

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

**Memoria de Título**

**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.**

**LUCIANA ANDREA POBLETE BARRERA**

**SANTIAGO – CHILE**

**2011**

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

**Memoria de Título**

**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.**

**MODIFICATION OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF A FINE TEXTURED  
SOIL FROM III REGION OF CHILE CULTIVATED WITH GRAPE THROUGH  
THE USE OF ORGANIC MATTER ON THE ROW-PLANTING.**

**LUCIANA ANDREA POBLETE BARRERA**

**SANTIAGO – CHILE**

**2011**

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

**Memoria de Título**

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

**LUCIANA ANDREA POBLETE BARRERA**

Profesores Guías	Calificaciones
<b>Cecilia Baginsky G.</b> Ingeniero Agrónomo Dr.	6,5
<b>Oscar Seguel S.</b> Ingeniero Agrónomo Dr.	6,8
Profesores Evaluadores	
<b>Cristian Kremer F.</b> Ingeniero Agrónomo Ph. D.	6,8
<b>Eduardo Loyola M.</b> Ingeniero Agrónomo Dr.	6,4

**SANTIAGO – CHILE**

**2011**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
Palabras claves.....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<i>Key words</i> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	7
Tratamientos y diseño del experimento.....	7
Propiedades de suelo evaluadas.....	8
Caracterización del sistema poroso.....	9
Funcionalidad del sistema poroso.....	9
Resistencia mecánica del suelo.....	9
Condición de los agregados del suelo.....	10
Contenido de agua, temperatura y conductividad eléctrica en el suelo.....	10
Muestreo de sales.....	11
Propiedades de la vid evaluadas.....	11
Productividad de la vid.....	11
Análisis estadístico.....	12
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	13
Propiedades generales.....	13
Fertilidad completa.....	13
Distribución del tamaño de partículas.....	14
Densidad real.....	15
Caracterización del sistema poroso.....	16
Densidad aparente.....	16
Curva característica.....	16
Distribución de poros por tamaño.....	18
Funcionalidad del sistema poroso.....	19
Velocidad de infiltración.....	19
Flujo de aire.....	20
Repelencia al agua.....	22
Resistencia mecánica del suelo.....	23
Coeficiente de descanso ( $K_0$ ).....	23
Condición de los agregados del suelo.....	25

Estabilidad de los agregados al agua .....	25
Contenido de agua, temperatura y conductividad eléctrica en el suelo.....	27
Muestreo de sales.....	29
Propiedades de la vid .....	30
Productividad de la vid .....	30
<b>CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	35
<b>APÉNDICE I</b> .....	40
<b>APÉNDICE II</b> .....	41
<b>APÉNDICE III</b> .....	42
<b>APÉNDICE IV</b> .....	43
<b>ANEXO I</b> .....	44
<b>ANEXO II</b> .....	47

## RESUMEN

En el Valle de Copiapó, Tercera Región de Chile, se realizó un ensayo de tres años (2007-2009) en que se evaluó el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y uso de cultivos en la sobre hilera de plantación de vid (*Vitis vinifera*) sobre las propiedades físicas del suelo, comparándolos con un testigo sin estos manejos. El suelo correspondió a la Serie La Capilla (Typic Haplocambid) de textura franco arcillosa y sin pedregosidad; la unidad experimental correspondió a parcelas de 4 plantas de vid por el ancho de la platabanda, en las que se establecieron los siguientes tratamientos: testigo (T1), rotación haba-maíz-raps (T2), aplicación de estiércol de cabra en dosis de 15 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (T3) y rotación maíz-haba-cebada (T4). Mediante muestras de suelo colectadas a tres profundidades (0-10; 10-30 y 30-50 cm) se midió la densidad aparente, la distribución de tamaño de poros, la estabilidad de agregados, la conductividad de aire y la repelencia al agua, además de la conductividad hidráulica y la resistencia mecánica, evaluadas en terreno. En las plantas de vid se evaluó el desarrollo de raíces, la masa de poda y la producción de uva. La densidad aparente disminuyó en el tratamiento con estiércol (T3), lo que se tradujo en una menor resistencia mecánica, aunque el efecto se presentó sólo en superficie (0-10 cm). Los tratamientos con cultivos fueron más efectivos en la generación de porosidad gruesa en todo el perfil, sobresaliendo el T2 con valores de 15% de poros >50 µm hasta 30 cm de profundidad. Esta mayor macroporosidad, generó una mejor continuidad del sistema poroso, favoreciendo una mayor conductividad de aire en profundidad, a diferencia de T1 y T3, que presentaron una discontinuidad por la pre-existencia de un pie de arado. La estabilidad de agregados y la conductividad hidráulica saturada fueron mayores en el T3, no presentando los tratamientos con cultivo (T2 y T4) diferencias significativas con el testigo; a su vez, ninguno de los tratamientos generó valores de repelencia al agua críticos. El corto tiempo de aplicación de los tratamientos no ha permitido reflejar las mejoras de suelo en aumentos de rendimiento, aunque el tratamiento que corresponde a la rotación maíz-haba-cebada (T4) presentó una mayor masa de poda en relación al testigo.

**Palabras clave:** Compactación, cultivos de cobertura, estabilidad de agregados, porosidad.

## ABSTRACT

In Copiapo Valley, III Region of Chile, a three-year study (2007-2009) was conducted, evaluating the effect of organic amendments and crops culture on the soil physical properties in a grape (*Vitis vinifera*) trencile hold, compared with a control without these managements. The soil corresponded to La Capilla Serie (Typic Haplocambid). The experimental unit considered 4 plants of grape by the width of the ridge. Four treatments were established: control (T1), broad bean-maize-rape rotation (T2), application of goat manure in doses of 15 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (T3) and maize-broad bean-barley rotation (T4). With soil samples collected at three depths (0-10, 10-30 and 30-50 cm) bulk density, pore size distribution, aggregate stability, conductivity of air and water repellency were measured, as well as hydraulic conductivity and mechanical strength, evaluated on the field. In the grape, root development, mass of pruning and grape production were evaluated. The bulk density decreased by manure treatment (T3), which resulted in lower mechanical strength, although the effect was showed only in surface (0-10 cm). Crop treatments were more effective generating coarse porosity throughout the profile, reaching the T2 values of 15% of pores > 50 µm up to 30 cm deep. This higher macroporosity promoted the continuity of the porous system, encouraging higher air conductivity at depth, unlike T1 and T3, which showed a discontinuity in the pre-existing plow pan. Aggregate stability and saturated hydraulic conductivity were higher in T3, but crop treatments (T2 and T4) did not show significant differences with the control. Organic amendments did not generate water repellency in a critical level. The short time of the study did not allow reflect the soil improvements in grape production, but T4 had a higher pruning weight than the control.

**Keywords:** Compaction, cover crops, aggregate stability, porosity.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un medio poroso en el que sus fases sólida, líquida y gaseosa constituyen un sistema trifásico (Hillel, 1998). En este cuerpo trifásico se produce el almacenamiento y transporte de fluidos como el agua o el aire (Dörner y Horn, 2006).

Los medios porosos, como el suelo, resultan ser sistemas frágiles, por lo que las alteraciones producidas por actividades antrópicas han generado desequilibrios. Una de las alteraciones fisico-mecánicas más recurrentes ocasionada por las distintas actividades agrícolas corresponde a la compactación (Ellies, 1995).

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Su magnitud depende de factores antrópicos, como lo son las labores agrícolas, y de las características propias del suelo, en cuyo caso se habla de asentamiento (Horn, 1993). Al hablar de compactación, se debe subentender que ésta representa una limitante a la productividad, al afectar las propiedades de transferencia del suelo, provocando alteraciones perjudiciales en la dinámica del agua y del aire que impactan negativamente, y de manera significativa, la actividad biológica y edáfica (Montico y Bonel, 2005).

La pérdida de volumen que experimenta un suelo con problemas de compactación es a costa de los poros gruesos (macroporos), favoreciendo la generación de condiciones anaeróbicas (Stepniewski *et al.*, 1994). La macroporosidad depende principalmente de la estructura, la cual está referida al tamaño, forma y arreglo de las partículas primarias de los agregados y los vacíos entre éstas (Bullock *et al.*, 1985). A su vez, los suelos de textura fina, dada sus propiedades de alta compresibilidad y plasticidad, son más propensos a sufrir de compactación si no poseen una buena estructura (Horn y Lebert, 1994).

La distribución del tamaño de partículas no es un factor que se pueda alterar a través del manejo; no obstante, en el caso que éste fomente problemas de compactación, la respuesta es favorecer una buena estructura que permita una adecuada aireación y humedad en el suelo (Horn y Lebert, 1994). El proceso de aireación del suelo es uno de los determinantes más importantes en su productividad, debido a que las reacciones biológicas de importancia agronómica que ocurren a nivel edáfico (actividad microbiana y radical) consumen O<sub>2</sub> y producen CO<sub>2</sub>, tipificando de este modo un sistema aeróbico (Benavides, 1992).

La persistencia en el tiempo de la estructura se logra si se mantiene una buena estabilidad de los agregados, fenómeno que está fuertemente relacionado con el contenido de materia orgánica del suelo y con la actividad de las raíces en éste. La materia orgánica recubre las partículas de suelo, formando films alrededor de éstas, lo que les da cierta protección frente a la acción del agua; además, a través de uniones órgano minerales, aumenta los puntos de contacto, permitiendo la estabilización de estas partículas en agregados de suelo



(Chaney y Swift, 1984). Por su parte, la presencia de sistemas radicales extendidos que forman entramados alrededor de agrupaciones de partículas, promueven la agregación a través de la exudación de compuestos orgánicos (Oades, 1993).

Las modificaciones más importantes de la estructura del suelo se refieren esencialmente a los cambios en la distribución de tamaño de poros (Ellies, 1995), por lo tanto, mediciones de esta propiedad pueden ayudar a cuantificar el impacto de las prácticas de manejo sobre el suelo. La cuantificación del espacio poroso en términos de forma, tamaño, continuidad, orientación y arreglo de poros en el suelo, permite definir la complejidad de la estructura del suelo y comprender sus modificaciones inducidas por el uso; de esta manera, se pueden identificar las prácticas de manejo que sean más compatibles con la protección del medio (Pagliai y Vignozzi, 2002).

La aplicación de enmiendas orgánicas a los suelos, ya sea en forma directa o a través de cultivos en cobertura, busca aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo. Las enmiendas orgánicas en suelos de textura fina, al presentar una alta porosidad, favorecen el comportamiento elástico del suelo, ayudando a estabilizar la estructura y a prevenir la compactación (Zhang *et al.*, 1997). Por su parte, las raíces, al ir formando poros nuevos, causan su expansión tanto en diámetro como en longitud, provocando un efecto mecánico que aglutina las partículas que forman las paredes del poro, lo que sumado a los materiales orgánicos generados en la rizósfera, dan lugar a un poro que tiene una estabilidad mucho mayor cuando la raíz muere (Kay, 1990).

Los cultivos en cobertura corresponden a rotaciones de cultivos con especies anuales en que, por medio de la sucesión de distintos sistemas radicales, se busca generar un cambio positivo en las condiciones físico-mecánicas del suelo (Acevedo y Silva, 2003). Los cultivos más usados en este tipo de práctica son los pertenecientes a la familia de las Fabáceas, Poáceas y Brasicáceas, cuya elección depende de las potencialidades y posibilidades de adaptación al medio productivo al que serán expuestas.

Las Poáceas, presentan una estructura vegetativa bastante uniforme, desarrollando un sistema radical fasciculado (Ellies y Hartge, 1999). Las raíces principales se concentran entre los primeros 20 a 30 cm (sobre todo en las especies de invierno), mientras que las secundarias o adventicias brotan, en muchos casos, de los nudos basales de los tallos, como ocurre en el maíz (Whyte *et al.*, 1959). Dentro de este grupo de plantas, existe variabilidad en su tolerancia a la salinidad, así por ejemplo el maíz (*Zea maíz*) se considera una especie medianamente tolerante, no viéndose afectado por niveles de CE iguales o inferiores a 6 dS m<sup>-1</sup> (Faiguenbaum, 2003). La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es el cereal que presenta mayor tolerancia a la salinidad, pudiendo tolerar relativamente bien hasta los 12 dS m<sup>-1</sup> de CE (León, 2010).

Las Fabáceas se caracterizan por poseer una raíz principal pivotante; específicamente en el haba se presenta muy vigorosa, pudiendo llegar a más de un metro de profundidad en suelos sin limitaciones. Otra cualidad notable de esta familia, es la capacidad de formar asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*, las cuales fijan N atmosférico,

aportando amonio que es directamente asimilado por la planta huésped (Sprent y Minchin, 1985). En particular, en haba (*Vicia faba* L.) se han observado niveles que sobrepasan los  $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de nitrógeno fijado atmosféricamente por estas bacterias (Mungoloy *et al.*, 1992); por otra parte, estas plantas forman una asociaciones con micorrizas, lo que permite aumentar la disponibilidad de fósforo y favorecer el desarrollo del sistema radical (Knott *et al.*, 1994).

