

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFFECTO RESIDUAL DE MEDIDAS DE CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA  
BAJO UNA LADERA CULTIVADA CON VID Y SUELO NATIVO, REGIÓN  
DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, CHILE**

**SEBASTIÁN JESÚS SILVA CONTRERAS**

**Santiago, Chile  
2014**

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFFECTO RESIDUAL DE MEDIDAS DE CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA  
BAJO UNA LADERA CULTIVADA CON VID Y SUELO NATIVO, REGIÓN  
DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, CHILE**

**RESIDUAL EFFECT OF WATER EROSION CONTROL SYSTEMS ON A  
HILLSIDE CULTIVATED WITH VINE AND NATIVE SOIL, REGIÓN DEL  
LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, CHILE**

**SEBASTIÁN JESÚS SILVA CONTRERAS**

**Santiago, Chile  
2014**

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

**EFFECTO RESIDUAL DE MEDIDAS DE CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA**  
**BAJO UNA LADERA CULTIVADA CON VID Y SUELO NATIVO, REGIÓN**  
**DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, CHILE**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Agrónomo

**SEBASTIÁN JESÚS SILVA CONTRERAS**

<b>PROFESORES GUÍAS</b>	<b>CALIFICACIONES</b>
Sr. Manuel Casanova P. Ingeniero Agrónomo, M. Sc.	6,0
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,6
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Sr. Osvaldo Salazar G Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,5
Sr. Luis Luchsinger L. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	7,0

**Santiago, Chile**

**2014**

*A mi Madre, mi Padre, mis hermanos y hermana*

*A mis amigos y recuerdos de ellos*

*A mi compañera de vida en estos momentos*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. En especial a mis profesores guías; a Manuel Casanova por las oportunidades que me dio y por soportarme como su memorante y a Oscar Seguel por compartir, más que un vínculo académico, cosas de la vida. A los funcionarios; don Hugo que me ayudo y me alegró días en el laboratorio y a don Gabriel en sus infinitos viajes en los que me acompañó.

A las personas de Viña Ventisquero por ayudar y colaborar con la investigación.

A mis queridos amigos de la universidad; Juan Vega que descansa en paz, Armin Burkart, Ignacio Álvarez, Ignacio Fuentes, Javier Cerda, Sebastián Monje, Leonardo Castillo, Javier Mendoza, Cristóbal Mendoza, Mauro Morales, José Rodrigo y muchos más. Gracias por escucharme, ayudarme y entenderme.

A todas las personas que me ayudaron desinteresadamente; mi familia, amigos del barrio, secretarías de la universidad, profesores y por último a mi compañera, Claudia, quien me motivo y me hizo y hace los días más felices.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>SUMMARY</b>	2
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b>	6
Ensayos de enmiendas de suelo	6
Sector viña	6
Sector sitio descepado	7
Evaluaciones	8
Diseño experimental y análisis estadístico	8
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	10
Caracterización del perfil de suelo	10
Caracterización de propiedades de suelos en los tratamientos	10
Escorrentía superficial y sedimentos	19
<b>CONCLUSIONES</b>	26
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	27
<b>ANEXOS</b>	32
Anexo I	32
Anexo II	34
Anexo III	35

## RESUMEN

Se evaluó el efecto residual de enmiendas orgánicas como controladores de la erosión hídrica en dos ensayos establecidos el año 2009 en una ladera de cerro, ubicada en el valle de Apalta, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile. Se implementó un ensayo en la entre hilera de una viña, contando con un testigo y tratamientos de emulsión orgánica y/o mulch; el otro ensayo se implementó en un sitio descegado con distintas concentraciones de una emulsión orgánica, las que se contrastaron con un sitio con bosque nativo. Se evaluó la escorrentía superficial y el arrastre de sedimentos generados durante las precipitaciones del año 2010, y en la primavera del mismo año se evaluaron propiedades físicas relevantes en el horizonte superficial de suelo.

Las cifras de escorrentía y sedimentos variaron dependiendo del ensayo y de la magnitud de la precipitación, siendo las primeras lluvias de la temporada las más erosivas. No hubo un efecto residual de los tratamientos en el segundo año, excepto en una precipitación caracterizada por una magnitud alta (112,5 mm), en la que en el sitio descegado se superaron los  $50 \text{ L m}^{-2}$  de escorrentía y los  $100 \text{ g m}^{-2}$  de sedimentos, aunque sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Hay cambios producidos a niveles físicos en el suelo, pero mayormente por efecto antrópico, destacando el incremento de la estabilidad de agregados en el sitio descegado, como consecuencia de la emulsión.

