

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

**Memoria de Título**

**DIAGNÓSTICO Y REMEDIACIÓN DE COSTRA SUPERFICIAL EN  
CAMELLONES DE SUELO CULTIVADO CON DURAZNO (*Prunus  
persica* (L.) BATSCH)**

**CRISTÓBAL JORGE EDUARDO JOFRÉ MARTÍNEZ**

**Santiago, Chile**

**2020**

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

**Memoria de Título**

**DIAGNÓSTICO Y REMEDIACIÓN DE COSTRA SUPERFICIAL EN  
CAMELLONES DE SUELO CULTIVADO CON DURAZNO (*Prunus  
persica* (L.) BATSCH)**

**DIAGNOSIS AND REMEDIATION OF A SURFACE CRUST ON A SOIL  
RIDGE CULTIVATED WITH PEACH (*Prunus persica* (L.) BATSCH)**

**CRISTÓBAL JORGE EDUARDO JOFRÉ MARTÍNEZ**

**Santiago, Chile**

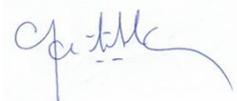
**2020**

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

**DIAGNÓSTICO Y REMEDIACIÓN DE COSTRA SUPERFICIAL EN  
CAMELLONES DE SUELO CULTIVADO CON DURAZNO (*Prunus  
persica* (L.) BATSCH)**

Memoria para optar al título profesional de: Ingeniero Agrónomo.

**CRISTÓBAL JORGE EDUARDO JOFRÉ MARTÍNEZ**

| <b>Profesores Guías</b>                                     |  | <b>Calificaciones</b> |
|---|--|-----------------------|
| Sr. Oscar Seguel S.<br>Ingeniero Agrónomo, Dr.              |  | 6,5                   |
| Sr. Rodrigo Callejas R.<br>Ingeniero Agrónomo, Dr. sc. agr. |  | 6,5                   |
| <b>Profesores Evaluadores</b>                               |  |                       |
| Sr. Ian Homer B.<br>Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing.            |  | 6,5                   |
| Sr. Giorgio Castellaro G.<br>Ingeniero Agrónomo, Mg. sc.    |  | 6,0                   |

**Santiago, Chile**

**2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le dedico especialmente esta memoria a mi padre y quisiera de manera muy sincera, agradecerle por la guía que me dio en la vida y la educación que se esforzó por transmitirme hasta la hora de su partida.

Le agradezco a todas aquellas personas que han contribuido en la elaboración de esta investigación, principalmente a mi profesor guía Oscar Seguel por su disposición, generosidad, gran ayuda y comprensión a lo largo de esta, así mismo, por compartir su conocimiento y experiencia conmigo, también a don Hugo Pérez dada su gran ayuda y buena disposición en mi periodo de trabajo de laboratorio.

De igual manera, agradecer a mi familia y amigos por la contención e inspiración que me dieron durante todo el proceso de esta investigación. Finalmente, a mi pareja Miriam Hidalgo, quién me apoyó, animó y acompañó en gran parte de este proyecto.

## ÍNDICE

|  | <b>Págs.</b> |
|--|--------------|
| <b>RESUMEN</b>   | 1            |
| <b>ABSTRACT</b>  | 2            |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                      | 3            |
| <b>Objetivo general</b>                                  | 4            |
| <b>Objetivo específico</b>                               | 4            |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>                              | 5            |
| <b>Sitio de estudio</b>                                  | 5            |
| <b>Metodología</b>                                       | 5            |
| <b>Análisis estadístico</b>                              | 7            |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>                            | 8            |
| <b>Caracterización inicial del suelo</b>                 | 8            |
| <b>Propiedades físicas como resultado de los manejos</b> | 9            |
| Densidad aparente  | 9            |
| Distribución de tamaño de poros                          | 10           |
| Resistencia a la penetración                             | 12           |
| Estabilidad de microagregados                            | 13           |
| Conductividad hidráulica no saturada (Kns)               | 14           |
| Índice de repelencia R                                   | 16           |
| Ideas finales y proyecciones                             | 17           |
| <b>CONCLUSIONES</b>                                      | 19           |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                      | 20           |
| <b>ANEXO</b>   | 25           |

## RESUMEN

Los suelos derivados de materiales de la Cordillera de la Costa de Chile Central se caracterizan por presentar bajos contenidos de materia orgánica y altos niveles de limo, lo que dificulta su estructuración una vez disturbados por actividad antrópica. En el presente trabajo se evaluaron distintas enmiendas con miras a mejorar la estructura de un camellón (42% limo; 1,2 m de alto, 1,5 m de base) cultivado con durazneros (var. Bowen, 10 años de edad, marco de 4x2 m<sup>2</sup>) y que presenta dificultad en la infiltración del riego. En unidades experimentales del ancho del camellón y el largo equivalente a 6 plantas (1x12 m<sup>2</sup>) se aplicaron los tratamientos T0: Testigo; T1: Cultivo de habas (25 plantas m<sup>-2</sup>); T2: Yeso (2 Mg ha<sup>-1</sup>) y T3: Ácido Húmico (Pow Humus, WSG85, 30 kg ha<sup>-1</sup>), evaluando propiedades físicas de suelo. tales como densidad aparente, distribución de tamaño de poros, velocidad de infiltración, resistencia mecánica, hidrofobia. Los tratamientos T1 y T3 disminuyeron la densidad aparente superficial, incrementando la porosidad gruesa; sin embargo, la retención de agua a capacidad de campo (-33 kPa) no cambió respecto al testigo. La infiltración de agua mejoró en los tratamientos con yeso y ácido húmico (T2 y T3), lo que denota una mayor continuidad porosa; a su vez, todos los tratamientos incrementaron el índice de hidrofobia R respecto al testigo, que presentó valores altamente hidrofílicos (R=1,2), lo que indica una baja estabilidad al agua y problemas de dispersión que contribuyen a la formación de una costra superficial. Esta característica provocó que el testigo presentase un exceso de agua en cada ciclo de riego, alcanzando los menores valores de resistencia mecánica (70 N), lo que lo hacen más susceptible a la compactación superficial por pisoteo; sin embargo, las mejoras propuestas serán persistentes si se mantienen en el tiempo como práctica habitual de manejo del huerto.

## ABSTRACT

The soils derived from materials of the Cordillera de la Costa of Central Chile are characterized by low organic matter content and high levels of silt, which hinders their structuring once disturbed by anthropic activity. In the present work different amendments were evaluated with the aim of improve the structure of a ridge (42% silt; 1,2 m high, 1,5 m base) cultivated with peaches (var. Bowen, 10 years old, frame of 4x2 m<sup>2</sup>) which presents difficulty in the infiltration of the irrigation. In experimental units equivalent to the width of the ridge and the length of 6 plants (1x12 m<sup>2</sup>). We established the treatments T0: (Control); T1: Broad bean cultivation (25 plants m<sup>2</sup>); T2: gypsum (2 Mg ha<sup>-1</sup>) and T3: Humic Acid (Pow Humus, WSG85, 30 kg ha<sup>-1</sup>), evaluating physical properties of soil (bulk density, pore size distribution, infiltration rate, mechanical resistance, hydrophobia). The treatments T1 and T3 decreased the bulk density at surface, increasing the coarse porosity; however, water retention at field capacity (-33 kPa) did not change with respect to the control. Water infiltration improved in treatments with gypsum and humic acid (T2 and T3), which denotes greater porous continuity; in turn, all treatments increased the hydrophobicity index R with respect to the control, which presented highly hydrophilic values (R = 1.2), indicating low water stability and dispersion problems that contribute to the formation of a superficial sealing. This characteristic caused that control present an excess of water in each irrigation cycle, reaching the lowest values of mechanical resistance (70 N), which make it more susceptible to surface compaction by trampling; however, the proposed improvements will be persistent if they are maintained over time as usual orchard management practice.

## INTRODUCCIÓN

En Chile, la producción de durazneros está distribuida entre la I y la X Región, encontrándose mayoritariamente en las regiones V, VI y RM, donde se concentra el 93,8% de la producción nacional, debido a las condiciones climáticas que le permiten la correcta acumulación de horas frío y días grados para la salida del letargo y entrada en producción (ODEPA, 2014).