Finalmente, las Brassicáceas poseen características intermedias entre las anteriores, presentando sistemas radicales pivotantes y relativa tolerancia a la salinidad. Como complemento, poseen propiedades fitosanitarias, al disminuir la incidencia de poblaciones de nematodos. En particular, el raps (*Brassica napus* L.) corresponde a una planta antagónica a los nematodos, puesto que produce ciertas sustancias denominadas glucosinolatos, que al hidrolizarse en el suelo dan origen a los isotiocianatos, que son sustancias nematicidas utilizadas para el control de *Xiphinema index* y probablemente de otros nemátodos fitoparásitos que afectan a la vid en Chile, disminuyendo con ello el uso de nematicidas órgano- sintéticos (Aballay e Insunza, 2002).

En la zona norte de Chile, las aplicaciones de enmiendas orgánicas se basan en el uso de estiércol de cabra, aplicando grandes dosis de materia orgánica no estabilizada, la cual es depositada en la sobrehilera de plantaciones frutales. Si bien estas aplicaciones generan cambios rápidos en algunas propiedades físicas del suelo, como lo son la resistencia mecánica y el movimiento de agua en el suelo, estos cambios generalmente no son permanentes y de no contemplar un manejo integrado, pueden generar problemas como aportes salinos y discontinuidades en el sistema poroso (Baginsky *et al.*, 2010).

La Región de Atacama, específicamente el Valle de Copiapó, posee condiciones climáticas muy favorables para el cultivo de la vid, permitiendo que la temporada de cosecha empiece antes que el resto del país (Lobato y Valenzuela, 2000), asegurando mejores retornos económicos a los productores. La ventaja de salir antes al mercado, se ha traducido en la utilización de suelos poco propicios para el cultivo de la vid, principalmente suelos de baja fertilidad natural y con restricciones de carácter físico. Dentro de este contexto 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”, el cual tuvo como finalidad incorporar técnicas destinadas a favorecer la acumulación de materia orgánica en el suelo, con el objetivo de favorecer un mejoramiento en la estructura y por ende remediar en parte los problemas generados por la compactación.

Como hipótesis se plantea que al establecer cultivos anuales en la hilera de plantación de vid en suelos con clases texturales finas, se generará un aumento de la macroporidad, dado por la exploración y desarrollo de los distintos sistemas radicales de los cultivos, favoreciendo con ello un mejor desarrollo de las raíces de la vid y un incremento de su productividad.

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de aplicaciones sucesivas de materia orgánica sobre la modificación de las propiedades físicas de un suelo de clase textural fina, en la Región de Atacama.

### **Objetivos Específicos**

- Comparar el efecto que tienen los cultivos de cobertura establecidos y las aplicaciones de enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo.
- Determinar el efecto remediador en la compactación del suelo llevado a cabo por enmiendas orgánicas y distintos cultivos anuales establecidos sobre la hilera de plantación de vid.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2007 al 2009 se establecieron ensayos de manejo de la materia orgánica del suelo en un cuartel de uva de mesa var. Flame Seedless en la localidad de Nantoco, Comuna de Tierra Amarilla, aproximadamente a 16 km al oriente de la ciudad de Copiapó; las evaluaciones llevadas a cabo en la presente investigación corresponden al último año de ensayo (2009). Los análisis de suelo se realizaron en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

El suelo pertenece a la Serie La Capilla, la cual según CIREN (2007) es miembro de la Familia Franca fina, mixta, calcárea, térmica de los Typic Haplocambids (Aridisol). Ocupa una posición de terraza aluvial remanente con una topografía suavemente inclinada, presentando un suelo muy estratificado, en el cual el perfil representativo ha sido descrito con un suelo enterrado.

El perfil es de texturas finas, siendo franco arcillo arenosa en superficie y con un substrato arenoso bajo los 120 cm de profundidad. Entre los 50 y 70 cm de profundidad presenta una estrata de arena gruesa que se repite en la mayoría de los perfiles. A pesar de esta discontinuidad, los suelos presentan buen drenaje. El horizonte Ap se presenta fuertemente salino y con reacción violenta al HCl en todo el perfil. El Anexo I presenta la descripción morfológica y características de la Serie según CIREN (2007).

### Tratamientos y diseño del experimento

Se establecieron cuatro tratamientos (Cuadro 1) los cuales estuvieron basados en el establecimiento de diferentes cultivos anuales bajo un sistema de rotación (T2, T4), así como la aplicación de estiércol en cobertera sobre la hilera de plantación de la vid (T3), la cual corresponde a una práctica habitual entre los productores en Copiapó, además de un tratamiento testigo (T1) en el que no se establecieron cultivos ni se realizaron aplicaciones de estiércol, manteniéndose desmalezado.

**Cuadro 1.** Tratamientos del ensayo.

Tratamiento	Año		
	2007	2008	2009
T1	Testigo	Testigo	Testigo
T2	Haba	Maíz	Raps
T3	Estiércol de cabra	Estiércol de cabra	Estiércol de cabra
T4	Maíz	Haba	Cebada

(Haba: variedad Aguadulce; Maíz: híbrido San Pablo; Raps: variedad L- 456; Cebada: variedad Aurora).

La unidad experimental correspondió a una parcela de 15 m de largo por 1 m de ancho, la cual abarcó cuatro plantas de vid con su respectiva platabanda; cada tratamiento constó de cinco repeticiones distribuidas en un diseño de bloques completos al azar. Considerando un efecto borde de las plantas extremas (1ª y 4ª), los muestreos se realizaron en las dos plantas centrales de cada unidad experimental o en el suelo entre éstas, según corresponda para variables de planta o suelo.

Cabe destacar que este ensayo consistió en la evaluación del efecto acumulado de la rotación y/o la utilización de estiércol a través del tiempo, por lo que el trabajo realizado en esta memoria fue el establecimiento del último año de los tratamientos y la evaluación de ellos, siendo la información previa recolectada en otras campañas de terreno.

Las especies anuales utilizadas (Cuadro 1) fueron establecidas mediante siembra manual año a año sobre el camellón de las plantas de vid. En el caso del haba se consideró una inoculación previa a la siembra con *Rhizobium leguminosarum* bv viciae, la distancia de siembra fue de 15 cm aproximadamente entre semillas, en 5 hileras distanciadas a 20 cm cada una. El maíz fue sembrado en 5 hileras distanciadas a 25 cm una de otra, con una distancia sobrehilera de 15 cm. La siembra de cebada y raps fue realizada a chorro continuo a una distancia de 15 cm entre hilera, con un total de 7 hileras para cada caso.

Se utilizó estiércol de cabra, con una dosis de 0,08 m<sup>3</sup> por batea, las cuales fueron construídas entre plantas de vid al inicio del ensayo, con dimensiones 2 m de largo por 50 cm de ancho y 30 cm de profundidad. Una vez aplicado, el estiércol fue cubierto con restos de poda de modo de recrear un ambiente más propicio para los microorganismos presentes en el estiércol.

### **Propiedades de suelo evaluadas**

Para asegurar la homogeneidad del terreno, inicialmente se realizó una caracterización morfológica del suelo mediante la descripción de tres calicatas distribuidas al azar. Para el muestreo de suelo una vez finalizado el ensayo, se construyeron calicatas de aproximadamente 70 cm de profundidad en cada unidad experimental, totalizando 20 calicatas. El muestreo de suelos se realizó en el mes de junio del año 2009 a tres profundidades (0-10; 10-30; 30-50 cm) según la distribución de horizontes genéticos. Adicionalmente, se realizó un último muestreo de suelos (0- 20 cm) para análisis de fertilidad en enero del 2010.

El muestreo de suelo para propiedades físicas consideró muestras disturbadas y no disturbadas. Mediante muestras tamizadas a 2 mm se determinó la densidad real (Dr) por el método del picnómetro (Blake y Hartge, 1986) y la textura por el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962). Como complemento, se realizó un análisis de fertilidad a una profundidad de 0 – 20 cm, evaluando macronutrientes totales (N, P y K) además de pH y MO de acuerdo a las metodologías detalladas por 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, con los cuales se extrajeron muestras inalteradas de suelo, las cuales fueron sometidas a 0,2; 3; 6; 30 y 100 kilo Pascales (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 1500 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 entre las dos plantas centrales de cada tratamiento 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.

Por otra parte, utilizando muestras estabilizadas a -30 kPa de tensión mátrica, se midió el flujo de aire con flujómetro según la metodología de Peth (2004), la cual fue esquematizada y explicada por Fariás (2009).

Para evaluar el posible efecto de la adición de MO sobre la hidrofobia del suelo, se midió la sortividad en agua y etanol según la metodología de Leeds-Harrison *et al.* (1994), con lo que se determinó el índice de repelencia al agua (R). Se utilizaron muestras de suelo inalteradas en cilindros de 6 cm de diámetro y 5 cm de altura, las cuales fueron equilibradas a -30 kPa en olla a presión. Se consideró un valor de R menor a 2 como un suelo hidrófilo, mientras que un  $R \geq 2$  corresponde a un suelo hidrófobo (Tillman *et al.*, 1989 citado por Hallett *et al.*, 2001).

### **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 mediciones a tres profundidades (5, 20 y 45 cm) con 3 repeticiones cada una, totalizando 18 mediciones por calicata. 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:

$$K_0 = (\sigma_{x,y} / \sigma_z)$$

Donde:

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

$\sigma_z$  : Resistencia a la penetración vertical

Valores de  $K_o > 1$  acusan un estado de compactación del suelo (Hartge y Bachmann, 2004).

### Condición de los agregados del suelo

Se evaluó la estabilidad de agregados mediante la resistencia de éstos al tamizaje en seco y húmedo (Hartge y Horn, 1992) de manera tal de evaluar la variación del diámetro al 80% de la fracción acumulada ( $VD_{80}$ ). Para esto se tamizaron aproximadamente 200 gr de suelo en un set de tamices de 19; 9,5; 6,68; 4,75; 3,32 y 2 mm a 60 hertz durante un minuto en seco y a 60 revoluciones por minuto durante 5 minutos de agitación en agua. Para obtener el diámetro del agregado interceptado al 80% de la fracción acumulada ( $D_{80}$ ) se determinó la masa de suelo seco de los agregados por tamiz (en seco y húmedo); de estos datos se obtuvieron las frecuencias acumuladas, las cuales se graficaron en función de los diámetros medios de los agregados de cada tamiz. El  $VD_{80}$  queda dado por:

$$VD_{80} = \frac{D_{80s} - D_{80h}}{D_{80s}}$$

Donde  $D_{80s}$  es el diámetro de la fracción acumulada del tamizaje en seco y  $D_{80h}$  es el diámetro de la fracción acumulada del tamizaje en agua.

Adicionalmente, y para complementar los resultados obtenidos a través de la interpretación de  $VD_{80}$ , se calculó la variación del diámetro medio ponderado de los agregados (VDMP) la cual está dada por:

$$VDMP = \sum f_{si} d_i - \sum f_{hi} d_i$$

$f_{si}$  = Frecuencia parcial en seco ( $g\ g^{-1}$ )

$f_{hi}$  = Frecuencia parcial en húmedo ( $g\ g^{-1}$ )

$d_i$  = Diámetro medio del rango (mm)

El valor más alto en cualquiera de los dos índices se interpreta como una dispersión de suelo, es decir, una menor estabilidad estructural.

### Contenido de agua, temperatura y conductividad eléctrica en el suelo

Estas mediciones se realizaron con sensor WET (versión 2.0, Inglaterra) en superficie (primeros 5 cm), con tres repeticiones por tratamiento, entre las 2 plantas centrales, 24 horas posterior a un riego, en el mes de septiembre del año 2009.

El sensor WET consiste en un instrumento de pequeño tamaño con tres puntas y un monitor, que permite mediciones rápidas que son el equivalente a una visión discreta del suelo en superficie. La lectura del sensor se obtiene luego de insertar las puntas en el suelo, obteniéndose una lectura a partir de una señal que se aplica a la barra central, provocando un pequeño campo electromagnético en el suelo, desde el cual estima el contenido de agua, la conductividad eléctrica y la temperatura en base a una calibración previa.

### **Muestreo de sales**

Finalmente en junio del 2009 se realizó un muestreo a dos profundidades (0-5 y 20-30 cm), obteniéndose una muestra compuesta por tratamiento, la cual fue analizada en laboratorio para conocer los contenidos de sales, específicamente CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ), B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), Cl ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y Na ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ). Siguiendo los protocolos indicados por Sadzawka *et al.*, (2004).

## **Propiedades de la vid evaluadas**

### **Productividad de la vid**

Con el objetivo de conocer el efecto de los tratamientos sobre la producción de vid, se evaluó el rendimiento de uva comercial ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), la masa de poda ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) y la materia seca de raíces ( $\text{g L}^{-1}$ ). Esta última se llevó a cabo a través de un muestreo de suelo utilizando un barreno de tarro de 6,6 cm de diámetro y 17 cm de altura. Las muestras de suelo fueron tomadas a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, a una distancia de 50 cm de una de las plantas centrales de la unidad experimental. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron extendidas y disgregadas en la cámara de secado, donde permanecieron aproximadamente dos semanas; lo anterior permitió un secado lento y la separación de las raíces desde el suelo. Posteriormente las raíces extraídas fueron separadas en finas y gruesas, correspondientes a tamaños menor y mayor a 2 mm, respectivamente. Una vez efectuada esta separación, las raíces fueron llevadas a estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante. Finalmente las raíces fueron pesadas y su valor fue expresado en gramos de materia seca por litro de suelo.