**Palabras clave:** Esguerrimiento superficial, sedimentos, enmiendas orgánicas, propiedades físicas de suelo.

## SUMMARY

The residual effect of organic amendments as a practice of soil erosion control in hillslope conditions (Apalta valley - Libertador Bernardo O'Higgins Region of Chile) was assessed. Twelve experimental unit (10 x 2 m, erosion plots) were established between vineyard (*Vitis vinifera*) rows, considering a control and organic additions to the soil, as liquid emulsion and/or mulch. Another fifteen experimental units (2 x 1 m, erosion plots) were established within a grubbing site, previously with native vegetation (sclerophyllous forest), but adding different organic emulsion doses. Relevant soil physical properties (aggregate stability, penetration resistance, hydraulic conductivity), cumulative surface runoff and yield of sediments during two seasons (autumn-winter) were evaluated.

Runoff and yield of sediments varied in each site with the characteristics of rainfall, but independently of the amount of rain and the intensity of rain events, erosion is more closely associated with the state of the soil surface and with the previous water content. After two years there was no residual effect of the treatments, except when a high magnitude precipitation (112.5 mm) occur and grubbing site shows excessive runoff ( $> 50 \text{ L m}^{-2}$ ) and sediment yields ( $> 100 \text{ g m}^{-2}$ ) respect to control. However, there are physical changes in the soils due to management practices, highlighting an increase in aggregate stability due to emulsion additions in grubbing sites.

**Keywords:** Surface runoff, sediment yields, organic amendments, soil physical properties



## INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema natural, dinámico y vivo, que juega un papel muy importante en los ecosistemas terrestres, desarrollando funciones desde el punto de vista económico y ambiental. A nivel de sistemas naturales o forestales se reconoce la importancia del rol del suelo, especialmente su calidad, en la productividad y en el adecuado mantenimiento del ecosistema (Schoenholtz *et al.*, 2000).

La degradación del suelo es uno de los principales problemas que enfrenta la sociedad. El uso de prácticas agrícolas intensivas, el uso de agua de baja calidad para el riego, las condiciones climáticas extremas, el abuso de herbicidas y plaguicidas, así como de fertilizantes químicos, han ayudado al abandono de áreas agrícolas debido a la degradación del suelo (Lal, 1994).

Los procesos de degradación de suelos tienen su origen en factores sociales, económicos y culturales, que se traducen en la sobreexplotación de los recursos naturales y en la aplicación de prácticas inadecuadas de manejo de éstos. La consecuencia de todo ello es la inhabilitación productiva de muchos suelos agrícolas y la degradación de suelos nativos debido a su transformación a usos agrícolas. Para el caso de Chile, que posee una superficie arable menor al 7% del territorio nacional (CIREN, 2010), la escasez de suelo agrícola ha obligado a hacer uso de superficies en condiciones de elevado gradiente de pendiente.

El riesgo de pérdida de suelos por erosión es uno de los principales condicionantes para el aprovechamiento de un territorio. El fenómeno se caracteriza por un conjunto de factores que determinan la degradación total o parcial del suelo, de la biomasa existente y, en última instancia, de la calidad de vida de quienes habitan y aprovechan el territorio.

Según Cerdá *et al.* (2009), la erosión de suelos es un proceso muy activo en la agricultura; en este proceso las partículas de suelo son removidas, transportadas y depositadas en otro lugar por la acción de los distintos agentes como agua, viento, hielo o gravedad. La antropogénesis o morfogénesis antrópica se refiere a la presencia del hombre, como agente de cambios en el paisaje, entre los que se incluyen manejos que hacen susceptibles las partículas de suelo a los agentes de transporte, generando reacciones de adaptación para establecer un nuevo equilibrio (Verstappen y Van Zuidam, 1991).