A pesar de que la superficie plantada con durazno disminuyó un 6,8% en la temporada 2013-2014 (ODEPA, 2014), la mayor demanda por superficie agrícola ha llevado a habilitar sectores considerados marginales para la explotación frutícola, con problemas de profundidad efectiva o mala estructuración (Youlton, 2007). Es así que, considerando los menores requerimientos edáficos de los durazneros en relación con otras especies frutales (Gratacós, s.f.), éstos se han desplazado a suelos con características que limitan su potencial productivo.

Una manera de habilitar suelos con escasa profundidad efectiva es establecer los cultivos sobre camellones, que corresponden a una acumulación del suelo superficial sobre la futura línea de plantación, alcanzando alturas variables, según la necesidad del cultivo, de hasta 1,5 m (Gil, 2006). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que su construcción altera la estructura del suelo, dejando un material suelto que se debe volver a re-estructurar para evitar la excesiva reconsolidación (Lemus y Donoso, 2008).

Entre las posibles complicaciones que pueden apreciarse por la continua consolidación de los camellones, está la formación de un sellado en su superficie o costra superficial. Los principales problemas resultantes de la formación de una costra superficial es la resistencia que se genera al paso del agua, junto con una hipoxia en el sistema radicular debido a la resistencia al intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera (So y Cook, 1993). La formación del sello es más común en suelos con dominancia de limo, ya que éste se dispersa más fácilmente que la arcilla y no posee el espacio poroso grueso entre partículas que presentan los suelos arenosos (Lado et al., 2004). Los problemas que genera una costra superficial se pueden ver acrecentados si además la superficie del suelo desarrolla una hidrofobia excesiva al agua (Lipiec et al., 2009).

La hidrofobia de los suelos es la tendencia de las partículas a no hidratarse, ya que, con la adsorción de sustancias hidrófobas por parte de las partículas minerales, disminuye la adhesión del agua (Ellies et al., 2003). Este fenómeno se debe a factores bióticos y factores abióticos; en el primer grupo se incluyen agentes como la vegetación, la fauna y el contenido de materia orgánica, en tanto los factores abióticos comprenden agentes como la textura, la temperatura y la humedad (Doerr et al., 2000), siendo muy susceptibles a presentar hidrofobia los suelos con dominancia de

arena y limo. La hidrofobia incrementa la escorrentía y la susceptibilidad a la erosión; además, al generar vías de flujo preferencial, facilita el movimiento de agua y de contaminantes en profundidad a través del perfil de suelo (Jaramillo, 2006).

Dada la condición natural de soltura mecánica con pérdida de estabilidad al agua que se genera durante la construcción del camellón (Carrasco et al., 2017), unido al pisoteo propio de las labores de poda, raleo y cosecha, un camellón con cultivo de durazneros tenderá a formar sellos superficiales que afectan la funcionalidad física del suelo, por lo que es necesario tomar medidas preventivas para evitar este problema.

Existen diversas alternativas para asegurar la funcionalidad física del camellón, los cuales se orientan al uso de enmiendas orgánicas y cultivos de cobertura (Lado et al., 2004; Cortés, 2011), todos con buenos resultados. Por ejemplo, Seguel et al. (2018) recomiendan el uso de enmiendas tanto solidas (compost) como líquidas (ácido húmico), aplicadas solas o en conjunto, para mejorar la estabilidad de camellones contruidos con suelo arcilloso. También existe una acción estructurante con enmiendas químicas a base de calcio (Rowley et al., 2018); sin embargo, estas requieren de coloides con carga para poder reaccionar, por lo que su acción en suelos con bajo contenido de arcilla no debiese tener un resultado óptimo. Aún así, Wuddurira y Camps-Roach (2007) determinaron una mayor respuesta a los aportes de calcio en un suelo de textura gruesa que en uno de textura fina al ir incrementando la dosis de calcio, aunque los valores absolutos en una mayor estabilidad del suelo arcilloso. Por lo anterior, resulta necesario evaluar y comparar diversas estrategias de manejo de enmiendas con miras a asegurar la funcionalidad física de un camellón.

### **Objetivo general**

- Evaluar los factores que predisponen la generación de sellos superficiales en camellones en un huerto de durazneros, determinando la causa del problema y su posible control.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar las propiedades físicas relacionadas con la repelencia al agua (textura, distribución del tamaño de poros) en un camellón cultivado con durazneros.
- Evaluar los efectos de distintos manejos del camellón (cultivo de cobertura, yeso, enmienda orgánica) sobre la funcionalidad del suelo mediante la conductividad hidráulica y el índice de repelencia (R).

## MATERIALES Y MÉTODO

### Sitio de estudio

El estudio se realizó durante la temporada 2015-2016, en un huerto de durazneros ubicado en la Comuna de Chépica, Provincia de Colchagua, Región del Libertador Bernardo O'Higgins (34°45'29.10" Lat. S; 71°22'56.46" Long. O; 195 m.s.n.m.). Los análisis se realizaron tanto en campo como en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con precipitaciones anuales promedio de 726 mm, evapotranspiración de 1390 mm al año y temperaturas medias mensuales que fluctúan entre una mínima de 3,9°C en el mes de julio y 29,6°C en el mes de enero (Santibáñez et al., 2017). El suelo está mapeado por CIREN (1996) como Serie Quinahue (Mollisol), de textura superficial franca y que varía a franco arcilloso en profundidad, descansando sobre un sustrato aluvial arenoso. Es un suelo profundo, casi plano, de drenaje imperfecto a moderado, lo que justificó la modificación en forma de camellones para el cultivo de frutales. Al respecto, el huerto posee un cultivo de durazneros variedad Bowen de 10 años, en un marco de plantación de 4x2 m<sup>2</sup> sobre camellones de 1,2 m de alto, 1 m de corona y 1,5 m de base. Evaluaciones preliminares permitieron determinar una buena estructuración y distribución de poros al interior del camellón, pero con una formación de costras superficiales que dificultan la infiltración de agua en el suelo.

### Métodos

Se realizó una caracterización del suelo mediante una descripción morfológica (Schoeneberger et al., 2012) de tres calicatas en el sector del ensayo, tomando muestras por cada horizonte genético, en los cuales se midió: textura, densidad aparente y densidad real (Sandoval et al., 2012). Con esto se verificó la homogeneidad del sitio del ensayo y se caracterizó la costra superficial.

### Tratamientos y diseño de experimentos

En unidades experimentales de 12 x 1 m<sup>2</sup> (ancho del camellón y longitud equivalente a 6 plantas), se establecieron los tratamientos detallados en el Cuadro 1, con el fin de determinar cuál de estos resuelve la problemática del sello superficial.

**Cuadro 1.** Tratamientos del ensayo.

| <b>Tratamiento</b>      | <b>Detalle</b>  |
|-------------------------|---|
| T0 Testigo              | Sin manejo  |
| T1 Cultivo de cobertura | Cultivo de haba en densidad de 25 plantas m <sup>-2</sup> |
| T2 Yeso                 | Dosis equivalente a 2.000 kg ha <sup>-1</sup>             |
| T3 Enmienda orgánica    | Pow Humus, dosis 30 kg ha <sup>-1</sup>                   |

Cada tratamiento contó con 4 repeticiones, definidas cada una por la unidad experimental, (12 x 1 m<sup>2</sup>) en un diseño de bloques completamente aleatorizados, estableciendo los tratamientos indicados en el Cuadro 1. Las cantidades aplicadas de cada tratamiento corresponden a dosis comerciales y la variedad de haba es Súper Agua Dulce. Los tratamientos se aplicaron de forma directa en el suelo de las unidades experimentales de la siguiente forma:

- Testigo: Se utilizó como control unidades experimentales iguales a las del resto de los tratamientos, no realizando ninguna intervención o manejo.
- Cultivo de cobertura. Cultivo de haba en dosis de 25 plantas m<sup>-2</sup> de camellón, distribuidos en 3 hileras de plantas sobre la corona del camellón, distanciadas a 20 cm una de otra y establecidas en agosto de 2015, sin fertilización ni otros manejos.
- Yeso agrícola. Aplicación única en una dosis equivalente a 2.000 kg ha<sup>-1</sup> bajo la línea de riego del camellón, como polvo en agosto de 2015.
- Ácido húmico (POW Humus, WSG 85%). Aplicación única de la dosis comercial (30 kg ha<sup>-1</sup>) diluida en 20 L bajo la línea de riego del camellón, en agosto de 2015.