Para todas estas mediciones se consideraron las dos plantas centrales de vid de cada unidad experimental.



### **Análisis estadístico**

Para evaluar las variables medidas se utilizó el programa STATGRAPHICS, con el cual se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza de 95%, comparando las propiedades evaluadas entre tratamientos. En los casos en que se encontraron diferencias significativas, éstas fueron examinadas con el test de rango múltiple (LSD,  $\alpha \leq 0,05$ ). Además se realizaron correlaciones entre variables y la comparación de pendientes mediante una prueba t student en la velocidad de infiltración.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades generales

#### Fertilidad Completa

El Cuadro 2 muestra el análisis de fertilidad completa realizado en muestras de 0 - 20 cm colectadas en enero del 2010, es decir, al cabo de tres años de haber iniciado los tratamientos. En el Anexo II se presentaron valores referenciales para suelos.

**Cuadro 2.** Caracterización del sitio de ensayo al final del periodo de evaluación. Promedios ( $\pm$  desviación estandar)

Tratamiento	pH	MO (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Potasio ( $\text{cmol} + \text{kg}^{-1}$ )
T1	8,03 ( $\pm 0,12$ ) a	2,81 ( $\pm 0,43$ ) a	0,15 ( $\pm 0,03$ ) a	42,8 ( $\pm 25,71$ ) ab	2,01 ( $\pm 0,37$ ) ab
T2	8,20 ( $\pm 0,05$ ) a	2,07 ( $\pm 0,12$ ) a	0,10 ( $\pm 0,01$ ) a	12,6 ( $\pm 4,510$ ) a	1,48 ( $\pm 0,26$ ) a
T3	7,96 ( $\pm 0,14$ ) a	6,16 ( $\pm 2,30$ ) b	0,32 ( $\pm 0,12$ ) b	207 ( $\pm 159,8$ ) b	2,34 ( $\pm 0,30$ ) b
T4	8,00 ( $\pm 0,24$ ) a	2,62 ( $\pm 0,59$ ) a	0,13 ( $\pm 0,03$ ) a	42,2 ( $\pm 10,21$ ) ab	1,54 ( $\pm 0,33$ ) a

Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (comparación por columnas) ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Es posible apreciar que el suelo en el que fue realizado el estudio corresponde a un suelo moderadamente alcalino, con valores de pH superiores a 7 en todos los tratamientos. Esta condición se ve favorecida por la presencia de texturas finas y carbonatos de calcio en todo el perfil. La condición de suelo alcalino es una limitante para la agricultura, sin embargo, debe considerarse que es una condición que puede ser aminorada, por ejemplo, con aplicaciones de materia orgánica, que favorece un pH menor; este efecto se manifestó en el tratamiento T3 (estiércol), aunque al cabo de tres años no presentó diferencias significativas con los otros tratamientos.

En el caso de las mediciones de materia orgánica y macronutrientes, el tratamiento T3 presentó diferencias estadísticas significativas, especialmente en nitrógeno, superando notoriamente los valores obtenidos en los otros tratamientos, dadas las constantes aplicaciones de estiércol de cabra en superficie. Sierra y Rojas (2002) señalan que este tipo de enmienda, al ser un material no compostado, presenta altos valores en cuanto a materia orgánica y nitrógeno, sin embargo, también remarca que este material es más propenso a pérdidas por volatilización y que posee una importante carga salina.

La rotación de cultivos más extractiva de nutrientes fue la compuesta por haba, maíz y raps (T2), lo cual se evidenció al comparar los valores obtenidos con el testigo (T1), lo que en parte se debe a que la rotación incluye como cultivo final raps, el cual corresponde a una oleaginosa altamente extractiva de nutrientes (Ciampitti y García, s.a); no obstante es importante señalar que este tratamiento no presentó diferencias estadísticas significativas con T4 (maíz, haba, cebada).

De acuerdo con la tabla de referencia para análisis químicos de suelos presentada en el Anexo II, los niveles de Nitrógeno se encuentran en un rango medio para T1, T2 y T4, siendo alto en T3; en el caso del Fósforo, T1, T3 y T4 están en un rango muy alto mientras que T2 es medio; el contenido de Potasio es muy alto para todos los tratamientos. Estos valores dan cuenta que el suelo presenta un buen nivel de fertilización, por lo que los resultados de rendimiento de la vid dependerán principalmente de las propiedades físicas del suelo.

### Distribución del tamaño de partículas

El Cuadro 3 muestra la distribución de los separados texturales (arcilla, limo y arena) para los cuatro tratamientos.

**Cuadro 3.** Distribución del tamaño de partículas (%) en función de la profundidad.

	Tratamiento	Profundidad (cm)		
		0-10	10-30	30-50
Arcilla	T1	31,0	30,2	30,2
	T2	28,5	29,2	33,4
	T3	22,0	34,3	30,2
	T4	27,3	29,4	27,8
Limo	T1	27,2	24,4	24,6
	T2	28,7	24,7	25,4
	T3	23,3	28,1	24,3
	T4	26,0	34,0	29,5
Arena	T1	41,8	45,4	45,1
	T2	42,8	46,1	41,2
	T3	54,7	37,5	45,5
	T4	46,8	36,5	42,7

La distribución del tamaño de partículas da cuenta de la homogeneidad del sitio en que se establecieron los ensayos, ya que los contenidos de arcilla, limo y arena son similares en profundidad, validando con ello la comparación entre los tratamientos establecidos. Las clases texturales en todo el perfil varían entre franco arcillosa y franco arcillo arenosa (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Distribución de las clases texturales en el perfil de las muestras del Cuadro 3.

Tratamiento	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
T1	FA	FAa	FAa
T2	FA	FAa	FA
T3	FAa	FA	FAa
T4	FAa	FA	FA

FA: franco arcillosa; FAa: Franco arcillo arenosa

La caracterización realizada al sitio del experimento arrojó como resultado que el suelo es bastante homogéneo y, tal como se esperaba, de acuerdo a lo indicado por CIREN (2007), el suelo corresponde a la Serie la Capilla y presenta predominantemente texturas finas en todo el perfil.

### Densidad real

La densidad real ( $D_r$ ) es una propiedad que refleja las características de los minerales del suelo, encontrándose por lo general en valores cercanos a  $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ , característico del ensayo. Sin embargo, para suelos a los que se les ha aplicado altas dosis de enmiendas orgánicas se esperan valores menores, dada la menor  $D_r$  de la materia orgánica (Seguel *et al.*, 2003). El Cuadro 5 presenta los resultados obtenidos por los tratamientos.

**Cuadro 5.** Densidad real ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) de los tratamientos en función de la profundidad.

Tratamiento	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
T1	2,68	2,70	2,62
T2	2,68	2,71	2,72
T3	2,50	2,61	2,69
T4	2,58	2,67	2,71

Los valores obtenidos de densidad real ( $D_r$ ) se encuentran dentro del rango esperado para suelos minerales (Brady y Weil, 1999), siendo importante destacar el valor de T3, en el que se aprecia que hasta los 30 cm de profundidad se manifiesta el efecto de las dosis de estiércol de cabra. Los materiales orgánicos poseen valores de  $D_r$  entre  $1,2$  a  $2,0 \text{ Mg m}^{-3}$  (de Boodt, 1975), por lo que las dosis de aplicación de estiércol en el T3 produjo una disminución esperable de la  $D_r$ .

## Caracterización del sistema poroso.

### Densidad aparente

El Cuadro 6 presenta los valores promedio de densidad aparente ( $D_a$ ) para el perfil de suelo en los cuatro tratamientos.

**Cuadro 6.** Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) de los tratamientos en función de la profundidad. Promedios ( $\pm$  desviación estándar).

Tratamientos	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
<b>T1</b>	1,46 ( $\pm 0,06$ ) a	1,62 ( $\pm 0,08$ ) a	1,66 ( $\pm 0,14$ ) a
<b>T2</b>	1,44 ( $\pm 0,03$ ) a	1,50 ( $\pm 0,08$ ) ab	1,62 ( $\pm 0,06$ ) a
<b>T3</b>	1,02 ( $\pm 0,22$ ) b	1,47 ( $\pm 0,16$ ) b	1,61 ( $\pm 0,08$ ) a
<b>T4</b>	1,37 ( $\pm 0,16$ ) a	1,57 ( $\pm 0,05$ ) ab	1,65 ( $\pm 0,09$ ) a

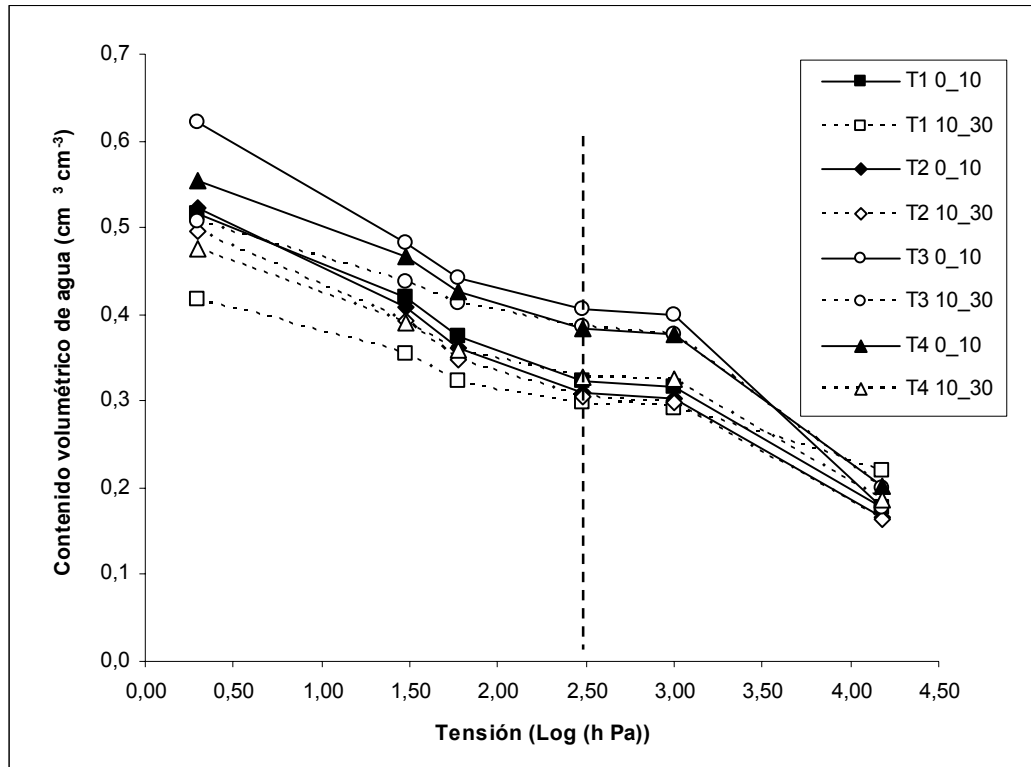
Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad ( $\alpha \leq 0,05$ ).

La densidad aparente ( $D_a$ ) es una de las propiedades más sensibles a las intervenciones antrópicas del suelo. Esta situación queda de manifiesto en el tratamiento T3, el cual da cuenta de cómo la  $D_a$  es significativamente menor hasta los 30 cm debido a las aplicaciones de estiércol; sin embargo, este efecto se va perdiendo dentro del perfil debido a que la enmienda no es incorporada al suelo, por lo que al aumentar la profundidad no se observaron diferencias estadísticas significativas con respecto a los otros tratamientos.

Si bien los tratamientos con cultivo (T2 y T4) no presentaron diferencias estadísticas con el testigo, mantienen valores menores, especialmente entre los 10-30 cm de profundidad, posiblemente por la porosidad generada por el desarrollo de raíces, que al crecer en grosor son capaces de desplazar partículas y generar porosidad gruesa (Kay, 1990).

### Curva característica

La retención de agua del suelo puede ser representada en forma gráfica a través de la curva característica, la cual relaciona el contenido volumétrico de agua a tensiones crecientes. A modo de ejemplo, la Figura 1 presenta las mediciones de los primeros tramos de muestreo (0 – 10 y 10 – 30 cm), por ser los más propensos a cambios estructurales.



**Figura 1** Curva característica de retención de agua de los tratamientos, a dos profundidades (0-10 y 10-30 cm). La línea punteada vertical muestra el valor de capacidad de campo ( $pF\ 2,5 \approx 33\ kPa$ ).

A bajas tensiones mátricas, los mayores contenidos de agua en superficie los presenta el T3, demostrando su gran capacidad para almacenar agua dada la alta cantidad de materia orgánica que presenta. El tratamiento T4 (0-10 cm) también presenta un buen comportamiento, dado por una rotación predominante de gramíneas con raíces más densas en los primeros centímetros (Ellies y Hartge, 1999), que resulta en una mayor eficiencia en la generación e incorporación de materia orgánica.

A medida que el suelo se desatura, los poros gruesos se llenan con aire, por lo que el primer tramo de la recta hasta capacidad de campo ( $-33\ kPa$ ) es un indicador de la porosidad gruesa, destacando la alta porosidad (alta pendiente) del T2 (rotación haba-maíz-raps) y el T3 entre 0-10 cm (Figura 1). También en el tramo de los poros gruesos ( $pF < 2,5$ ), la menor retención de agua la presenta T1 entre 10 y 30 cm, donde un bajo contenido de materia orgánica se relaciona con un deterioro de la estructura por compactación, resultando en una menor porosidad gruesa generada por problemas de compactación (Lipiec, 2004).