La erosión hídrica es una de las principales causas de degradación del suelo en todo el mundo. El término erosión hídrica comprende el desprendimiento de las partículas del volumen de suelo por impacto de las gotas de lluvia y el transporte por salpicadura y por flujo superficial. En un catastro mundial, se estimó que existían 562 millones de hectáreas (cerca del 38% del suelo del planeta) con niveles de erosión hídrica moderada o severa en el año 1990; más recientemente, se estima que un 40% de los suelos está en esta condición (Pimentel, 2009). En Chile, el 42% de los suelos de la zona entre la Región del Libertador

Bernardo O'Higgins y la Región del Maule se encuentran severa a muy severamente erosionados (CIREN, 2006), como resultado del uso de sistemas de labranza tradicional en zonas de pendiente, donde la distribución e intensidad de las lluvias concentradas en los meses de invierno son los principales agentes erosivos.

Análisis climatológicos a nivel mundial, revelan que hay una tendencia a incrementar la intensidad de las lluvias, lo que resulta en una mayor pérdida potencial de suelo (Pruski y Nearing, 2002; Martínez *et al.*, 2010); sin embargo, en Chile central la intensidad de precipitaciones disminuiría (DGF, 2006)

Las medidas preventivas que se pueden aplicar a la erosión hídrica son, entre otras, proporcionar a las partículas del suelo una resistencia equivalente a la energía de arrastre, reducir o eliminar la escorrentía superficial por medio de un aumento de la infiltración y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, controlar la velocidad del agua de escorrentía dentro de los límites no erosivos y conseguir un drenaje eficaz del exceso de agua (Lal, 1994).

El contenido de materia orgánica del suelo contribuye a la formación y estabilización de los sus agregados, aumentando la cohesión de los suelos sueltos y también la permeabilidad de los arcillosos (Lal y Shukla, 2004). La aplicación periódica de estiércol, compost de restos vegetales y otros tipos de enmiendas orgánicas, son los métodos más usuales para incrementar la materia orgánica en el suelo (Hidalgo e Hidalgo, 2000). La materia orgánica protege a los agregados del suelo del humedecimiento acelerado que sucede en un evento de lluvia (Chenu *et al.*, 2000), previniendo el colapso (*slaking*) de éstos; en caso contrario, se obstruyen los poros con las partículas dispersas, disminuye la infiltración y, en consecuencia, incrementa el escurrimiento superficial (Texeira *et al.*, 1999).

Como alternativa al uso de enmiendas sólidas, que requieren ser aplicadas en altos volúmenes dificultando su uso en laderas, se ha planteado el uso de emulsiones orgánicas, que buscan mejorar la estabilidad de los agregados, aumentando su resistencia a la desintegración por humedecimiento. De acuerdo a Cortés, (2011) se requieren bajos volúmenes para obtener una respuesta positiva, aplicándose frecuentemente en la superficie del suelo para mejorar la estabilidad de agregados (Liu *et al.*, 2009; Quilty y Cattle, 2011), con numerosas experiencias en Chile en el control de la erosión y prevención de la degradación de propiedades físicas de suelo (Villaruel, 2010; Traub, 2011; Cortés, 2011; Marín, 2011; Fernández, 2013; Muñoz, 2013; Kirberg 2014).

A lo antes mencionado se suma la importancia de conservar los suelos en sistemas de producción en laderas y sobre todo en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Ésta presenta una superficie con erosión severa a muy severa del orden de 90.350 ha (CIREN, 2006) y que ha desarrollado una fuerte actividad vitivinícola, incorporando nueva superficie agrícola en posición de ladera. Reciente información (Bonilla y Vidal, 2011; Bonilla y Jonhson, 2012), da cuenta de la erodabilidad de los suelos y la erosividad de las lluvias en esta zona y gran parte de Chile. Así, reducir las tasas de erosión en estos sitios mediante un

mejoramiento de las propiedades físicas de suelo con emulsiones, toma mayor relevancia para una producción sustentable a través del tiempo.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar la efectividad y persistencia de distintos manejos orgánicos (mulch y/o emulsión) en el control de la erosión hídrica de suelos en laderas cultivadas con vid y en suelos bajo bosque nativo (esclerófilos).

Como objetivos específicos se plantearon:

- Evaluar la escorrentía superficial y los sedimentos producidos por las precipitaciones naturales, en suelos tratados con mulch y/o emulsión orgánica.
- Evaluar el impacto que el despejado del bosque esclerófilo tiene sobre las propiedades físicas del suelo y la generación de escorrentía y sedimentos.

## MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó en el valle de Apalta (34° 36' S y 71° 15' W) a 160 km al sur-oeste de Santiago, Comuna de Santa Cruz, valle de Colchagua, en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, durante el año 2010. Desde el punto de vista geográfico, Apalta es un valle cerrado, de forma semicircular, limitado por el río Tinguiririca y estribaciones de la Cordillera de la Costa. Esta zona se caracteriza por sus cerros escarpados, con alturas en los lugares cultivados que varían de 200 a 500 msnm. El sitio de estudio pertenece a la Viña Ventisquero, dentro del cual el año 2009 fueron establecidos dos ensayos en la misma ladera, uno de ellos con cultivo de vid vinífera (Traub, 2011) y otro en un sitio de bosque esclerófilo despejado (Villarroel, 2010).

El clima en el valle de Apalta se caracteriza por pertenecer a la zona mediterránea, con temperaturas medias invernales que varían entre 2 y 15°C, mientras que en verano varían entre 12 y 31°C. Las precipitaciones medias anuales alcanzan los 750 mm (CIREN 2006), concentradas entre los meses de mayo a septiembre.

El suelo, de origen andesítico y de meteorización avanzada, se clasifica como un Alfisol (Soil Survey Staff, 2014). Cartográficamente pertenece a la Asociación La Lajuela (CIREN, 1996), la cual presenta clases texturales que varían de franco arcillo arenosa en superficie a arcillosa en profundidad, bloques subangulares superficiales y una condición maciza en profundidad. El cultivo de la vid (*Vitis vinifera*), conducido en espaldera y un marco de plantación de 2 x 1 m, se orienta en el máximo sentido de la pendiente, en posición de ladera de cerro con un gradiente de pendiente de 36%. Inmediatamente sobre este sitio se encuentra un sector despejado con remanentes de bosque esclerófilo no intervenido, con un gradiente de pendiente de 40% aproximadamente.

### Ensayos de enmiendas de suelo

#### Sector viña

En la zona más elevada de las hileras, en la entre hilera de éstas, se establecieron 12 parcelas de erosión (año 2009), de 10 m de largo y 2 m de ancho, delimitadas en todos sus lados por láminas de hojalata de 15 cm de altura (5 cm bajo la superficie, 10 cm sobre la superficie del suelo). Las parcelas se encuentran establecidas en un sector con gradiente homogénea.

La lámina de la zona inferior de la parcela posee 9 salidas de 6 cm de ancho por 10 cm de alto distanciadas cada 9 cm, de modo tal que las salidas abarcan toda el área de escurrimiento de la parcela. De estas 9 salidas, 3 son conducidas por canaletas de latón

hacia estanques plásticos recolectores de sedimentos (200 L), determinando una recolección de escorrentía y sedimentos correspondientes a un tercio de lo realmente generado.

Los tratamientos (Cuadro 1), con tres repeticiones, consideran el uso de una emulsión orgánica (EO, Aqua Power®) y/o la aplicación de un mulch (restos de podas, hojas de vid y rastrojo de maíz, mezclados con aserrín), que corresponde a una práctica utilizada habitualmente en la Viña.

**Cuadro 1.** Tratamientos de control de erosión realizados en el ensayo del sitio con viña.

Tratamientos	
TT	Testigo
TE	Emulsión Orgánica (EO)
TM	Mulch
TM+E	Mulch + EO

En los tratamientos con EO se usó la dosis comercial recomendada por el fabricante (10 L ha<sup>-1</sup>), en una concentración de 0,8 mL L<sup>-1</sup> de agua, aplicada al comienzo del ensayo (en septiembre de 2009), con una bomba de espalda. El mulch se aplicó homogéneamente en toda la superficie de la parcela, en una dosis de 20 Mg ha<sup>-1</sup> (base materia seca), asegurándose generar una cobertura mínima del 80%; finalmente, el tratamiento TM+E consideró las dosis antes detalladas, aplicando primero la emulsión e inmediatamente encima el mulch de restos orgánicos.