En diciembre de 2015 se realizó un muestreo de suelos a profundidades de 0-10 y 30-40 cm por unidad experimental para la determinación de propiedades físicas. Este muestreo se hizo 90 días después de la aplicación de las enmiendas, en ese mismo momento se realizó la medición en terreno de la conductividad hidráulica no saturada y de la resistencia a la penetración.

A las muestras colectadas en terreno para propiedades físicas se les evaluó, de acuerdo a la metodología detallada por Sandoval et al. (2012):

Textura, por el método del hidrómetro de Bouyoucos, la Densidad real, por el método del picnómetro, la Densidad aparente, por los métodos del cilindro y el terrón, y la Distribución de tamaño de poros, con cama de arena y platos de presión utilizando cilindros de muestreo de 5,9 cm de diámetro y 5 cm de altura. Estabilidad de agregados (EA), mediante la relación de dispersión (Berryman et al., 1982). Para la relación de dispersión (RD) se utilizaron microagregados de entre 1 y 2 mm, realizando una dispersión suave en agua destilada, mientras que en una contramuestra se realizó una dispersión fuerte, agregando polifosfato de sodio y agitación mecánica. La RD se calculó como la razón entre la arcilla y limo de la dispersión suave respecto

a la arcilla y limo de la dispersión fuerte, de acuerdo con el método del hidrómetro de Bouyoucos, en cuyo caso el menor RD denota la mayor estabilidad. Por último, en muestras superficiales (0-10 cm) se midió la hidrofobia con muestras no disturbadas (colectadas en cilindro) y equilibradas a tensiones mátricas de -33 kPa y secas al aire. El método consiste en la evaluación de la sortividad en agua y etanol en un sistema de capilares a una tensión de -1 hPa, según la metodología propuesta por Hallet y Young (1999), calculando el índice de repelencia (R) como el cociente entre la sortividad con etanol y con agua, determinando suelos hidrófobos cuando  $R \geq 2,0$ .

Además, en terreno se evaluó:

- Infiltración, con el método del minidisco infiltrómetro, utilizando tensiones de suministro de agua de 1, 2, 4 y 6 hPa (Perroux y White, 1988). Con dichos datos se determinó la conductividad hidráulica no saturada (Kns) según metodología propuesta por Zhang (1997).
- Resistencia a la penetración, mediante penetrómetro de punta cónica de 60° (Koolen y Kuipers, 1983), realizando mediciones de resistencia vertical en la costra superficial y cada 10 cm entre 0 y 40 cm de profundidad.

### **Análisis estadístico**

Para comparar las propiedades entre tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia de un 5%, con la verificación de sus supuestos y se consideró el efecto de la profundidad como un factor. En los casos en que se detectó significancia, se realizó un test de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia de un 5%, para así poder corroborar los tratamientos con diferencias estadísticamente significativas. Las pruebas de infiltración fueron ajustadas a expresiones lineales (significancia de 5%) mediante pruebas de regresión, relacionando la Kns (conductibilidad hidráulica no saturada) a la tensión de suministro. Además, se realizó una prueba t para las mediciones de Kns (previa transformación logarítmica) en función de la tensión de suministro, en la que se compararon los interceptos de la recta, la cual equivale a la K saturada (Ks).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización inicial del suelo

En base a la descripción morfológica realizada al inicio del ensayo, es difícil determinar a qué Serie pertenece el suelo del estudio, debido a la alteración que genera la construcción de los camellones; además, según la caracterización realizada por CIREN (1996) en el sitio de estudio convergen cuatro series de suelo similares entre sí, lo que dificulta aún más su identificación. A continuación (Cuadro 2), se detallan los resultados de la caracterización inicial del suelo, identificando un encostramiento superficial (0-2 cm), el cual fue igualmente caracterizado.

**Cuadro 2.** Caracterización inicial del camellón en función de la profundidad.

| Prof.<br>(cm) | Arcilla<br>-----<br>(%) | Limo<br>-----<br>(%) | Arena<br>-----<br>(%) | Clase textural<br>(USDA) | Da <sub>t</sub><br>(Mg m <sup>-3</sup> ) | Da <sub>c</sub><br>(Mg m <sup>-3</sup> ) | RD<br>(%) |
|---------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|-----------|
| 0-2           | 27,3                    | 43,0                 | 29,6                  | FA                       | 1,37                                     | ---                                      | 76,3      |
| 2-30          | 29,1                    | 41,5                 | 29,4                  | FA                       | 1,52                                     | 1,20                                     | 75,6      |
| 30-60         | 26,4                    | 40,2                 | 33,4                  | F                        | 1,49                                     | 1,22                                     | 79,2      |
| 60-90         | 35,3                    | 43,7                 | 21,0                  | FA                       | 1,52                                     | 1,36                                     | 92,0      |

Da<sub>t</sub>: Densidad aparente terrón; Da<sub>c</sub>: Densidad aparente cilindro; RD: Relación de dispersión.

En el Cuadro 2 se presentan las evaluaciones de textura realizadas al inicio del ensayo, con la clasificación de clase textural en base a USDA (Shoeneberger et al., 2012). Se destaca la alta homogeneidad textural en los primeros 60 cm de profundidad, determinándose valores de arena entre 29 y 33%, de arcilla entre 26 y 29% y de limo entre 40 y 43%; por otra parte, en el subsuelo (bajo los 60 cm de profundidad) se encuentra un sustrato en el que se incrementan las partículas finas. A partir de los valores de separados texturales, se determinó la clase textural, determinando que se encuentra en el límite de las clases franco arcillosa (FA) y franca (F), no existiendo diferencias importantes en el sector de la costra superficial.

Los valores de densidad aparente (Db) medida mediante el método del cilindro variaron entre 1,2 y 1,4 Mg m<sup>-3</sup>, mientras que por el método del terrón los valores se encontraron en un rango mayor, entre 1,37 y 1,5 Mg m<sup>-3</sup>. Este resultado es esperable, ya que la contracción de las partículas finas por secado genera agregados densos, con abundantes espacios entre los agregados, los cuales son incluidos en el muestreo por el método del cilindro, resultando en valores de Db menores en relación con el método del terrón (Brady y Weil, 1999).

En cuanto a la densidad real (Dr), ésta es una propiedad física fundamental, ya que refleja las características y origen de los minerales del suelo. Valores típicos para

suelos minerales van en el rango de 2,5 a 2,8 Mg m<sup>-3</sup>, siendo 2,65 Mg m<sup>-1</sup> el valor representativo para muchos casos, ya que corresponde a la Dr del cuarzo, mineral muy abundante en la mayoría de los suelos (Warrick, 2002). Para un horizonte dado será prácticamente constante a lo largo del tiempo al ser independiente de la estructura y variar poco la naturaleza de las partículas (Porta, 2003). Por este motivo solo se realizó una medición por profundidad de estudio, dando como resultado un valor promedio del perfil de 2,52 Mg m<sup>-3</sup>.

La estabilidad estructural del suelo afecta a la rentabilidad y sostenibilidad de los agrosistemas. Los agregados de distintos tamaños son estabilizados por distintos mecanismos, y responden de forma diferente frente a la lluvia, el viento, el riego y otras prácticas agronómicas (Amézketa et al., 2003). Un análisis de microagregados dio como resultados una muy baja estabilidad de estos tanto en la costra superficial como en profundidad, lo que frente a procesos de riego o precipitaciones este suelo tiende a dispersarse rápidamente, a pesar de no haber diferencias significativas (como resultado del ANDEVA) entre la costra superficial o el suelo en profundidad.