Para el caso particular de T1 (0-10 cm) la capacidad de retener agua a bajas tensiones se encuentra asociada a las labores de escarificación mecánica que se realiza en forma

habitual como mantención del camellón, ya que el laboreo implica soltar los primeros centímetros de suelo, generando porosidad gruesa.

A altas tensiones, la retención de agua se debe principalmente a fenómenos de adsorción, que depende de propiedades como la textura del suelo y el área superficial de las partículas, siendo menos influenciada por la estructura (Yoon *et al.*, 2007); es por eso que en el punto de marchitez permanente (pF 4,2) los tratamientos tienden a ser similares, desapareciendo el efecto estructural generado por las raíces y el estiércol a bajas tensiones.

### Distribución de poros por tamaño

Para la tipificación de poros por tamaño se utilizó la clasificación de Ellies (1995) de la cual se desprende el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Distribución de tamaño de poros (%) para los tratamientos en función de la profundidad. Promedios ( $\pm$  desviación estandar).

Tamaño poro ( $\mu\text{m}$ )	Tratamiento	Profundidad (cm)		
		0-10	10-30	30-50
PDR ( $>50 \mu\text{m}$ )	T1	14,1 ( $\pm 0,02$ ) ab	9,3 ( $\pm 0,02$ ) a	7,8 ( $\pm 0,02$ ) ab
	T2	16,1 ( $\pm 0,02$ ) ab	14,9 ( $\pm 0,03$ ) b	10,1 ( $\pm 0,01$ ) a
	T3	18,0 ( $\pm 0,06$ ) a	9,5 ( $\pm 0,04$ ) a	7,5 ( $\pm 0,02$ ) b
	T4	12,8 ( $\pm 0,01$ ) b	11,7 ( $\pm 0,01$ ) ab	8,5 ( $\pm 0,03$ ) ab
PDL (50 - 10 $\mu\text{m}$ )	T1	5,1 ( $\pm 0,01$ ) a	2,4 ( $\pm 0,01$ ) a	3,1 ( $\pm 0,01$ ) a
	T2	5,3 ( $\pm 0,01$ ) a	4,3 ( $\pm 0,01$ ) b	3,1 ( $\pm 0,01$ ) a
	T3	3,5 ( $\pm 0,01$ ) b	2,7 ( $\pm 0,01$ ) a	2,2 ( $\pm 0,02$ ) a
	T4	4,3 ( $\pm 0,01$ ) ab	3,2 ( $\pm 0,01$ ) a	3,4 ( $\pm 0,01$ ) a
PAU (10 - 0,2 $\mu\text{m}$ )	T1	14,5 ( $\pm 0,02$ ) a	11,0 ( $\pm 0,03$ ) a	13,5 ( $\pm 0,02$ ) a
	T2	14,2 ( $\pm 0,01$ ) a	14,0 ( $\pm 0,02$ ) b	15,3 ( $\pm 0,01$ ) ab
	T3	23,1 ( $\pm 0,05$ ) b	18,6 ( $\pm 0,02$ ) c	16,8 ( $\pm 0,02$ ) b
	T4	18,3 ( $\pm 0,06$ ) ab	14,3 ( $\pm 0,01$ ) b	13,2 ( $\pm 0,02$ ) a

Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a una misma profundidad y para un mismo tamaño de poro ( $\alpha \leq 0,05$ ).

PDR: Poros de drenaje rápido; PDL: Poros de drenaje lento; PAU: Poros de agua utilizable.

La capacidad de un suelo de transportar fluidos como agua y aire depende de la proporción y funcionalidad de poros que éste posea, para lo cual una adecuada proporción de todos los tamaños es primordial. A modo de ejemplo, cuando se habla de poros gruesos ( $>50 \mu\text{m}$ ) la literatura señala un mínimo de 12 % como un valor referencial para un adecuado desarrollo de cultivos (INIA-ODEPA, 2000).

Todos los tratamientos en superficie presentaron valores de PDR ( $>50 \mu\text{m}$ ) mayores al 12%. De acuerdo a Pagliai y Vignozzi (2002) el porcentaje de poros gruesos ( $>50 \mu\text{m}$ ) darían cuenta de un suelo muy poroso en todos los tratamientos de 0-10 cm; sin embargo este porcentaje cae de forma brusca en T1 y T3 al pasar al segundo horizonte; esto se debe a las labores de mullimiento mecánico y armado del camellón en el T1, lo cual no es transmitido en profundidad, mientras que para T3 existe un aumento superficial de la porosidad gruesa dado por las adiciones de estiércol, manteniendo las condiciones del suelo original al no existir una incorporación a mayor profundidad. En ambos casos (T1 y T3) se genera una discontinuidad del sistema poroso.

Las rotaciones de cultivos, gracias a los diferentes sistemas radicales, generaron una porosidad gruesa más uniforme en el perfil; es el caso de T2, que hasta los 30 cm de profundidad aún mantiene valores de PDR por sobre 12%. Este resultado podría deberse a que esta rotación de cultivos incluye especies con sistemas de raíces pivotantes (Faiguenbaum, 2003), permitiendo alcanzar una mayor profundidad de exploración y por ende una mayor capacidad de generar un sistema de poros gruesos cuando la raíz se descompone.

Los poros de drenaje lento no presentaron mayores diferencias entre tratamientos, salvo una mayor proporción de ellos en el T2 entre 10 y 30 cm de profundidad y una menor proporción en T3 entre 0 y 10 cm. En este último caso, la naturaleza orgánica del estiércol favorece una mayor retención de agua, generando diferencias significativas de los poros de agua útil (PAU) con el resto de los tratamientos. Las rotaciones, por su parte, están generando una mayor capacidad de retener agua (poros de agua útil, PAU) respecto al testigo, dada la generación de nueva porosidad y al aporte de materia orgánica a consecuencia de la descomposición del sistema radical (Sandoval, 2010). Como era esperable, destaca el tratamiento con aplicación de estiércol (T3), que manifiesta efectos hasta los 50 cm de profundidad.

## **Funcionalidad del sistema poroso**

### **Velocidad de Infiltración**

La velocidad de infiltración (VI) es usualmente obtenida a partir de curvas que relacionan la infiltración acumulada versus el tiempo (Apéndice I). Para evaluar el efecto de los distintos tratamientos, se usó una prueba de t student, en la que se compararon las pendientes en el rango de velocidad de infiltración estabilizada (Cuadro 8).



**Cuadro 8.** Resultado de prueba de comparación de pendientes estabilizadas.

Tratamiento	VI estabilizada (cm h <sup>-1</sup> )
T1	16,72 a
T2	15,94 a
T3	44,97 b
T4	18,21 a

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

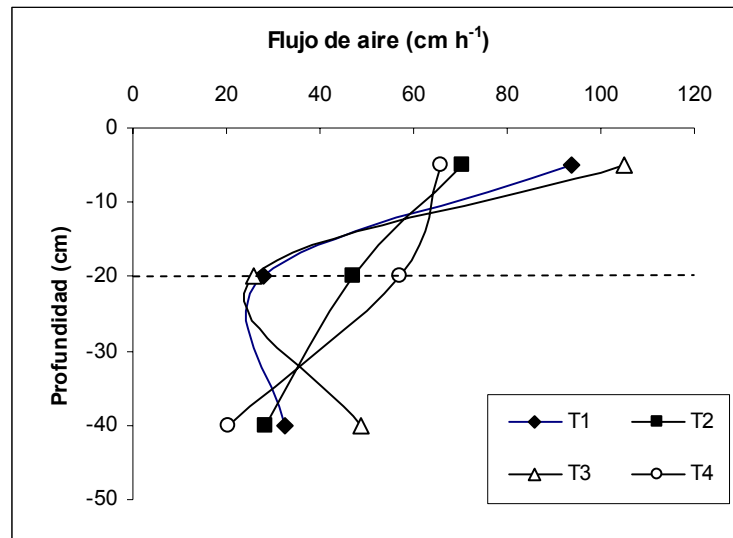
La VI es una propiedad que se asocia a la textura y a la estructura de un suelo, siendo ésta última altamente dependiente de los contenidos de materia orgánica, dado que, niveles adecuados de MO en el suelo promueven la formación de macroporos y, consecuentemente, mejoran la tasa de infiltración (Brady y Weil, 2000). Como en el flujo de agua en condiciones saturadas participa todo el sistema poroso, la mayor porosidad total y en particular, la gruesa del tratamiento con estiércol (T3), favoreció una VI estabilizada significativamente mayor en relación a los otros tratamientos, resultado que concuerda con otros estudios (Seguel *et al.*, 2003; Pfeiffer *et al.*, 2008).

El T3 absorbe las cargas de agua iniciales de forma más veloz, promoviendo una estabilización de la infiltración en forma más lenta, dando como resultado una pendiente de la curva de infiltración acumulada (Apéndice I) más pronunciada. Todo esto corresponde a un fenómeno de sorción (hasta la estabilización de la curva) luego de lo cual se habla de infiltración, donde T3 mantiene una alta pendiente. Esta mayor tasa de infiltración es producto de la mayor estabilidad de los macroporos, lo que se puede apreciar en el Cuadro 7, en que sobresale la mayor proporción de macroporos en superficie.

Según la clasificación propuesta por Casanova *et al.*, (2008) los valores obtenidos para la VI son considerados como de clase rápida en los tratamientos T1, T2 y T4, mientras que T3 corresponde a una VI muy rápida. Esta clasificación da cuenta cómo a pesar de ser un suelo de texturas finas con problemas de compactación, los ciclos de humedecimiento y secado han estabilizado la estructura, permitiendo una buena infiltración.

### Flujo de aire

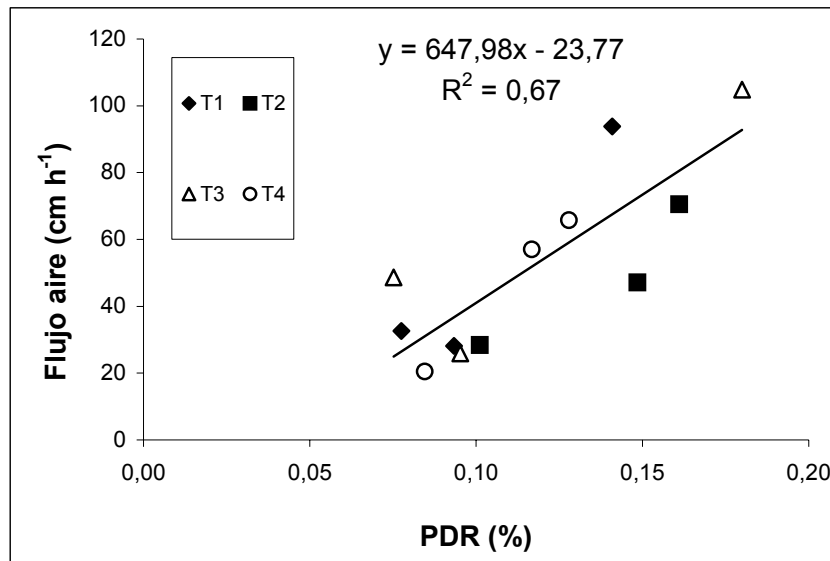
La Figura 2 muestra los resultados de flujo de aire obtenidos a partir de muestras de suelo no alteradas y equilibradas a -33 kPa en olla de presión.



**Figura 2.** Flujo de aire en función de la profundidad. La línea segmentada marca el cambio de tendencia de T1 y T3 a los 20 cm de profundidad.

La Figura 2 muestra cómo los tratamientos T1 y T3 son los que presentan el mayor flujo de aire en superficie; sin embargo, se genera una discontinuidad a los 20 cm de profundidad debido a la presencia de un pie de arado. Tal como se comentó para la distribución de poros, la escarificación mecánica del testigo (labores superficiales de preparación de suelo) y la aplicación de estiércol de cabra en superficie del T3, si bien aumentan la porosidad gruesa y la capacidad de flujo de aire, presentan un efecto sólo superficial, denotando la discontinuidad del sistema poroso a los 20 cm.

Los tratamientos T2 y T4 presentaron un flujo de aire más continuo dentro del perfil, ya que las rotaciones de cultivos, que incluyeron especies con distintos sistemas radicales, al explorar el suelo generan una porosidad más estable y funcional a través del tiempo. Este fenómeno también puede ser apreciado bajo condiciones de suelo distintas; así en el estudio llevado a cabo por Sandoval (2010), en un suelo de clase textural franco arenosa, también se manifestaron flujos de aire más continuos en el perfil al ser sometidos a cultivos en cobertura. A pesar de las diferencias gráficas, dada la alta variabilidad de esta propiedad, no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Apéndice II). Sin embargo, existe una alta correlación entre la capacidad de flujo de aire y los poros de drenaje rápido (Figura 3).



**Figura 3.** Correlación entre poros de drenaje rápido (PDR,  $>50 \mu\text{m}$ ) y flujo de aire ( $\text{cm h}^{-1}$ ).

