANEXO I

Descripción morfológica del suelo realizada el año 2006 por el proyecto “Suelo Vivo”.

Terraza aluvial profunda, plana, con clastos abundantes desde los 40 cm, con meteorización variable; enraizamiento abundante hasta 90 cm, bajo lo cual existe un sustrato de piedras con matriz de arena media. Sin reacción al HCl en todo el perfil.

Profundidad (cm)	Características físicas y morfológicas del pedón
0 – 8	Depósito confinado de materia orgánica sobre el camellón. Restos de poda y compost, muy friable, sin raíces, mezclado con suelo (30%); suelto, con 30% de bloques subangulares finos moderados; pardo oscuro (10YR3/3); franco arcillosa, plástico y adhesivo; poros finos abundantes; límite lineal claro.
8 – 25 Ap	Bloques subangulares, gruesos, moderados; firme; pardo amarillento oscuro (10YR4/4); franco arcillo arenosa, plástico, adhesivo; clastos subangulares menores a 3 cm, escasos; poros finos y muy finos abundantes, medios comunes; raíces finas escasas, medias escasas, en los 15 – 20 cm las raíces se concentran hacia el límite, siendo gruesas y medias comunes, finas escasas, en la proyección del camellón; límite lineal claro.
25 – 50 AC	60% de clastos redondeados, dominan menores a 4 cm, hasta 10 cm escasos, principalmente andesíticos, granito escaso. Masivo, matriz parda (7,5YR4/4); franca arcillo arenosa, plástico, adhesivo; poros finos y muy finos comunes, medios comunes; raíces crecen pegadas a los clastos, finas comunes, medias comunes, concentradas dentro del bulbo de mojamiento, fuera de este son escasas en todo el perfil; límite lineal claro.
50 – 90 C <sub>1</sub>	60% de clastos redondeados, hasta 25 cm, con un 10% de grava fina, matriz franco arenosa, no plástica, no adhesiva; poros finos y muy finos abundantes; raíces finas comunes, medias comunes, aplastadas; límite lineal claro. En el límite las raíces son finas y abundantes.
90 – 115 C <sub>2</sub>	Clastos de hasta 15 cm, redondeadas, ocupan el 90% del volumen, con matriz arenosa, raíces finas escasas, medias muy escasas. Poros finos y muy finos abundantes.

Observaciones: Debido a la discontinuidad de los sistemas porosos, atribuidos principalmente al aumento del tamaño y abundancia de los clastos, existe mayor abundancia de raíces en la base de los horizontes AC y C<sub>1</sub>.

## ANEXO II

Análisis químico de nutrientes previo al establecimiento del ensayo (2006).

Prof. (cm)	N <sub>total</sub> (%)	P <sub>disponible</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sub>intercambio</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	PSI <sup>1</sup> (%)	CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )
0 – 25	0,17	16	1,33	0,57	2,59	22,00
25 - 50	0,05	2	0,26	0,21	2,49	8,45
Guano	1,63	259	44,00	8,98	1,33	102,53

Prof. (cm)	Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	B <sub>soluble</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	C.E. (dS m <sup>-1</sup> )	pH	M.O. <sup>2</sup> (%)
0 – 25	22,98	3,58	0,17	3,7	7,42	2,91
25 – 50	12,38	2,02	0,11	0,82	7,00	1,29
Guano	22,79	24,54	99,51	15,25	7,60	53,29

1. / PSI= Porcentaje de sodio intercambiable.

2. / Determinado por el método de combustión húmeda (Sadzawka *et al.*, 2004).

Resultado de los análisis de laboratorio realizados por el proyecto “Suelo Vivo. Innovación y cambios tecnológicos en el uso de la materia orgánica en la optimización del manejo de parronales en la Región de Atacama” (INNOVA-CORFO, 2006) a muestras de suelo y estiércol del predio del Sr. Pablo Álvarez el año 2006.

## ANEXO III

Tablas de referencia para análisis químico de suelos.

Tabla de referencia					
Parámetro	Rango	Categoría	Parámetro	Rango	Categoría
N <sub>Total</sub> * (%)	< 0,10	Bajo	Ca** (cmol kg <sup>-1</sup> )	< 2,0	Muy bajo
	0,11 - 0,19	Medio		2,01 - 5,00	Bajo
	> 0,20	Alto		5,01 - 9,00	Medio
P <sub>Disponible</sub> ** (mg kg <sup>-1</sup> )	< 5,0	Muy bajo	9,01 - 14,00	Alto	
	5,1 - 10,0	Bajo		> 14,10	Muy Alto
	10,1 - 20,0	Medio	Mg** (cmol kg <sup>-1</sup> )	< 0,25	Muy bajo
	20,1 - 30,0	Alto		0,26 - 0,50	Bajo
	> 30,1	Muy alto		0,51 - 1,00	Medio
K <sub>Intercambiable</sub> ** (cmol kg <sup>-1</sup> )	< 0,12	Muy bajo	1,01 - 1,80	Alto	
	0,13 - 0,25	Bajo		> 1,81	Muy Alto
	0,26 - 0,51	Medio	B <sub>Soluble</sub> ** (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,2	Muy bajo
	0,52 - 0,64	Alto		0,2 - 0,5	Bajo
	>0,65	Muy alto		0,5 - 1,0	Medio
Na** (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	< 0,15	Muy bajo	> 1,0	Alto	
	0,16 - 0,20	Bajo	CE** (dS m <sup>-1</sup> )	< 2,0	No salino
	0,21 - 0,30	Medio		2,1 - 4,0	Ligeramente salino
	0,31 - 0,40	Alto		4,1 - 8,0	Moderadamente salino
	> 0,41	Muy alto		8,1 - 16,0	Fuertemente salino
		>16,0		Muy fuertemente salino	
PSI(%)	< 15	No Sódico	pH**	6,0 - 6,5	Ligeramente ácido
	> 15	Sódico		6,0 - 6,5	Ligeramente ácido
CIC** (cmol kg <sup>-1</sup> )	< 5	Muy bajo		6,6 - 7,3	Neutro
	5-10	Bajo		7,4 - 7,8	Ligeramente alcalino
	11-19	Medio		7,9 - 8,4	Moderadamente alcalino
	20 - 29	Alto		8,5 - 9,0	Fuertemente alcalino
	> 30	Muy Alto			

Referencias.

\*/ CSRservicios (2006).

\*\*./ INIA (2010).

\*\*\*./ United States Soil Conservation Service (1954).