### Propiedades físicas como resultado de los manejos

#### Densidad aparente

La densidad aparente (Db) es una propiedad dinámica del suelo que se altera por la acción antrópica o de los seres vivos, estando relacionada directamente con la porosidad total, el espacio disponible en el suelo para el movimiento de gases y agua y el desarrollo de las raíces (Warrick, 2002). El Cuadro 3 presenta los resultados dependientes del manejo en función de la profundidad. Si bien esta es una propiedad sensible a los manejos y fácil de medir, posee una baja significancia para entender la funcionalidad del sistema poroso del suelo (Horn y Fleige, 2009).

**Cuadro 3.** Densidad aparente (Mg m<sup>-3</sup>, promedio ± Desviación estándar), medida con el método del cilindro, de los tratamientos para las dos profundidades de muestreo.

| Tratamientos | Profundidad |            |
|--------------|-------------|------------|
|              | 0-10 cm     | 30-40 cm   |
| Testigo      | 1,38 ±0,07  | 1,28 ±0,07 |
| Haba         | 1,22 ±0,11  | 1,28 ±0,08 |
| Yeso         | 1,39 ±0,11  | 1,28 ±0,11 |
| Pow Humus    | 1,25 ±0,01  | 1,29 ±0,08 |

Se analizaron los resultados de las mediciones de Db, de manera de comparar los diferentes tratamientos a una misma profundidad, no registrándose diferencias estadísticas significativas ( $p > 0,05$ ) en ninguno de los casos, dados los altos niveles

de dispersión de los resultados, aunque dentro de los rangos descritos para esta propiedad (Jury y Horton, 2004).

Se observó que los tratamientos orgánicos (Haba y Pow Humus) tendieron a presentar menores valores en superficie; sin embargo, ambos tratamientos incrementan su valor en profundidad, caso contrario del testigo y el yeso.

La misma tendencia describieron Seguel et al. (2013) en un suelo franco arcilloso cultivado con vid, en que se establecieron coberturas vegetales durante tres temporadas, no encontrando diferencias estadísticas significativas con el testigo, pero sí una tendencia a presentar menor Db entre 10-30 cm, dado el patrón de enraizamiento de la rotación seleccionada. Por su parte, Seguel et al. (2019) describen efectos de la aplicación de ácido húmico en un suelo franco limoso, cultivado con trigo, con efectos positivos hasta los 40 cm de profundidad. En el presente estudio, la ausencia de resultados significativos se debió a la variabilidad natural del sitio.

### Distribución de tamaño de poros

Para determinar la distribución de tamaño de poros se realizaron curvas de retención de agua, las que se generaron al someter muestras no disturbadas a distintas tensiones. Los resultados se presentan en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Distribución de tamaño de poros (% , promedio  $\pm$  Desviación estándar) de los tratamientos para las distintas profundidades de muestreo.

| Tratamiento | Distribución de tamaño de poros (%) |                |
|-------------|-------------------------------------|----------------|
|             | Profundidad                         |                |
|             | 0-10 cm                             | 30-40 cm       |
|             | PD (>10 $\mu$ m)                    |                |
| Testigo     | 13,8 $\pm$ 6,3                      | 19,9 $\pm$ 2,2 |
| Haba        | 19,1 $\pm$ 4,1                      | 20,9 $\pm$ 3,0 |
| Yeso        | 11,8 $\pm$ 5,7                      | 19,4 $\pm$ 6,7 |
| Pow Humus   | 19,2 $\pm$ 7,2                      | 17,0 $\pm$ 6,1 |
|             | PAU (0,2-10 $\mu$ m)                |                |
| Testigo     | 11,9 $\pm$ 1,8                      | 11,8 $\pm$ 1,0 |
| Haba        | 16,1 $\pm$ 1,5                      | 11,5 $\pm$ 1,4 |
| Yeso        | 12,9 $\pm$ 3,2                      | 12,4 $\pm$ 1,6 |
| Pow Humus   | 13,5 $\pm$ 2,0                      | 12,8 $\pm$ 0,6 |
| Promedio    | 13,6 A                              | 12,1 B         |
|             | PAI (<0,2 $\mu$ m)                  |                |
| Testigo     | 20,3 $\pm$ 4,1                      | 18,1 $\pm$ 1,8 |
| Haba        | 16,8 $\pm$ 1,4                      | 17,3 $\pm$ 1,2 |
| Yeso        | 20,8 $\pm$ 3,0                      | 17,9 $\pm$ 3,8 |
| Pow Humus   | 18,1 $\pm$ 2,3                      | 17,9 $\pm$ 3,0 |

PD: Poros de drenaje; PAU: Poros de agua útil; PAI: Poros de agua inútil. Letras distintas indican diferencias significativas de PAU entre profundidades a un nivel de significancia ( $\alpha < 0,05$ ), comparados de forma independiente.

La capacidad del suelo para transportar y almacenar agua depende de la proporción y funcionalidad de sus poros, por lo que una proporción adecuada de todos los tamaños es importante para la funcionalidad física del suelo (Horn y Fleige, 2009). La cuantificación del espacio poroso permite entender las modificaciones inducidas por prácticas de manejo y de esta forma, se pueden identificar las prácticas que son más compatibles con la protección de la estructura del suelo (Hartge y Horn, 2016).

La curva característica de retención de agua del suelo muestra el comportamiento de los distintos horizontes en la medida que se secan, pudiendo establecerse los valores de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) como un estado energético del agua en el suelo. Así, con el rango entre ambos se puede determinar el agua aprovechable o porosidad de agua útil (PAU), que corresponde al agua energéticamente disponible para la absorción de los vegetales (Warrick, 2002). Por otra parte, es de suma importancia la porosidad de drenaje (PD) calculada entre saturación y equilibrio a CC, ya que asegura la aireación y el intercambio de gases hacia las raíces, requiriéndose en superficie de manera ideal un mínimo de 12% de PD (Reynolds et al., 2008).

Si bien no se registraron diferencias estadísticas significativas para los PD ( $\alpha < 0,05$ ), se observa entre 0-10 cm una mayor presencia de PD en los tratamientos con manejo orgánico. El efecto del cultivo de haba se genera por el crecimiento de raíces, que genera macroporosidad y el aporte de mulch superficial, el cual descompone por actividad biológica se incorpora al suelo, incrementando la porosidad de aireación de manera proporcional al aporte de mulch (Jordan et al., 2010). Sin embargo, para lograr efectos significativos sobre los PD se requieren al menos tres temporadas, en cuyo caso los beneficios de los cultivos de cobertura se manifestarán en profundidad (Seguel et al., 2013). Por su parte, el uso de ácido húmico en suelos intensamente labrados también genera efectos positivos sobre la porosidad gruesa, incluso con dosis menores a las del presente ensayo (Seguel et al., 2019).

Como se puede apreciar, el tratamiento haba y el tratamiento Pow Humus, también aumentaron la cantidad de poros de agua útil PAU y disminuyeron los poros de agua inútil, debido principalmente el efecto estructurante de las raíces del cultivo de cobertura y el efecto cohesionador de la enmienda orgánica (Abrien et al., 2009), aunque sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

En tanto a los poros de agua inútil PAI, disminuyeron en superficie en tratamiento de haba (T1) por el efecto estructurante de las raíces de estas, pero al igual que las variables PD y PAU, no se registraron diferencias estadísticas significativas para los PD ( $\alpha < 0,05$ ).

## Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración permite estimar el esfuerzo necesario que deben ejercer las raíces en el suelo para poder abrirse paso a través del perfil. requiriéndose un mínimo de resistencia mecánica para asegurar traficabilidad y sustentación física de los cultivos (Schäffer et al., 2010). Niveles altos de resistencia a la penetración se relacionan con problemas de compactación, los cuales pueden causar restricciones al crecimiento radical (Hakansson, 2005). Una práctica alternativa para eliminar la compactación es utilizar cultivos de cobertura, cuyas raíces tengan la habilidad de penetrar el suelo. En el Cuadro 5 se presentan los valores de resistencia a la penetración, para cada uno de los tratamientos en profundidad, evaluados a capacidad de campo.