Las muestras para flujo de aire fueron evaluadas a una tensión mátrica de  $-33 \text{ kPa}$ , lo que permite tener con aire los poros mayores a  $50 \mu\text{m}$  (PDR), por lo que es esperable una alta correlación (Stepniewski *et al.*, 1994), lo cual en este caso fue significativo al 99 % ( $R = 0,82$ ). Es decir, los poros que se están generando tienen la suficiente continuidad para asegurar la funcionalidad del suelo en la renovación del aire de éste (Pagliai y Vignozzi, 2002).

### Repelencia al agua

El exceso de materia orgánica podría provocar una repelencia al agua, lo que generaría problemas de infiltración y distribución irregular del agua de riego (Ellies *et al.*, 1996). Esto ocurre porque los grupos orgánicos apolares cubren las partículas minerales, generando una menor adhesión del agua hacia los sólidos (Bachmann y van der Ploeg, 2002). Así, aplicaciones sucesivas de MO en altas dosis podrían provocar efectos negativos en el suelo. El Cuadro 9 muestra los valores del índice de repelencia (R) promedio obtenidos a partir de mediciones de sortividad en agua y etanol en muestras equilibradas a  $-33 \text{ kPa}$  en olla de presión.

**Cuadro 9.** Repelencia al agua de los tratamientos expresada en términos de R. Valores de  $R \geq 2$  denotan repelencia al agua. Promedios ( $\pm$  desviación estándar).

Tratamiento	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
T1	1,91 ( $\pm 0,4$ )	3,99 ( $\pm 2,6$ )	3,22 ( $\pm 1,4$ )
T2	3,32 ( $\pm 1,9$ )	2,87 ( $\pm 0,8$ )	3,22 ( $\pm 0,6$ )
T3	3,03 ( $\pm 1,8$ )	3,84 ( $\pm 2,4$ )	2,69 ( $\pm 0,9$ )
T4	2,64 ( $\pm 1,3$ )	2,76 ( $\pm 0,6$ )	3,56 ( $\pm 2,0$ )

No se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha \leq 0,05$ )

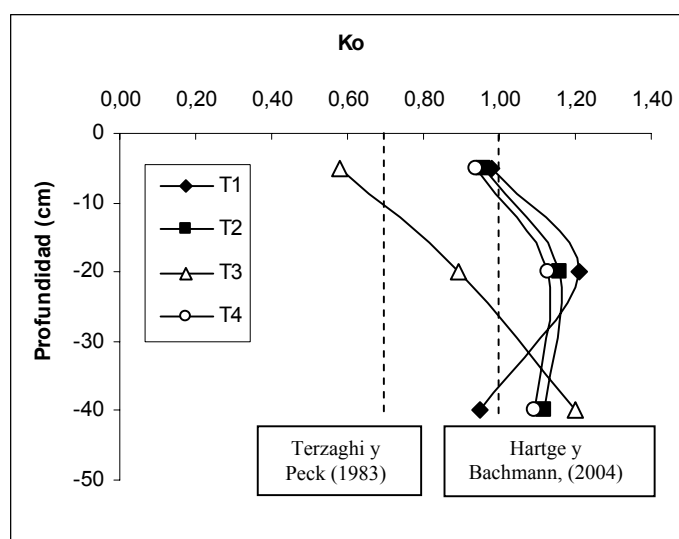
Los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos, no obstante T1 de 0 a 10 cm se observó un comportamiento hidrófilo (Hallett *et al.*, 2001), esto es, un valor de R menor a 2, lo que le confiere al suelo una baja capacidad para soportar cargas de agua, ya que las moléculas bipolares del agua entran al agregado en forma violenta, disgregándolo con facilidad (Chenu *et al.*, 2000). Este fenómeno podría no ser tan crítico, ya que el tratamiento T1 (0-10 cm) se encuentra afecto a constantes ciclos de humedecimiento y secado, los cuales le otorgan mayor estabilidad (Baldock y Nelson, 2000); además, el T1 presenta un contenido de materia orgánica de 2,81% y un contenido de arcilla del 31% (Cuadros 2 y 3), factores que resultan preponderantes en la estabilidad de un suelo.

El resto de los tratamientos y profundidades, R se concentra en un rango de 2 a 4, valores que son considerados como una repelencia subcrítica, favoreciendo el humedecimiento lento del suelo (Hallett *et al.*, 2001) lo que es deseable para asegurar una buena estabilidad de agregados. Una hidrofobia dentro de estos márgenes resulta provechosa, ya que promueve agregados estables al agua, que no forman costras cuando están al descubierto, reduciéndose con ello la erosión al no dispersarse las partículas (Ellies *et al.*, 1995). Valores mayores a 4 generan una repelencia al agua excesiva, que favorece el escurrimiento superficial en sectores con pendiente o microrelieve (camellones) o una mala distribución del agua de riego dentro del perfil de suelo, aspecto que no ocurrió en el presente ensayo.

### Resistencia mecánica del suelo

#### Coefficiente de descanso (Ko)

La Figura 4 muestra los resultados obtenidos a partir de la razón entre la tensión horizontal y la tensión vertical en un mismo punto del perfil, denominado Coeficiente de descanso (Ko).



**Figura 4.** Coeficiente de descanso ( $K_o = \text{Resistencia horizontal} / \text{Resistencia vertical}$ ) en función de la profundidad. Las líneas segmentadas señalan valores umbrales para el buen desarrollo radical, según Hartge y Bachmann (2004) y Terzaghi y Peck (1983).

La resistencia mecánica de un suelo no debe ser vista como una propiedad particular del material, sino como la suma de los efectos de diferentes características y propiedades, tales como densidad aparente, contenido de agua, resistencia a la penetración y al corte, las cuales, a su vez, son consecuencia de la distribución del tamaño de partículas, la estructura y la composición mineral y orgánica presentes en el suelo (Nacci y Pla Sentis, 1992).

Al considerar como criterio un  $K_o < 1$  (Hartge y Bachmann, 2004), sólo en superficie y por un pequeño margen no se manifiestan fenómenos de compactación. A 20 cm de profundidad se generó un incremento del  $K_o$  en los tratamientos T1, T2 y T4, lo que denota una zona de alta resistencia mecánica, siendo por consiguiente un problema en la productividad de éste; en profundidad se mantienen valores altos de  $K_o$ , aunque más bien corresponderían a características del material parental más que a una zona compactada. Aún así los tratamientos con rotación de cultivos (T2 y T4) comienzan a ejercer un efecto remedidor, aunque esta tendencia se pierde a mayores profundidades (Apéndice III). Terzaghi y Peck (1983) plantean un valor crítico de  $K_o > 0,7$  para suelos compactados, en cuyo caso la condición de los tratamientos sería aún más restrictiva para el enraizamiento de los cultivos; sin embargo, la condición estructural observada en terreno y la alta porosidad gruesa aseguran un buen potencial de enraizamiento, siendo la resistencia mecánica una condición inherente del suelo, dado su alto contenido de arcilla.

El tratamiento T3 presenta diferencias significativas con los otros tratamientos hasta los 30 cm de profundidad (Apéndice III), esto dado a que las aplicaciones orgánicas generan una baja  $D_a$ , con un valor promedio de  $1,02 \text{ Mg m}^{-3}$ , muy por debajo de los valores encontrados en los otros tratamientos (Cuadro 6). Estas aplicaciones entonces logran descomprimir y

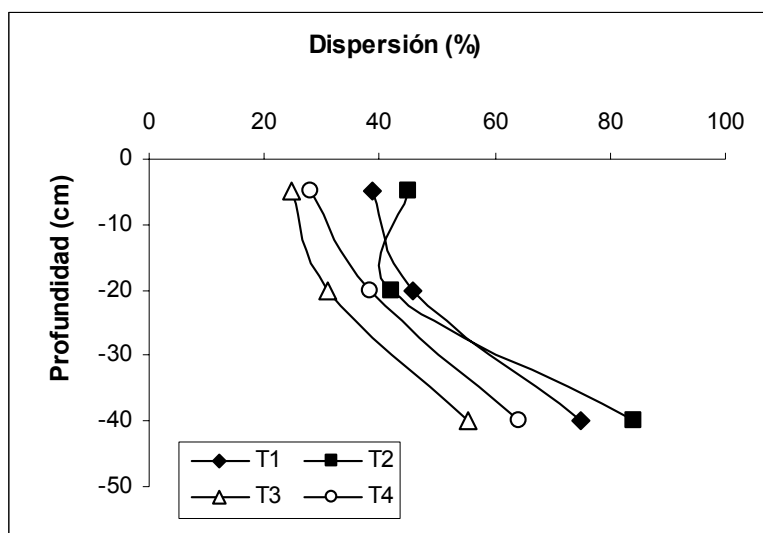
airear los primeros 30 cm de suelo, efecto que al no transmitirse en profundidad trae asociado un aumento de la tortuosidad del sistema poroso y que se manifestó en el aumento constante del  $K_o$  hasta los 40 cm de profundidad.

Los valores de  $K_o$ , tal como ya fue expuesto anteriormente, se encuentran fuertemente influenciados por la  $D_a$ , alcanzando ambos parámetros una alta correlación ( $R = 0,84$ ) significativo al 99%. Esta correlación se explica dado que los aumentos en la  $D_a$  corresponden al desplazamiento de las partículas de suelo, las cuales al aumentar los puntos de contacto entre ellas generan una disminución del volumen de poros y un mayor encaje entre las partículas, aumentando la resistencia horizontal; como la resistencia vertical se mantiene más o menos constante (ya que depende exclusivamente del peso sobreyacente sobre la partícula) el resultado es un aumento de  $K_o$  (Horn, 1994).

### Condición de los agregados en el suelo

#### Estabilidad de los agregados al agua

La Figura 5 muestra la dispersión de los agregados del suelo sometidos a tamizaje en seco y húmedo, considerando el diámetro del agregado interceptado al 80% de la fracción acumulada (VD80). Como los valores corresponden a una medida de dispersión, el menor valor denota la mayor estabilidad.



**Figura 5.** Dispersión de los agregados (VD 80%) determinado a partir de un tamizaje en seco y en húmedo.

La dispersión y posterior destrucción de los agregados del suelo por efecto del agua, se deben 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 por deshidratación parcial, es decir, por la tensión superficial que ejercen los meniscos de agua (Ellies *et al.*, 1995). El posterior hinchamiento y desestabilización se reduce cuando la unión entre las partículas está dada por cementantes de orden físico o químico (Ellies y Hargte, 1994; citado por Ellies *et al.*, 1995). En la presente prueba de estabilidad, el agregado seco es saturado en forma violenta, por lo que la entrada del agua genera presión en los poros con aire, desestabilizando las uniones; de esta forma, a menor valor del VD80 mayor la estabilidad estructural.

En todo el perfil, la mayor estabilidad la presentan los tratamientos T3 y T4, 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 (T3) o de manera más indirecta mediante una rotación de cultivos, principalmente gramíneas (T4). En ésta última, predominan raíces fasciculadas lo que aumenta la posibilidad del aporte de exsudados a todo el volumen del suelo, en comparación a T2, en que predominan las raíces pivotantes. El menor porcentaje de dispersión se encuentra dado porque la materia orgánica contribuye a la estabilidad de los agregados, debido a que forma una estructura reticular alrededor de los componentes inorgánicos, como también genera la unión de los componentes inorgánicos a través de grupos  $-\text{COOH}^-$ ,  $-\text{CO}^-$  y  $\text{OH}^-$ . Este efecto agregante se acentúa con la polaridad de estas uniones, concluyendo en un resultado más duradero (Baldock y Nelson, 2000).

En el caso del testigo, es importante señalar que la estabilidad manifestada en superficie (0 -10 cm) se encuentra asociada a los ciclos de humedecimiento y secado, lo que sumado al hecho que el T1 permanece desmalezado, aumentan la evaporación y generan un mayor reordenamiento de partículas y por lo tanto agregados más estables que el T2.

Entre los 10 - 30 cm, los aportes de materia orgánica son menores y la intensidad de los ciclos de humedecimiento y secado también han disminuido, generando con ello que los tratamientos muestren un comportamiento similar y sin diferencias estadísticas significativas (Apéndice IV). Resulta llamativo que el T2 presente una mayor estabilidad a esta profundidad que en superficie, lo que refleja la importancia de la elección de los cultivos, ya que T2 (haba- maíz- raps) incorpora en la rotación una Brassicácea, que posee una raíz pivotante profundizadora (Faiguenbaum, 2003) que genera el efecto de secado en forma subsuperficial.

En profundidad (30 - 50 cm), los cuatro tratamientos presentan valores de dispersión sobre el 50%, mostrando con ello que la eficacia de los tratamientos implementados es de carácter superficial y que bajo los 30 cm se mantiene la condición natural del suelo, con una estructura débil por la poca evolución pedológica y la menor actividad biológica (Horn y Lebert, 1994; Farías, 2009).

Al realizar el análisis de varianza para los valores obtenidos de VD80 no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Apéndice IV), esto dado a que este método no resulta ser muy exacto, ya que no se basa en la integración de las curvas de fracción acumulada sino en una fracción específica. Sin embargo, al realizar el análisis estadístico con los datos obtenidos de la variación del diámetro medio ponderado de los agregados (VDMP) sí se obtuvieron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 10) ya que este método estima el área total entre las dos curvas, obteniendo un resultado más certero.