**Cuadro 5.** Resistencia a la penetración (promedio  $\pm$  DS) de los tratamientos para las distintas profundidades de muestreo.

| Tratamiento           | Resistencia a la penetración (N) |              |              |              |              | Promedio<br>tratamientos |
|-----------------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                       | Profundidad (cm)                 |              |              |              |              |                          |
|                       | 2                                | 10           | 20           | 30           | 40           |                          |
| <b>Temporada 2015</b> |                                  |              |              |              |              |                          |
| <b>Testigo</b>        | 40 $\pm$ 6                       | 62 $\pm$ 10  | 71 $\pm$ 5   | 93 $\pm$ 27  | 92 $\pm$ 29  | 73 A                     |
| <b>Haba</b>           | 47 $\pm$ 10                      | 109 $\pm$ 31 | 156 $\pm$ 27 | 182 $\pm$ 40 | 147 $\pm$ 15 | 128 B                    |
| <b>Yeso</b>           | 50 $\pm$ 19                      | 88 $\pm$ 37  | 103 $\pm$ 58 | 129 $\pm$ 76 | 131 $\pm$ 68 | 100 C                    |
| <b>Pow Humus</b>      | 43 $\pm$ 12                      | 91 $\pm$ 34  | 134 $\pm$ 34 | 165 $\pm$ 51 | 177 $\pm$ 74 | 122 BC                   |
| <b>Promedio Prof.</b> | 45 A                             | 87 B         | 119 C        | 137 CD       | 142 D        |                          |

Letras distintas indican diferencias significativas entre profundidades o entre tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

Todos los tratamientos incrementaron la resistencia en relación con el testigo., destacando el tratamiento de haba (T2), el cual presentó valores más altos al resto de los tratamientos a profundidades medias (20-30 cm). Manejos de cultivos de cobertura durante varias temporadas, donde se intercalen los patrones de enraizamiento, pueden generar disminuciones de la resistencia mecánica en profundidad (Seguel et al., 2011; Trükmann et al., 2006); sin embargo, para otras enmiendas orgánicas los resultados positivos sólo se obtienen con altas dosis, especialmente en suelos de texturas finas (Seguel et al., 2013).

De acuerdo con la clasificación de Shoenberger et al. (2012), (ver anexo 1), en superficie (2 cm) los resultados fueron bastante uniformes, donde los valores de resistencia estuvieron dentro del rango de muy firmes (40-80 N), situación que no se mantuvo en profundidad, ya que todos los tratamientos muestran un aumento de la resistencia, clasificando en extremadamente firmes ( $> 80$  N) en comparación con el testigo, que presentó valores más bajos en todas las profundidades, siendo muy firme (40-80 N) hasta los 20 cm. Según Pagliai y Vignozzi (2002), existe una fuerte correlación entre la porosidad del suelo con la resistencia a la penetración, a tal punto

que al disminuir la porosidad se incrementa la resistencia a la penetración. Sin embargo, en los resultados de este estudio se observa que los tratamientos con mayor macroporosidad en superficie (Haba y Pow Humus, Cuadro 4), presentaron también las mayores resistencias entre 0-10 cm. Así, el riego uniforme en los tratamientos, previo a la medición de la resistencia a la penetración, tuvo un mayor drenaje en los tratamientos de Haba y Pow Humus, generando un menor estado energético del agua del suelo (mayor tensión), lo que explica la mayor resistencia (Stock y Downes, 2008).

Finalmente se generaron diferencias entre las diferentes profundidades, lo que demostraría la consolidación del suelo del camellón Horn y Baumgartl (2002), explicando el incremento de la resistencia en profundidad, fenómeno que se da de forma natural en sedimentos no consolidados (Horn et al., 2007).

### Estabilidad de los micro agregados

La estabilidad de microagregados se analizó utilizando la razón de dispersión (RD), parámetro que permite determinar la estabilidad de los agregados de entre 1 y 2 mm de diámetro (Berryman et al., 1982) al comparar una prueba de sedimentación con y sin dispersante químico. Valores altos de RD indican una alta dispersión de los microagregados y, por ende, una baja estabilidad de estos. El Cuadro 6 presenta los resultados en términos de razón de dispersión (RD).

**Cuadro 6.** Razón de dispersión (RD, %) para cada uno de los tratamientos según profundidad de muestreo. Promedio ( $\pm$  Desviación estándar).

| Tratamiento | RD (%)           |                 |
|-------------|------------------|-----------------|
|             | Profundidad (cm) |                 |
|             | 0-10 cm          | 30-40 cm        |
| Testigo     | 59,9 $\pm$ 19,2  | 84,1 $\pm$ 9,7  |
| Haba        | 58,4 $\pm$ 8,0   | 72,2 $\pm$ 7,5  |
| Yeso        | 71,1 $\pm$ 26,2  | 76,2 $\pm$ 10,2 |
| Pow Humus   | 65,2 $\pm$ 15,6  | 72,0 $\pm$ 17,5 |

No se encontraron diferencias significativas a entre profundidades ( $\alpha < 0,05$ ).

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

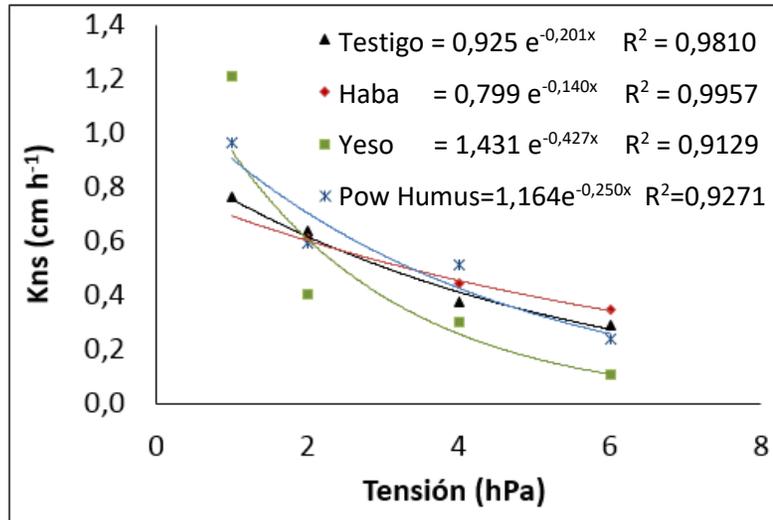
Se analizaron los resultados estadísticamente a un nivel de significancia del 5% ( $\alpha < 0,05$ ) y no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, probablemente debido al corto periodo de acción de los tratamientos, ya que esta es una propiedad que puede tardar más de una temporada en mostrar cambios (Abriven et al., 2009).

Seguel et al. (2013) encontraron efectos positivos de la aplicación de estiércol en altas dosis al cabo de tres temporadas en un suelo franco arcilloso, determinado valores de RD significativamente menores que un control sin enmienda. Sin embargo, en el mismo ensayo las rotaciones de cultivo no generaron cambios importantes en la estabilidad de agregados. Al respecto, Novelli et al. (2013) demostraron la efectividad de especies con raíz fasciculada sobre la estabilidad de agregados, encontrando una alta estabilidad en rotaciones de trigo-sorgo-patura, aunque los efectos se manifestaron tras varias temporadas de cultivo.

Por otra parte, la estabilidad de agregados en este tamaño (1-2 mm) podría depender de otros agentes cementantes, como los óxidos de Fe, tal como lo señala Brunel-Saldías et al. (2016) en un suelo granítico de la Región del Maule. Para el presente estudio, si bien han transcurrido 10 años desde la construcción del camellón, no se han logrado restablecer las interacciones organominerales que permitan manifestar una mayor estabilidad frente a manejos con enmiendas, tal como lo indican Zhang et al. (2018), quienes determinaron un incremento de la estabilidad, de manera lineal con adiciones de carbono húmico.

### **Conductividad hidráulica no saturada (Kns)**

Para evaluar la funcionalidad del sistema poroso del suelo, se midió la conductividad hidráulica no saturada (Kns, Figura 1), a partir de la cual se puede derivar la conductividad hidráulica saturada como una propiedad de alta significancia de acuerdo a Horn y Fleige (2009), al momento de evaluar la calidad física del suelo.