**Cuadro 10.** Variación del diámetro medio ponderado de los agregados (VDMP, mm). Promedios ( $\pm$  desviación estándar). El menor valor denota mayor estabilidad.

Tratamiento	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
T1	6,9 ( $\pm$ 1,50) ab	9,3 ( $\pm$ 1,86) a	8,5 ( $\pm$ 1,75) a
T2	7,3 ( $\pm$ 2,21) a	9,3 ( $\pm$ 1,48) a	9,4 ( $\pm$ 2,07) a
T3	4,9 ( $\pm$ 0,86) b	7,9 ( $\pm$ 1,44) a	10,6 ( $\pm$ 1,31) a
T4	6,6 ( $\pm$ 0,97) ab	9,2 ( $\pm$ 0,87) a	8,7 ( $\pm$ 1,35) a

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

De los resultados obtenidos para VDMP, destaca el efecto superficial de las aplicaciones de estiércol. El tratamiento T2, que posee una alta proporción de poros gruesos en todo el perfil (Cuadro 7) no manifestó una alta velocidad de infiltración (Cuadro 8) debido a que posee agregados poco estables (Cuadro 10), de manera tal que al humedecerse se dispersan, sellando los poros y haciendo perder funcionalidad al suelo. En este sentido, rotaciones que incluyan Brassicáceas no serían tan efectivas en el mejoramiento de las propiedades físicas de éste suelo.

### Contenido de agua, temperatura y conductividad eléctrica en el suelo

El Cuadro 11 presenta los resultados de propiedades de suelo evaluadas en superficie (0 – 5 cm) con el sensor WET, durante el mes de septiembre del 2009, sin la presencia de cultivos.



**Cuadro 11.** Medición de contenido de agua (%bv, cm<sup>3</sup> de agua cm<sup>-3</sup> de suelo), temperatura (°C) y conductividad eléctrica (dS m<sup>-1</sup>) en el suelo, mediciones superficiales (primeros 5 cm). Promedios (± desviación estándar).

Tratamiento	Variables evaluadas		
	Agua (%bv)	T (°C)	CE (dS m <sup>-1</sup> )
T1	19,0 (±5,9) a	24,6 (±1,9) a	2,8 (±0,8) a
T2	23,4 (±6,2) b	23,7 (±1,1) a	2,9 (±0,9) a
T3	37,9 (±6,7) c	21,3 (±1,3) a	3,2 (±1,0) b
T4	20,1 (±4,0) ab	24,2 (±1,6) a	3,0 (±1,0) a

Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ )

Las mediciones con el sensor WET representan un acercamiento a lo que es la condición del momento en el suelo, por lo tanto el análisis de los datos entregados debe entenderse desde este punto de vista, considerando que éstos variarán según el momento y las condiciones puntuales en que sean medidos. En este caso la evaluación fue realizada 24 horas después del riego, con el objeto de tener el suelo cercano a capacidad de campo.

A partir de los datos obtenidos con el WET, se pudieron observar comportamientos distintos entre tratamientos. El T3 presentó el mayor porcentaje de agua, dado que las enmiendas orgánicas poseen una alta capacidad de humectación y retención, no así el testigo (T1), el que al corresponder a un suelo desnudo se comporta de forma inversa, con fuertes pérdidas de agua por evaporación superficial. Los cultivos, con sus raíces que se descomponen anualmente, renovando el sistema poroso y realizando aportes de materia orgánica, comienzan a tener un efecto sobre la retención de agua.

En cuanto a la temperatura del suelo, ésta no manifestó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, sin embargo, mientras mayor es el porcentaje de agua en el suelo, la temperatura de éste disminuye, alcanzando el tratamiento T3 hasta 3°C menos que el T1. Este dato resulta relevante cuando se considera que las aplicaciones de estiércol de cabra (T3) corresponden a una práctica habitual entre los productores, que en busca de mejoras en el suelo y de obtener una mayor retención de agua, descuidan un factor importante, como lo es la temperatura del suelo, la cual debiese estar alrededor de los 30°C (Ibacache y Lobato, 1995). El déficit de calor acumulado en el tiempo se traducirá en retrasos en la maduración y la cosecha (Barticevic y Lobato, 2000), lo que en esta zona de producción afectará fuertemente el precio y los retornos al productor. Por su parte, los tratamientos con rotación de cultivos no presentaron una diferencia significativa con respecto al testigo, encontrándose dentro de los márgenes de temperatura señalados como adecuados (Ibacache y Lobato, 1995), convirtiéndose en una alternativa a las aplicaciones de estiércol.

Respecto a la conductividad eléctrica, el tratamiento T3 se desmarca del resto de los tratamientos, manifestando la alta carga salina que posee este material, aunque en niveles que no afectaría en forma importante el rendimiento de la vid (Oster, 1995).

### Muestreo de sales

Como complemento a las propiedades físicas de suelo, en junio de 2009 se realizó un muestreo de suelos para evaluar parámetros relacionados con la salinidad, resultados que se presentan en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Medición de conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ), Boro ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), Cloro ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y Sodio ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) en el suelo. Mediciones a dos profundidades (0-5 y 20 -30 cm)

Tratamiento	Profundidad (cm)	Sales			
		CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cl ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )
T1	0-5	11,52	1,64	<b>1655</b>	0,15
	20-30	0,96	0,28	23	0,71
T2	0-5	4,42	1,57	261	<b>2,41</b>
	20-30	1,17	0,34	76	0,71
T3	0-5	6,64	1,56	<b>920</b>	<b>3,93</b>
	20-30	0,95	0,32	34	0,64
T4	0-5	0,89	0,28	16	0,71
	20-30	2,86	1,15	55	<b>1,09</b>

Valores destacados indican parámetros tóxicos para el desarrollo de cultivos.

El testigo mostró en superficie una alta carga salina, con contenidos de  $\text{Cl}^-$  tóxicos para los cultivos (Havlin *et al.*, 1999) y una CE considerada como fuertemente salino; este fenómeno se explica porque al ser un suelo expuesto (sin cobertura vegetal) se produce un movimiento de ascenso capilar desde las capas inferiores del perfil hasta la superficie del suelo, en que el agua se evapora y las sales precipitan, acumulándose paulatinamente.

Un factor importante en la salinización o sodificación del suelo en áreas de cultivo bajo riego, lo constituye la calidad del agua de riego. Cuando ésta tiene altas concentraciones de iones salinos en solución; comienzan a acumularse en la superficie del suelo después de cada riego (Richards, 1972). En el caso del Valle de Copiapó, los niveles de salinidad del agua alcanzan valores de CE de  $1,07 \text{ dS m}^{-1}$  para aguas superficiales del río Copiapó y  $1,92 \text{ dS m}^{-1}$  para aguas de pozos profundos en la zona de Nantoco (Sierra *et al.*, 2001) por lo que el incremento en los primeros centímetros de suelo obedece netamente a un fenómeno de evaporación.

Al observar los valores de T1 con respecto a los tratamientos que incluyen rotaciones de cultivos (T2 y T4) se aprecia cómo los cultivos son extrayentes de sales (Covarrubias *et al.*, 2008). La capacidad de los cultivos de establecerse y extraer estas sales resulta sumamente provechosa en zonas productivas en que el contenido de sales se presenta como un problema en los suelos y en el agua utilizada en el riego.

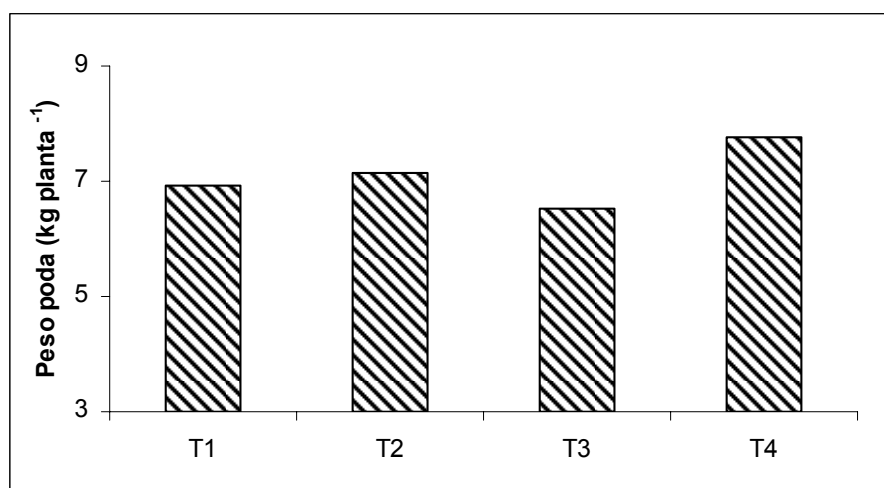
A su vez el tratamiento con estiércol de cabra (T3) presentó altos valores de CE, con rangos tóxicos de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  (Havlin *et al.*, 1999); la composición de este material orgánico

no estabilizado utilizado como enmienda en el valle alcanza niveles de CE de hasta 40 dS m<sup>-1</sup> (Baginsky *et al.*, 2010), como consecuencia de la alta concentración de cationes solubles.

## Propiedades de la vid evaluadas

### Productividad de la vid

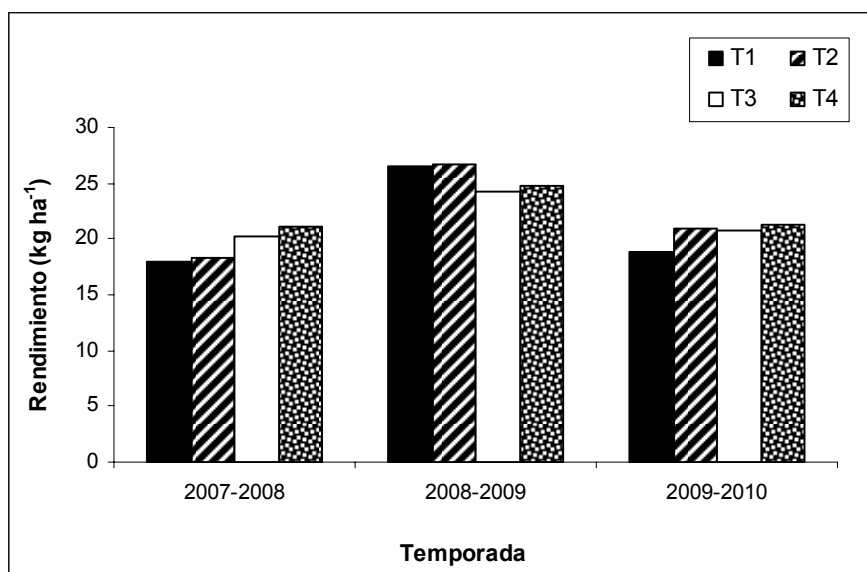
Las evaluaciones en la planta de vid correspondieron a la masa de poda, producción de uva comercial y contenido de materia seca de raíces finas y gruesas. Estas mediciones fueron hechas de modo de conocer si existe competencia entre los tratamientos establecidos y la planta de vid. La Figura 6 muestra la masa de poda de la vid para la temporada 2008-2009.



**Figura 6.** Masa de poda (kg planta<sup>-1</sup>) para los diferentes tratamientos durante la temporada 2008 - 2009. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Al observar la Figura 6, se aprecia que en todos los tratamientos se mantuvo un alto vigor de la planta, encontrándose además en los tratamientos que incluyen rotaciones de cultivos (T2 y T4) valores de peso de poda más altos que el testigo (T1), por lo que se deduce que los cultivos en cobertura no sólo no compitieron con el cultivo principal (vid) sino que además transmiten las mejoras de las características físicas en el suelo en una mejor respuesta de la vid.

Los rendimientos de vid, en términos de la producción de uva comercial, fueron evaluados en tres temporadas, de modo de apreciar el efecto de los tratamientos bajo distintas condiciones ambientales y de desarrollo de la planta (Figura 7).