**Figura 1.** Curvas de conductividad hidráulica no saturada (Kns), valores promedio por tratamiento (n=4). A tensión cero (constante de la ecuación,  $\alpha < 0,05$ ) se tiene la conductividad hidráulica saturada.

La conductividad hidráulica de un suelo describe la funcionalidad de su sistema poroso, englobando propiedades de cantidad, tamaño, morfología, continuidad y orientación de los poros (Dörner y Dec, 2007). Debido a que a través del suelo se mueven los distintos fluidos (agua y aire), permitiendo así el suministro de agua y aire a las raíces y seres vivos de este, la conductividad del suelo es considerada como el mejor indicador de la calidad de la estructura (Horn y Fleige, 2009). Debido a que la Kns depende en gran medida de la textura, la estructura y la horizonación del suelo, esta es una propiedad que altamente variable del punto de vista espacial (Dec y Dörner, 2014), esto es debido a que es una propiedad dependiente de la estructura y la textura del suelo.

En la Figura 1 se observa que el tratamiento con yeso genera una alta K saturada (1,43 cm h<sup>-1</sup>), la cual cae fuertemente al aumentar la tensión. Esto se debe a que el Calcio aportado por el yeso genera una estructuración inicial que favorece el desarrollo de grietas (INIA, 2010), con alta capacidad de flujo, pero que al humectarse se sellan por expansión del suelo, dejando de conducir agua, cayendo fuertemente la K.

La Kns, como un indicador de la capacidad del movimiento del agua en el suelo en condiciones no saturadas, se caracteriza por ocurrir cuando muchos poros están llenos de aire (Horn y Baumgartl, 2000). Evaluada a tensiones cercanas a cero, alcanza un valor cercano al valor de la Ksat; pero a medida que la tensión de suministro se hace más negativa, el valor de Kns va disminuyendo gradual y constantemente, alcanzando valores que llegan a ser hasta 3 órdenes de magnitud menores respecto a Ksat cuando el suelo está sometido a tensiones de 33 kPa (Hillel, 2004). En este sentido, el

tratamiento con Pow Humus también alcanzó un valor de  $K_{sat}$  alto ( $1,16 \text{ cm h}^{-1}$ ), con un descenso más gradual a medida que aumentó la tensión.

Si bien los macroporos del suelo contribuyen significativamente al aumento de la  $K_{sat}$  y la no saturada ( $K_{ns}$ ) (Hillel, 2004), ya que en ellos ocurre el mayor y más libre flujo de agua y aire, Børgensen et al. (2006) sugieren que el límite para los macroporos está en los  $-4 \text{ hPa}$  de presión mátrica, que corresponde a poros de  $750 \mu\text{m}$  de diámetro. Así, las tensiones menores (0 a  $4 \text{ hPa}$ ) son las que generan las diferencias entre los tratamientos integrando los valores de porosidad gruesa con su continuidad en el perfil.

Se realizó una comparación de los tratamientos mediante el análisis del intercepto de cada curva con el eje Y (tensión cero), lo cual corresponde a la conductividad hidráulica saturada. Además, se realizó una comparación de las pendientes de cada curva para evaluar la sensibilidad de la  $K_{ns}$  a la desaturación. Sin embargo, en ninguna de las comparaciones se encontró diferencia significativa, seguramente por el poco tiempo al cual se evaluaron los tratamientos a la variabilidad natural de la porosidad (Jury y Horton, 2004).

### Índice de repelencia (R)

Los compuestos orgánicos se caracterizan por su naturaleza apolar, la cual se genera durante la mineralización de la materia orgánica; estos compuestos cubren la superficie de las partículas minerales y disminuyen la capacidad de humectación de los suelos (Hallet, 2008). Con el aumento de estos compuestos, se incrementa la estabilidad de los agregados del suelo, al igual que la capacidad de retención de agua (Abiven et al., 2009), siendo ideal valores de R entre 2 y 4 para evitar una repelencia excesiva al agua (Hallet, 2008). El Cuadro 7 presenta los resultados del índice R en muestras superficiales, donde es esperable la mayor hidrofobia por aporte de materia orgánica (Seguel y Orellana, 2008).

**Cuadro 7.** Índice de repelencia R, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de muestras superficiales según tratamientos.

| <b>Tratamiento</b> | <b>R</b> | <b>DS</b> | <b>CV</b> |
|--------------------|----------|-----------|-----------|
| Testigo            | 1,23     | 0,37      | 30,1      |
| Haba               | 1,57     | 0,95      | 60,6      |
| Yeso               | 1,95     | 0,34      | 17,4      |
| Pow humus          | 1,66     | 0,93      | 55,6      |

Los resultados indican que todos los tratamientos son hidrofílicos (Hallet y Young, 1999), aunque el tratamiento de yeso se encuentra en el límite de la hidrofobia (Lipiec et al., 2009).

Que el suelo presente cierto grado de hidrofobia ( $2 < R < 4$ ) no indica una desventaja o una mala calidad estructural, ya que en dicho rango las sustancias que generan hidrofobia se relacionan a una mayor estabilidad de la estructura de los poros (Ellies et al., 2003). Además, Bachmann et al. (2001) proporcionaron evidencia directa de que existe menos evaporación de suelos repelentes al agua, favoreciendo la mayor disponibilidad hídrica para los cultivos. Así, dado que la repelencia al agua disminuye con la profundidad (Woche et al., 2005), una capa más hidrófoba en la superficie del suelo podría formar una barrera capilar que reduce la evaporación. Por otro lado, valores elevados de  $R$  ( $>4$ ) son perjudiciales, ya que el retraso de la infiltración del agua en el suelo causa escorrentía, generando erosión hídrica que conlleva a pérdidas de suelo y de agua utilizada en riego para la agricultura (Turnbull et al., 2010).

El bajo valor de  $R$  en el testigo genera una rápida humectación superficial, lo que, unido a la baja estabilidad estructural, genera dispersión y la formación de un sello que disminuya la funcionalidad física del suelo (evaluada como  $K_{sat}$ ). Si bien los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas con el testigo, se empiezan a evidenciar mejoras en las propiedades físicas (porosidad gruesa, conductividad hidráulica saturada) que apunta a una mejora general del comportamiento del camellón en el mediano plazo, por lo que los manejos se debiesen mantener para buscar una respuesta productiva del cultivo.

### **Ideas finales y proyecciones**

Es sabido que el uso de enmiendas orgánicas genera beneficios al suelo, tanto del punto de vista físico como químico, este último asociado a aspectos nutricionales (Abiven et al., 2009; Reganold et al., 2010). A nivel físico, existen amplios antecedentes que apuntan a que las enmiendas orgánicas mejoran la distribución porosa, la retención de agua y la estabilidad de agregados (Imbufe et al., 2005; Seguel et al., 2003, 2013; Papadopoulos et al., 2014), con efectos directos sobre la calidad y la producción de los cultivos (Singh et al., 2008; Medina y Azcón, 2010; Khalid et al., 2013); sin embargo los efectos en frutales son menos documentados y se generan en el largo plazo (Abiven et al., 2009).

A nivel químico, las enmiendas a base de Calcio buscan mejorar la condición nutricional del cultivo, junto con favorecer el proceso de estructuración. Por ejemplo, el yeso aporta importantes niveles de  $Ca$  soluble (Quadir et al., 2007) y posee un efecto floculante que favorece la formación de agregados estables al agua (Hussain et al., 2001). Este efecto se genera por un incremento en la capacidad de captura y estabilización de la materia orgánica al interior de los agregados (Rowley et al., 2018), por lo que en trabajos futuros se debiese estudiar el efecto sinérgico de las aplicaciones conjuntas de  $Ca$  y materia orgánica.

Dosis altas de enmiendas orgánicas sólidas generan efectos en el corto plazo sobre las propiedades físicas. Por ejemplo, Seguel et al. (2013) reportan incrementos en la

retención de agua y la estabilidad de agregados en un suelo franco arcilloso acondicionado durante tres años con dosis de 20 ton ha<sup>-1</sup> de estiércol semi estabilizado, en comparación con un control sin enmienda. Para el caso de los cultivos de cobertura, también se ha probado su efectividad en manejos de mediano plazo, con incrementos de la porosidad gruesa y disminución de la resistencia mecánica en suelos compactados (Baginsky et al., 2013).

En el presente ensayo, las limitaciones del suelo no pasan por un estado de compactación, sino por una baja estabilidad al agua en superficie, que genera dispersión y una baja infiltración. En este sentido, los manejos orgánicos (ácido húmico y cultivo de cobertura) generaron una disminución de la densidad aparente, con incremento de la porosidad gruesa. Para el caso de la conductividad hidráulica saturada, se observó una tendencia al aumento por efecto del uso de enmienda húmica y yeso. Sin embargo, estos resultados no tuvieron diferencias estadísticas significativas; más aún, los manejos generaron nula respuesta sobre la estabilidad de agregados, aunque disminuyeron el comportamiento hidrofílico, como indicador de una mayor estabilidad que el testigo frente al proceso de humectación. Para el caso de enmiendas líquidas aplicadas en bajas dosis, Seguel et al. (2019) determinaron en un suelo franco limoso efectos positivos sobre la porosidad, pero sin efectos significativos sobre la estabilidad, por lo que los manejos continuos, con aplicaciones anuales de enmiendas, debiesen tener un efecto acumulado que mejore las condiciones de funcionalidad física del camellón (Seguel et al., 2018).

## CONCLUSIONES

La formación de la costra superficial se debe a la alta concentración de limo en el suelo (40%) que actúa como una capa inerte en la superficie, junto a una arcilla impermeable que se encuentra en una estrata subsuperficial, la cual motivó la construcción de los camellones. La baja estabilidad al agua del suelo contribuye a su dispersión, favoreciendo la formación de la costra, lo que disminuye la infiltración del agua.

Dada la implementación de corto plazo (una temporada), los manejos no logran obtener diferencias estadísticamente significativas con el testigo, sin embargo, se obtuvieron las siguientes tendencias: el uso de haba como cultivo de cobertura y del ácido húmico (Pow Humus) en los camellones, disminuye la densidad aparente y aumenta la porosidad gruesa en superficie. El cultivo de cobertura mejora también el contenido de agua aprovechable, en tanto los tratamientos con yeso y ácido húmico mejoran la conductividad hidráulica saturada.

Como la mayoría de las propiedades medidas no dieron diferencias estadísticas significativas, pero sí tendencias, es probable que el tiempo de evaluación (3 meses) no fue suficiente para que se muestren completamente los efectos de cada tratamiento, por lo cual, si estos se mantienen en el tiempo por más de una temporada, es muy probable que se encuentren cambios respecto al testigo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abiven, S.; S. Menasseri and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 1–12.
- Amézketa E.; R. Carranza; B. Urgel, and R. Aragüés. 2003. Macro- and micro-aggregate stability of soils determined by a combination of wet-sieving and laser-ray diffraction. *Spanish journal of agricultural research*, ISSN 1695-971X, ISSN-e 2171-9292, N° 4:83-94.
- Bachmann, J.; H. Horton, and R.R. Van der Ploeg. 2001. Isothermal and nonisothermal evaporation from four sandy soils of different water repellency *Soil Science Society of America Journal*, 65:1599–1607.
- Baginsky, C.; O. Seguel, y A. Contreras. 2010. Impacto en la utilización de cultivos y enmiendas orgánicas sobre la funcionalidad del suelo. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 17. Santiago, Chile. 122.
- Berryman, C.; D. Davies; C. Evans; M. Harrod; A. Hugues; R. Skinner et al. 1982. *Techniques for measuring soil physical properties*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Swedish. 116 p.
- Børgensen, Ch.; O. Jacobsen; S. Hansen and M. Schaap. 2006. Soil hydraulic properties near saturation, an improved conductivity model. *Journal of Hydrology*, 324: 40-50.
- Brady N., and R. Weil. 1999. *Elements of the nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. USA. 559 p.
- Brunel-Saldias, N.; I. Martínez; O. Seguel; C. Ovalle, y E. Acevedo. 2016. Structural characterization of a compacted alfisol under different tillage systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (3):689-701.
- Carrasco, J.; J. Riquelme, y P. Abarca. 2017. Manejo de suelos para el establecimiento y cultivo del duraznero (cap. 3, pp. 29-48). En: Abarca P. *Manual de manejo del cultivo de duraznero*. Boletín INIA / N° 08. INIA - INDAP, Santiago. Chile. 130p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). Chile. 1996. *Estudio Agrológico VI Región. Descripción de suelos, materiales y símbolos*. Publicación N° 114. Santiago, Chile. 479 p.
- Cortés, A. 2011. *Estabilización física de camellones con paltos vía enmiendas orgánicas/cultivo de cobertura*. IV región de Chile. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Cuevas, J.; O. Seguel; A. Ellies y J. Dörner. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 6 (2): 1-12.
- Dec, D. and Dörner, J. 2014. Spatial variability of the hydraulic properties of a drip irrigated andisol under blueberries. *Journal of soil science and plant nutrition*, 14(3), 589-601.
- Doerr, S.H.; R.A. Shakesby and R.P.D. Walsh. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science* 51: 33-65.

- Dörner, J. y D. Dec. 2007. La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 7(2): 1-13.
- Ellies, A.; C. Ramírez, and R. Mac Donald, 2003. Wetting capacity distribution in aggregates from soils with a different management. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 1(2): 229-233.
- Fuentes, I.; O. Seguel y M. Casanova. 2011. Degradación física de suelos de la zona central versus suelos volcánicos del sur de Chile. (Bol. N° 24), Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile: SCHCS. 173p.
- Gil, P. 2006. Situación hídrica de las plantaciones de palto en Chile. Seminario Internacional Manejo del Riego y Suelo en el Cultivo del Palto. Minagri-INIA. Santiago, Chile. 18 p.
- Gratacós, E. s.f. El cultivo del duraznero *Prunus persica* (L.) Batsch. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso. Chile. 108 p.
- Håkansson, I. 2005. Machinery-induced compaction of arable soils Incidence-Consequences-Counter Measures. Department of Soil Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences. Reports from the Division of Soil Management. Uppsala, Sweden. 153p.
- Hallett, P. y I. Young, 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science*. 50. 35 - 40.
- Hallett, P.D. 2008. A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency - An overview. *Soil and Water Resources*, (Special Issue 1): S21-S29.
- Hartge, K. and R. Horn. 2016. Essential soil physics. An introduction to soil processes, functions, structure and mechanics. Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart, Germany. 391p.
- Hillel, D. 2004. Introduction to environmental soil physics. San Diego, California, USA: University of Massachusetts. 801 p.
- Horn, R. and H. Fleige. 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in northwest Germany at farm scale. *Soil and Tillage Research*, 102 (2): 201-208.
- Horn, R.; K. Hartge; J. Bachmann, and M. Kirkham. 2007. Mechanical Stresses in Soils Assessed from Bulk-Density and Penetration-Resistance Data Sets. *SSSAJ: Volume 71: Number 5*. 1455-1459.
- Horn, R. and T. Baumgartl. 2002. Dynamic properties of soils. pp: 17-48 In: *Soil physics companion* (ed. A. W. Warrick). CRC Press LLC, Boca Raton, FL. 403 p.
- Hussain, N.; G. Hassan; M. Arshad Ullah and F. Mujeeb. 2001. Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soil. *International Journal of Agriculture & Biology* 3 (3): 319-322.
- Imbufe, A.; A. Patti; D. Borrow; A. Surapaneni; W. Jackson, and A. Milner. 2005. Effects of potassium humate on aggregate stability of two soils from Victoria, Australia. *Geoderma* 125 (3-4): 321-330.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). Chile. 2010. Informativo N.º 33 Aplicación de enmiendas orgánicas para el establecimiento de huertos frutales. INIA, Centro Regional de Investigación Rayentué. Región de O'Higgins. Chile. 4p.
- Jaramillo, D. 2006. Repelencia al agua en suelos: una síntesis. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 30 (115): 215-232.