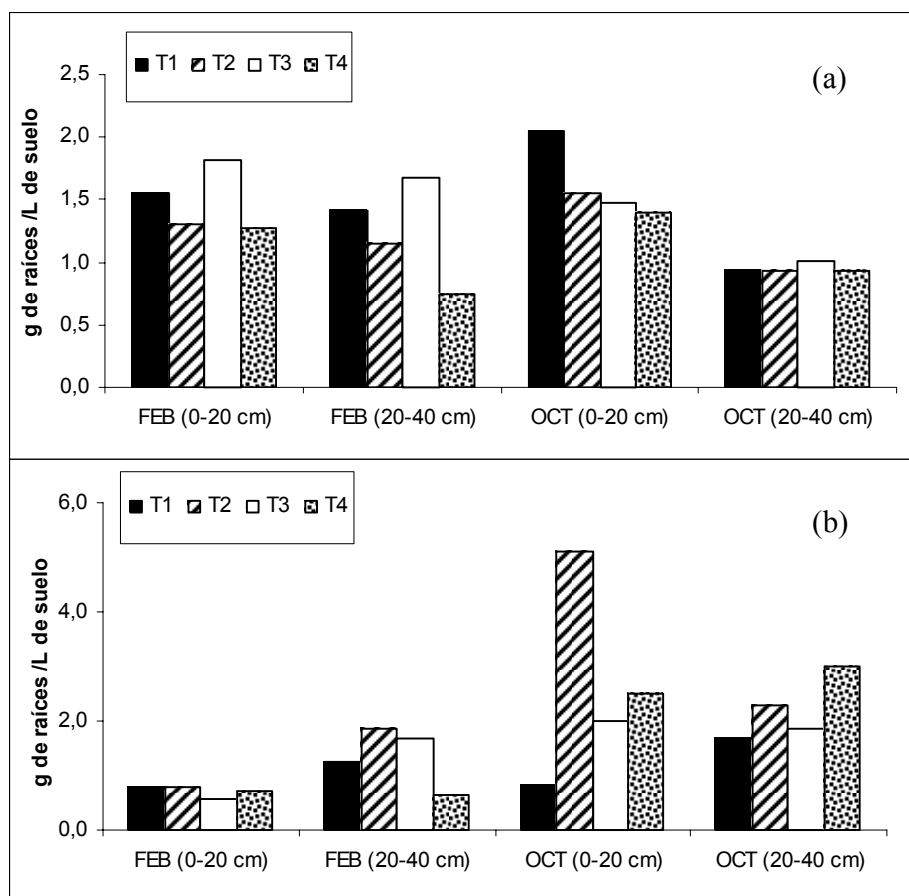
**Figura 7.** Producción de uva comercial (kg ha<sup>-1</sup>) en tres temporadas de producción. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

Al observar la Figura 7 se aprecia que los rendimientos han sido variables a través de las temporadas, lo que permite deducir que el cultivo de la vid está fuertemente influenciado por muchos factores, además de la calidad del suelo. El aumento en la temporada 2008-2009 fue general para la mayoría del valle, atribuido a factores climáticos (ausencia de heladas en periodos críticos y temperaturas estables); sin embargo, cuando se generaron condiciones fuera del óptimo (temporadas 2007-2008 y 2009-2010), el testigo manifestó sensibilidad, disminuyendo los rendimientos respecto al resto de los tratamientos. Es así como la mejor condición física del suelo en los tratamientos con materia orgánica y/o cultivos manifestaría un efecto amortiguador que evitaría caídas bruscas en la producción. No obstante, para corroborar este hecho sería necesario evaluar este parámetro por un período de tiempo mas prolongado.

Es importante destacar que los tratamientos que incluyeron rotaciones de cultivos, no representaron una competencia ni limitante para el normal desarrollo de la vid, dado que su desarrollo fenológico coincidió con el periodo de receso de ésta.

Otro aspecto importante a considerar es el desarrollo del sistema radical, el que en la uva de mesa depende de la variedad, marco de plantación, tipo de suelo y técnicas de cultivo. El 90% del sistema radical se desarrolla por encima del primer metro de suelo, estando la gran mayoría entre los 40 y 60 cm de profundidad (Barticevic y Lobato, 2000).

La Figura 8 muestra la producción de materia seca de raíces finas (menores a 2mm) y de raíces gruesas (mayores a 2mm) medidas a dos profundidades (0 a 20 y 20 a 40 cm), en dos fechas de muestreo (febrero y octubre del 2009).



**Figura 8. (a)** Materia seca de raíces finas (menores a 2mm) y **(b)** Materia seca de raíces gruesas (mayores a 2mm). No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

En el tratamiento testigo (T1) se puede suponer la influencia de la temperatura del suelo en el desarrollo de las raíces finas, puesto que al ser un suelo desnudo mantuvo temperaturas más altas (Cuadro 11), probablemente cercanas a las óptimas que, tal como se indicó, es de 30°C (Ibacache y Lobato, 1995). Este efecto se vió muy marcado en el muestreo superficial durante el mes de octubre, mientras que en febrero el efecto fue más atenuado debido a la mayor cobertura del parrón en esa época; en este último caso prevalece el desarrollo de raíces en el tratamiento con estiércol (T3).

Las aplicaciones de enmiendas orgánicas favorecen el desarrollo de raíces al mejorar las condiciones físicas del suelo (Kay, 1990); sin embargo, en este caso no se destacó el tratamiento T3 (medición de octubre), posiblemente por un efecto adverso de la salinidad aportada por la enmienda. En este sentido, al comparar entre épocas para un mismo tratamiento, sólo el T4 presentó un aumento de la biomasa de raíces a ambas profundidades.

En el caso de las mediciones de raíces gruesas realizada en octubre, el gráfico a simple vista pareciera mostrar grandes diferencias, sin embargo la alta variabilidad entre repeticiones no permitio obtener diferencias estadísticas significativas.

En definitiva, el sistema suelo se ve afectado positivamente por la presencia de cultivos en la sobrehilera, sin embargo, existe una interacción compleja entre los subsistemas físico, químico y biológico, que hace requerir de períodos de tiempo mayores con la implementación de estas prácticas para lograr efectos positivos en el cultivo de la vid.

## CONCLUSIONES

Las aplicaciones sucesivas de materia orgánica en la sobre hilera de plantación de vid, tienen efectos positivos sobre las propiedades físicas del suelo, transmitiéndose las características intrínsecas del material orgánico a éste. En las aplicaciones de estiércol de cabra al suelo se observa una disminución de la resistencia a la penetración y de la densidad aparente, además de un aumento en la retención y flujo de agua, no obstante éstas solo se presentan en superficie.

Los cultivos en cobertura resultan efectivos en la generación de macroporosidad en todo el perfil debido al crecimiento de raíces de los cultivos, promoviendo una mejor continuidad del sistema poroso que favorece una mayor permeabilidad al aire en profundidad.

El uso de estiércol resulta efectivo en disminuir el grado de compactación del suelo, ya que la aplicación de materia orgánica en forma directa genera una baja importante en la resistencia del suelo; los cultivos en cobertura provocan una baja no significativa en el grado de compactación, pero la rotación maíz-haba-cebada promueve un aumento en la estabilidad de agregados a niveles similares a las obtenidas a partir de la aplicación de estiércol.

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 rendimiento, siendo importante señalar que los cultivos no compiten con la vid, puesto que ésta no manifiesta bajas en los rendimientos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aballay E. y B. Insunza. 2002. Evaluación de plantas con propiedades nematocidas en el control de *Xiphinema index* en vid de mesa cv. Thompson Seedless en la Zona Central de Chile. Agricultura Técnica 62 (3): 357-365.
- Acevedo, E. y P. Silva. 2003. Agronomía de la cero labranza. Editorial LOM S.A. Santiago, Chile. 118 p.
- Bachmann J. and R. van der Ploeg. 2002. A review on recent developments in soil water retention theory: interfacial tension and temperature effects. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 165: 468-478.
- Baginsky C., O. Seguel y A. Contreras. 2010. 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. 143 p.
- Baldock J. y P. Nelson. 2000. Soil organic matter. pp: B25-B71. In: Sumner, M. (Ed.) Handbook of Soil Science. CRC Press. Washington, D.C.
- Barticevic, M. y A. Lobato. 2000. Fenología y ciclo de crecimiento. pp: 87-90. En: Valenzuela, J. (Ed.) Uva de mesa en Chile. Santiago, Chile. 338p.
- Benavides, C. 1992. El suelo como sistema físico. pp: 121-153. En: Vera, W. (Ed). Suelos, una visión actualizada del recurso. 1ª Ed. Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Blake, G., and K. Hartge. 1986. Particle density. pp: 377-382. In: Klute, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. ASA and SSSA. Madison WI. v.1.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal 54: 464-465.
- Brady, C. and R. Weil. 1999. The nature and properties of soil. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. USA. 881 p.
- Brady, N. and R. Weil. 2000. Elements of the nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. USA. 559 p.
- Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops and T. Tursina. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications. International Society of Soil Science. England. 152 p.
- 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.
- Chaney, K. and R. Swift. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soil. J. Soil Sci. 35:223-230.
- 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.
- Ciampitti, I. y F. García. s.a. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios, cereales, oleaginosos e industriales. Institute plant nutrition internacional, IPNI. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <[http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05)> [consulta: 25 octubre 2010]



- CIREN. 2007. Estudio Agrológico del Valle del Copiapó y Valle del Huasco. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Publicación N° 135. 126 p.
- Covarrubias, J., C. Baginsky, O. Seguel y C. González. 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. Resumen N° 45. En: 59° Congreso Agronómico de Chile. 7 al 10 de octubre de 2008. 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\\_INTERPRETACION\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_CSR.pdf](http://www.csr.servicios.es/CONSULTORIA_AGRICOLA/DESCARGAS/TABLA_INTERPRETACION_SUELOS_AGRICOLAS_CSR.pdf). Leído el 1 de Septiembre de 2010.
- Dane, J. and J. Hopmans. 2002. Water retention and storage. pp: 671-720. *In*: Dane, J.H. and G.C. Topp (eds.) Methods of soil analysis. Parth 4. Physical methods. SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- de Boodt, M. 1975. Caractères physiques et disponibilité en eau de substrats. *Annales de Gembloux*. 81: 59-72.
- Dörner, J. and R. Horn. 2006. Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselien moraine region in North Germany. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 169: 213-220.
- 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 (Chile)* 55 (3-4): 220-225.
- Ellies, A., R. Grez, y C. Ramírez. 1996. Resistencia a la humectación y propiedades estructurales de un Hapludand sometido a un manejo forestal y pecuario. *Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo. Boletín N° 11*: 103-108.
- Ellies, A. y K. Hartge. 1999. El rol de la física del suelo en la producción agrícola. *Agro Sur* 27:43-56
- Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Impresora y Editor Ograma, Santiago, Chile. 760 p.
- Farías, E. 2009. Cambio en las propiedades físicas de un suelo en laderas cultivadas con vid (*Vitis vinifera*). Memoria de Título. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 40p.
- Grossman, R. and T. Reinsch. 2002. Bulk density and linear extensibility. pp: 201-228. *In*: Dane, J. H. and G.C. Topp. (eds.) Methods of soil analysis. Parth 4. Physical methods. SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Hallett, P., T. Baumgartl, and I. Young. 2001. Subcritical water repellency of aggregates from a range of soil management practices. *Journal of Soil Science* 65:184-190.
- 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.
- Hartge, K., und R. Horn. 1992. Die Physikalische Untersuchung von Böden. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart, Germany. 177 p.

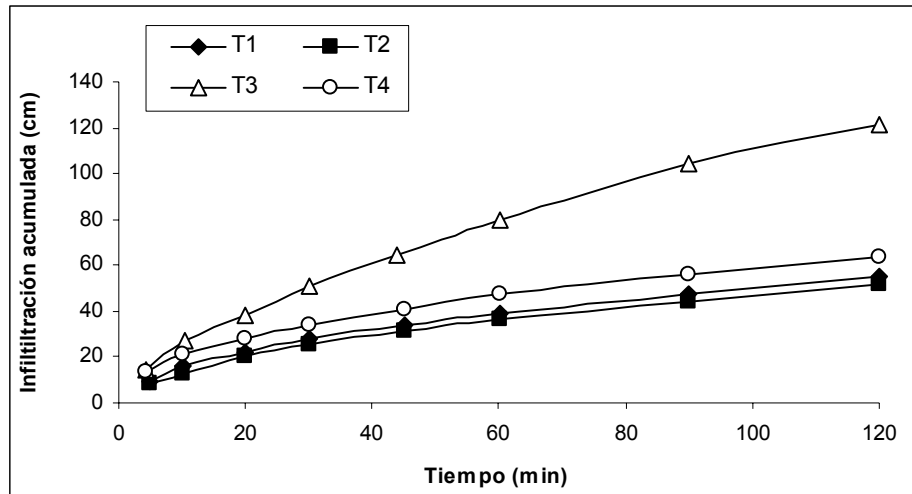
- Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to nutrient management. Sixth Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. USA. 499 p.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. Academic Press. San Diego, USA. 771 p.
- Horn, R. 1993. Mechanical properties of structured unsaturated soils. *Soil Technology* 6: 47-75.
- Horn, R. 1994. Effect of aggregation of soils on water, gas and heat transport. pp: 335-364. In: E. D. Schulze (Ed.) Flux control in biological systems. Academic Press. ISBN: 0-12-633070-0.
- Horn, R. and M. Lebert. 1994. Soil compactability and compressibility. pp: 45-69. In: B. D. Soane and C. van Ouwerkerk (eds.). Soil compaction in crop production. Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands.
- Ibacache, A. y A. Lobato. 1995. Periodos de crecimiento de raíces en vid. *Revista Frutícola* 16 (1): 23 – 26.
- 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.
- 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.
- Kay, B. 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.
- Knott, C., A. Biddle and B. Mckeown. 1994. The PGRO Field bean handbook. Processors y growers research organisation. Peterborough, England. 178 p.
- Koolen, A., and H. Kuipers. 1983. Agricultural soil mechanics. *Advances Series in Agricultural Sciences* 13. Springer Verlag. Berlin, Germany. 241 p.
- Leeds-Harrison, P., E. Young and B. Uddin. 1994. A device for determining the sorptivity of soil aggregates. *European Journal of Soil Science* 45: 269-272.
- León J. 2010. Genetic diversity and population differentiation analysis of ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces using morphological traits and SSR markers. Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Agrarwissenschaften. Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Zu Bonn. 118 p.
- Lipiec, J. 2004. Compaction effects on soil physical properties and root and shoot growth. pp: 124-133. In: J. Glinsky, G. Józefaciuk, K. Stahr (eds). Soil-Plant-Atmosphere aeration and environmental problems. Lublin, Stuttgart, Germany. 146 p.
- Lobato, A y J. Valenzuela. 2000. Zona Central. pp: 31-38. En: INIA. Uva de mesa en Chile. Santiago, Chile. 151 p.
- Montico, S. y B. Bonel. 2005. Influencia de la compactación por tránsito sobre la arquitectura de las raíces. pp: 13-20. En: Jorajuría, D. (Ed) Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Mungoloy, K., M. Gueye, and R. Spencer. 1992. Biological nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture. John Willey and Sons. 237 p.

- Nacci, S. y I. Pla Sentis. 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical*. 42(1-2):115-132.
- Oades, J. M. 1993. The role of the biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377- 400.
- Oster, J. 1995. Curso: Riego con aguas salinas. INIA Intihuasi. La Serena, Chile. 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 Jones R. (eds.). Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. *Advances in Geocology* 35. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany.
- Peth, S. 2004. Bodenphysikalische Untersuchungen zur Trittbelastung von Böden bei der Rentierweidewirtschaft an borealen Wold-und subarktisch-alpinen. Tundrenstandorfen-Auswirkungen auf thermische, hydraulische und mechanische Bodeneigenschaften. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzener nährung und Bordenkunde, 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.
- Richards, L 1972. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa S.A. México. 172 p.
- Reynold, W. , D. Elrick, E. 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 G.C. Topp. (eds.) Methods of soil analysis. Parth 4. Physical methods. SSSA. Madison, Wisconsin, USA.*
- 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. 113 p.
- 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. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 44 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.
- Sierra, B. y C. Rojas. 2002. La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. Informe Técnico Estación Experimental Intihuasi, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, La Serena. 20 p.
- Sierra, C., R. Césped y A. Osorio. 2001. Caracterización de la salinidad de los suelos y aguas del valle del río Copiapó. *Boletín INIA N° 70*. Copiapó, Chile. 31p.
- Sprent, J. and F. Minchin. 1985. Rhizobium, nodulation and nitrogen fixation. pp: 115-143 *In: Summerfield, R. and Robert, E. (eds.). Grain Legume Crops. London, England.*
- Stepniewski, W., J. Glinski, and B. C. Ball. 1994. Effects of compaction on soil aeration properties. pp: 167-189. *In: Soane, B. D. and van Ouwerkerk, C. (eds.). Soil compaction in crop production. Developments in Agricultural Engineering 11. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.*

- Terzaghi, K. y R. H, Peck. 1983. Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Buenos Aires, Ed. El Ateneo. 681 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.
- Whyte, R., T. Moir y J. Cooper. 1959. Las gramíneas en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Roma, Italia. FAO: Estudios Agropecuarios N° 42. 464 p.
- Yoon, Y., J. Kim and S. Hyun. 2007. Estimating soil water retention in a selected range of soil pores using tension disc infiltrometer data. Soil and Tillage Research 97: 107–116.
- Zhang, H., K. Hartge and H. Ringe. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 239-245.

## APÉNDICE I

Curvas de infiltración acumulada.



T1: Testigo

T2: Rotación haba – maíz - raps

T3: Estiércol de cabra

T4: Rotación maíz – haba - cebada

## APÉNDICE II

Flujo de aire ( $\text{cm h}^{-1}$ ) en muestras equilibradas a -33 kPa. Promedio ( $\pm$  desviación estándar).

Tratamientos	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
<b>T1</b>	1,97 ( $\pm 0,15$ )	1,45 ( $\pm 0,27$ )	1,51 ( $\pm 0,38$ )
<b>T2</b>	1,85 ( $\pm 0,19$ )	1,67 ( $\pm 0,34$ )	1,45 ( $\pm 0,45$ )
<b>T3</b>	2,02 ( $\pm 0,20$ )	1,41 ( $\pm 0,44$ )	1,69 ( $\pm 0,29$ )
<b>T4</b>	1,82 ( $\pm 0,34$ )	1,76 ( $\pm 0,25$ )	1,31 ( $\pm 0,45$ )

No hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

T1: Testigo

T2: Rotación haba – maíz - raps

T3: Estiércol de cabra

T4: Rotación maíz – haba - cebada

### APÉNDICE III

Coefficiente de descanso. Promedio ( $\pm$  desviación estándar).

Tratamiento	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
<b>T1</b>	0,98 ( $\pm 0,04$ ) a	1,21 ( $\pm 0,16$ ) a	0,95 ( $\pm 0,09$ ) a
<b>T2</b>	0,96 ( $\pm 0,09$ ) a	1,16 ( $\pm 0,21$ ) a	1,12 ( $\pm 0,09$ ) b
<b>T3</b>	0,58 ( $\pm 0,04$ ) b	0,89 ( $\pm 0,05$ ) b	1,20 ( $\pm 0,12$ ) b
<b>T4</b>	0,94 ( $\pm 0,09$ ) a	1,13 ( $\pm 0,02$ ) a	1,09 ( $\pm 0,05$ ) ab

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

T1: Testigo

T2: Rotación haba – maíz - raps

T3: Estiércol de cabra

T4: Rotación maíz – haba - cebada

## APÉNDICE IV

Porcentaje de dispersión de agregados sometidos a tamizaje seco y húmedo. Promedio ( $\pm$  desviación estándar).

Tratamientos	Profundidad (cm)		
	0-10	10-30	30-50
<b>T1</b>	38,6 ( $\pm 18,0$ )	45,6 ( $\pm 31,0$ )	74,9 ( $\pm 20,0$ )
<b>T2</b>	45,1 ( $\pm 11,0$ )	41,9 ( $\pm 25,0$ )	84,3 ( $\pm 19,0$ )
<b>T3</b>	24,9 ( $\pm 13,0$ )	31,1 ( $\pm 22,0$ )	55,5 ( $\pm 29,0$ )
<b>T4</b>	28,0 ( $\pm 26,0$ )	38,5 ( $\pm 32,0$ )	64,4 ( $\pm 38,0$ )

No hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha \leq 0,05$ ).

T1: Testigo

T2: Rotación haba – maíz - raps

T3: Estiércol de cabra

T4: Rotación maíz – haba - cebada



## ANEXO I

Descripción morfológica: Serie La Capilla, franco arcillo arenosa

Símbolo Cartográfico: LCL

### Caracterización General

La Serie La Capilla es un miembro de la Familia Franca fina, mixta, calcárea, térmica de los Typic Haplocambids (Aridisols).

Suelo profundo que ocupa una posición de terraza aluvial remanente con una topografía suavemente inclinada. Se trata de un suelo muy estratificado que, en el perfil representativo ha sido descrito con un suelo enterrado, lo cual es frecuente para muchos suelos del Valle. El perfil es de textura finas siendo franco arcillo arenosa en superficie y con un substrato arenoso bajo los 120 cm de profundidad. El solum superficial presenta colores en el matiz 7.5YR y el solum inferior presenta una gama de colores que abarcan los matices 5YR, 7.5YR hasta 10YR. Entre los 50 y 70 cm de profundidad presenta una estrata de arena gruesa que se repite en la mayoría de los perfiles. A pesar de esta discontinuidad los suelos presentan buen drenaje y solamente se describió una Fase de drenaje imperfecto. Suelo fuertemente salino en el horizonte A<sub>p</sub>.

Profundidad (cm)	Características Físicas y Morfológicas del Pedón
0-21 A <sub>p</sub>	Pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; franco arcillo arenosa; plástico y adhesivo; firme y duro; estructura de bloques subangulares gruesos, fuertes. Raíces finas, medias y gruesas escasas; poros finos, medios y gruesos abundantes; nódulos de CaCO <sub>3</sub> escasos; reacción al HCl violenta en nódulos y matriz; actividad biológica abundante. Con gravas angulares menores a 1 cm escasas. Límite lineal, claro.
21-52 B	Pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2) en húmedo; franco arcillo limosa; plástico y adhesivo, firme y ligeramente duro; estructura de bloques subangulares medios y gruesos, fuertes. Raíces finas y medias comunes, gruesas comunes; poros finos y medios muy abundantes; actividad biológica abundante; reacción al HCl violenta. Límite lineal, abrupto.
52-62 2C	Variado; arena gruesa; grano simple. Raíces gruesas comunes; reacción al HCl violenta. Límite lineal, abrupto.
62-123 3B <sub>tb</sub>	Pardo rojizo (5YR 4/3) en húmedo (70%); arcillosa; plástico y adhesivo; estructura de bloques subangulares finos, fuertes, que se parten en bloques subangulares finos, fuertes. Raíces finas y medias comunes; poros finos y medios abundantes. Oxidaciones rojo amarillento (5YR 5/6 a 5/7) (10%), con empobrecimiento discontinuo de color pardo claro (7.5YR 6/3) de

menos de 1 cm de espesor; pardo (7.5YR 4/2) (15%); negro (10YR 2/1) (5%); estratas discontinuas de textura franco limosa.; iluviación leve; cutanes finos, débiles, escasos en las caras de los agregados; reacción al HCl violenta en todas los subhorizontes que componen el horizonte. Límite lineal, abrupto.

123-150  
4C

Pardo (7.5YR 4/2 a 4/3) en húmedo; arenosa; grano simple. Raíces medias escasas; reacción al HCl violenta. Horizonte constituido por una sucesión de estratas de arenas finas, medias y gruesas.

### Variaciones de la Serie La Capilla

**LCL - 1** Representa a la Serie y corresponde a suelos de textura superficial franco arcillo arenosa, profundos, suavemente inclinados con 1 a 3% de pendiente y de drenaje moderado. Se clasifica en:

Capacidad de Uso	: IIIw2	Clase de Drenaje	: 4
Categoría de Riego	: 2w	Aptitud Frutal	: C
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 3

**LCL - 2** Corresponde a la Fase de textura superficial franco arcillo limosa, profunda, suavemente inclinada con 1 a 3% de pendiente y de drenaje imperfecto. Se clasifica en:

Capacidad de Uso	: IVw2	Clase de Drenaje	: 3
Categoría de Riego	: 3w	Aptitud Frutal	: D
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 4

**LCL - 3** Corresponde a la Fase de textura superficial franco arcillo limosa, profunda, suavemente inclinada con 1 a 3% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en:

Capacidad de Uso	: IIs6	Clase de Drenaje	: 5
Categoría de Riego	: 1	Aptitud Frutal	: B
Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 2

## PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

### SERIE: LA CAPILLA

PROFUNDIDAD cm	0 - 21	21 - 52	52 - 62	62 - 123	123 - 150
DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO %					
2-0,05	23,0	27,0	77,0	7,0	70,0
0,05-0,002	37,0	38,0	9,0	29,0	14,0
< 0,002	40,0	35,0	14,0	64,0	16,0
TEXTURA	FA	FA	Fa	A	Fa
HUMEDAD RETENIDA 0,33 bar %	25,4	24,8	9,1	35,4	9,5
HUMEDAD RETENIDA 15,0 bar %	11,8	11,1	4,3	22,3	3,9
HUMEDAD APROVECHABLE %	13,6	13,7	4,8	13,1	5,6
pH H <sub>2</sub> O	7,8	8,3	8,7	8,2	8,4
CARBONO ORGÁNICO %	1,22	0,41	0,17	0,35	0,12
MATERIA ORGANICA %	2,1	0,7	0,3	0,6	0,2
Carbonato de calcio equivalente	9,7	14,8	10,3	11,7	8,3
Yeso	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25° C)	13,5	3,3	1,7	2,9	2,9
CATIONES DISUELTOS					
Ca mmol+ L <sup>-1</sup>	67,9	21,0	8,4	17,5	18,4
Mg mmol+ L <sup>-1</sup>	39,9	7,6	1,5	6,5	6,4
K mmol+ L <sup>-1</sup>	4,1	0,4	1,9	0,5	0,3
Na mmol+ L <sup>-1</sup>	65,6	11,6	6,6	10,4	8,9
RAS	8,9	3,1	3,0	3,0	2,5
PSI (calculado de la RAS)	10,7	3,1	3,0	3,1	2,4
SATURACIÓN DE AGUA %	47,6	44,0	25,6	64,3	23,3
EXTRACCIÓN CON ACETATO DE AMONIO					
Ca cmol+ kg <sup>-1</sup>	33,2	30,7	20,6	36,3	20,6
Mg cmol+ kg <sup>-1</sup>	6,51	4,70	2,10	6,80	2,27
Na cmol+ kg <sup>-1</sup>	3,30	1,34	0,55	1,63	0,59
K cmol+ kg <sup>-1</sup>	1,69	0,52	0,53	0,94	0,26
CATIONES INTERCAMBIABLES					
K cmol+ kg <sup>-1</sup>	1,49	0,50	0,48	0,91	0,25
Na cmol+ kg <sup>-1</sup>	0,18	0,83	0,38	0,96	0,38
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO CIC	19,6	16,7	8,0	34,2	8,5
SATURACIÓN DE BASES %	100	100	100	100	100
SATURACIÓN DE Na %	0,9	5,0	4,8	2,8	4,5

## ANEXO II

Tablas de referencia para análisis químico de suelos.

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

\*/ CRSservicios (2006).

\*\*./ INIA (2010).

\*\*\*./ UNITED STATES SOIL CONSERVATION SERVICE (1954).