- Jordán A.; L. Zavala, and J. Gil. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81: 77–85
- Jury, W. and R. Horton. 2004. *Soil Physics*. 6th Ed. New Jersey. USA. 370 p.
- Khalid, S.; K. Qureshi; I. Hafiz; K. Khan, and U. Qureshi. 2013. Effect of organic amendments on vegetative growth, fruit and yield quality of strawberry. *Pakistan Journal of Agricultural Research* 26 (2): 104-112.
- Koolen, A. J. and H. Kuipers. 1983. *Agricultural Soil Mechanics*. Advanced Series in Agricultural Sciences 13. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 241 p.
- Lado, M.; A. Paz, and M. Ben-Hur, 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Science Society of America Journal* 68: 935–942
- Lemus G. y J Donoso. 2008. Establecimiento de Huertos Frutales. INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA N° 173. Centro Regional de Investigación Rayentué. Rengo Chile. 104 p.
- Lipiec, J.; A. Wójciga, and R. Horn. 2009. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil & Tillage Research* 103: 170–177
- ODEPA (Oficina de estudios y planificación agraria). Chile. 2014. Frutales: superficie y producción. [en línea]. Recuperado en: <[www.odepa.cl/wp-content/uploads/2012/12/Frutales-2014.xls](http://www.odepa.cl/wp-content/uploads/2012/12/Frutales-2014.xls)> Consultado el: 28 de octubre de 2015.
- Medina, A. and R. Azcón. 2010. Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhiza fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal Soil Science and Plant Nutrition* 10 (3): 354-372.
- Novelli L.; O. Caviglia.; M. Wilson., and M. Sasala. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma*. Volumes 195–196:260-267.
- Pagliai, M. and N. Vignozzi. 2002. The soil pore system as an indicator of soil quality. (pp.71-82). In: Pagliai, M. y R. Jones. (Eds.). *Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach*. Reiskirchen, Alemania: GeoScience. 598p.
- Papadopoulos, A.; N. Bird; A. Whitmore, and S. Mooney. 2014. Does organic management lead to enhanced soil physical quality? *Geoderma*. 213: 435-443.
- Perroux, K. and I. White. 1988. Design for disc permeameters. *Soil Science Society of American Journal* 52:1205-1215.
- Porta J., 2003. *Edafología. para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid, España. 929p.
- Qadir, M.; S. Shubert; D. Badia; B. Shama; A. Qureshi and G. Murtaza. 2007. Amelioration and nutrient management strategies for sodic and alkali soils. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2 (21): 1-13.
- Reganold, J.; P. Andrews; J. Reeve; L. Carpenter-Boggs; W. Schadt; J. Alldredge et al. 2010. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. *PLoS ONE*, 5 (9): 1-14.
- Reynolds W.; C. Drury; X. Yang; and C. Tan. 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma* 146:466–474
- Rowley, M.C.; S. Grand, and E. Verrecchia. 2018. Calcium-mediated stabilization of soil organic carbon. *Biochemistry* 137: 27-49.

- Sandoval, M.; J. Dörner; O. Seguel; J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción, Chillan, Chile. 80p.
- Santibáñez, F.; P. Santibáñez; C. Caroca y P. González. 2017. Atlas Agroclimático de Chile – Tomo III Regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador Bernardo O’Higgins y del Maule. Centro AGRIMED, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile, Santiago. Chile. 102 p.
- Schoeneberger, P.J.; D.A. Wysocki; E.C. Benham and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 300p.
- Seguel, O.; C. Parra; I. Homer; C. Kremer, y V. Beyá Marshall. 2019. Efecto del ácido húmico sobre las propiedades físicas de un Haplohumult cultivado con trigo. *Agro Sur* 47(3): 11-22.
- Seguel, O.; G. Arancibia; R. Callejas; A. Sandoval y A. Matamoros. 2018. Relación entre propiedades físicas del suelo y potencial productivo de frutillas. (cap. 1, pp. 13-30). En Callejas R. y V. Díaz. Cultivo de la frutilla con identidad regional: Una visión actualizada de la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins, Provincia de Cardenal Caro. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Serie Ciencias Agronómicas N° 30. 130p.
- Seguel, O.; I. Fuentes; J. Dörner y J. Cuevas. 2015. Propiedades físicas e hidráulicas de suelo y su relación con el movimiento de contaminantes. *Agro Sur* 43(1): 41-50.
- Seguel, O.; C. Baginsk; A. Contreras; J.I. Covarrubias; C. González, y L. Poblete, 2013. Physical properties of a fine textured haplocambid after three years of organic matter amendments management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 13(3): 690-705.
- Seguel O.; C. Baginsky; A. Contreras; J. Covarrubias; C. González y M. Sandoval. 2011 Changes in physical properties of a typichaplocambid by annual crop culture. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11 (1): 1 – 15.
- Seguel O. y I. Orellana. 2008. Relación entre las propiedades mecánicas de suelos y los procesos de génesis e intensidad de uso. *Agro Sur* 36(2): 82-92.
- Seguel, O.; V. García de Cortázar y M. Casanova. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas del suelo con adiciones de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica Chile* 63: 287-297.
- Schäffer, B.; P. Boivin and R. Schulin. 2010. Compressibility of repacked soil as affected by wetting and drying between uniaxial compression tests. *Soil Science Society of American Journal*, 74 (5): 1483-1492.
- Singh, R.; R. Sharma; S. Kumar; R. Gupta y R. Patil. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresource Technology*, 99: 8507–8511.
- So, H.B. and G.D. Cook 1993. The effect of slaking and dispersion on the hydraulic conductivity of clay soils. pp: 55-64. In: Poesen, J.W. and Nearing J.W. (eds). *Soil Surface Sealing and Crusting*. Catena Supplement 24. Cremlingen, Germany.
- Stock, O. and N. Downes. 2008. Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension range. *Soil and Tillage Research* 99: 191-201.

- Trükmann, K.; E. Reintam; J. Kuht and V. Rââts. 2006. Growing of Mugwort (*Artemisia vulgaris* L.), Canadian Thistle (*Cirsium arvense* L.) and Yellow Lupine (*Lupinus luteus* L.) on compacted soil. In: R. Horn, H. Fleige, S. Peth, X. Peng (eds). Soil management for Sustainability. Advances in Geoecology. 38. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany, pp: 362-369.
- Turnbull, L.; J. Wainwright and R. Brazier. 2010. Changes in hydrology and erosion over a transition from grassland to shrubland. *Hydrological Processes*, 24: 393-414.
- Warrick, A. 2002. Soil physics companion. Washington, USA: CRC Press. 389p.
- Woche, S.K.; M.O. Goebel; M.B. Kirkham; R. Horton; R.R. Van der Ploeg and J. Bachmann. 2005. Contact angle of soils as affected by depth, texture and land management. *European Journal of Soil Science*, 56: 239–251.
- Youlton C. 2007. Cuantificación de la erosión en camellones a favor de pendiente para el cultivo frutal de laderas en el valle de Quillota. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. 65p.
- Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal* 61: 1024-1030.
- Zhang X.; A. Zhu1.; W. Yang.; X. Xin.; J. Zhang. and S. Ge. 2018. Relationships between soil macroaggregation and humic carbon in a sandy loam soil following conservation tillage. *J Soils Sediments* 18:688–696

**ANEXO****Anexo 1. Escala de Shoenberger de clasificación de resistencia a la penetración.**

| <b>Clasificación de resistencia a la penetración</b> | <b>Valores de resistencia a la penetración (N)</b> |
|--|--|
| Extremadamente bajo                                  | $< 0.1$  |
| Muy bajo   | $0.1 \text{ a } < 1$                               |
| Bajo   | $1 \text{ a } < 10$                                |
| Moderado   | $10 \text{ a } < 20$                               |
| Firme  | $20 \text{ a } < 40$                               |
| Muy firme  | $40 \text{ a } < 80$                               |
| Extremadamente firme                                 | $\geq 80$  |