### Sector sitio descegado

En el caso del sitio con vegetación nativa (bosque esclerófilo), éste fue descegado en marzo del 2009, con destronque de árboles, remoción de suelo y roce con fuego, dejando algunos sectores inalterados. En base a esto, en agosto del 2009 se definieron 15 unidades experimentales (parcelas de 2 m de largo y 1 m de ancho) distribuidas completamente al azar y delimitadas por un latón de 15 cm de ancho (5 cm enterrados y 10 cm sobre la superficie del suelo). Solo una vía de evacuación en su parte inferior desemboca en un estanque recolector con capacidad de 100 L, estableciéndose los tratamientos de dosis de emulsión orgánica (EO) detallados en el Cuadro 2, también con tres repeticiones. El T0 se localiza dentro de un claro del bosque esclerófilo próximo al lugar descegado.

**Cuadro 2.** Tratamientos de control de erosión realizados en el ensayo del sitio descegado.

Tratamientos	
T0	Suelo bajo bosque esclerófilo, sin EO
T1	Suelo descegado sin EO (testigo)
T2	Suelo descegado y 5 L ha <sup>-1</sup> de EO
T3	Suelo descegado y 10 L ha <sup>-1</sup> de EO
T4	Suelo descegado y 20 L ha <sup>-1</sup> de EO

## Evaluaciones

Para ambos ensayos existe una caracterización previa del suelo (Traub, 2011; Villarroel, 2010), continuando este trabajo determinando el volumen de escorrentía total y el contenido de sedimentos. Al igual que en las evaluaciones realizadas en la primera temporada (2009) por dichos autores se tomaron 3 alícuotas desde los recipientes y se sometieron a un secado a 70°C durante 2 a 3 días (Da Veiga y Do Prado, 1993), para estimar por gravimetría la masa de partículas desprendidas por erosión,.

Se evaluaron en forma complementaria propiedades del suelo en la primavera del año 2010. tales como la densidad aparente por el método del cilindro y terrón, la densidad real por el método del picnómetro y curva característica del suelo mediante olla y plato de presión (Sandoval *et al.*, 2012). La velocidad infiltración y la conductividad hidráulica se determinaron con con cilindro infiltrómetro (Gurovich, 1985), el contenido de materia orgánica mediante calcinación (Sadzawka *et al.*, 2006), la estabilidad de macroagregados mediante la variación del diámetro medio de agregados (Hartge y Horn, 2009) y la resistencia a la penetración del horizonte superficial con el penetrometro (Koolen y Kuipers, 1983). La toma de muestras de suelo se realizó de 0 a 10 cm en cada unidad experimental en forma aleatoria dentro de ella, de tal modo de relacionar estas propiedades con la escorrentía y los sedimentos producidos al final de la temporada de lluvias.

Previamente Traub (2011) y Villarroel (2010) determinaron para los mismos sitios la estabilidad de microagregados por el método de la relación de dispersión (RD), siguiendo la metodología desarrollada por Seguel *et al.* (2003). En la presente memoria se decidió cambiar el método de macroagregados (Hartge y Horn, 2009) por estar más directamente relacionado con la materia orgánica lábil.

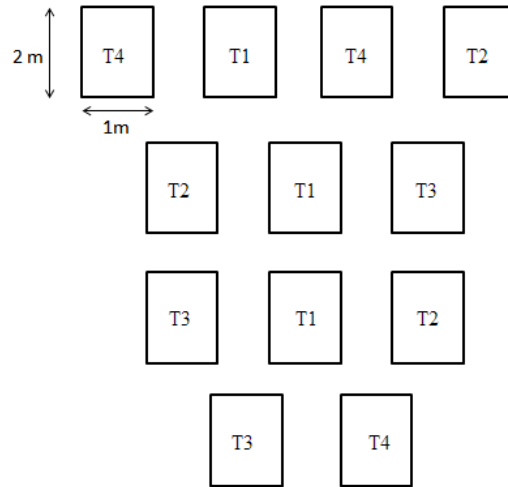
## Diseño experimental y análisis estadístico

La unidad experimental en los suelos cultivados con vid fue una parcela de 2 m de ancho y 10 m de largo, con tratamientos dispuestos en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones cada uno en la cabecera de hileras de plantación, dejando una hilera libre entre ellas (Figura 1).

T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
M	E	M	T	M	T	M	M	M	E	T	E	
+				+				+				
E				E				E				

**Figura 1.** Distribución de las parcelas en las entre hileras de la viña, con tratamientos según Cuadro 2.

La unidad experimental en el sitio descegado correspondió a una parcela de 1 m de ancho y 2 m de largo, definiéndose un total de 15 de ellas (5 tratamientos con tres repeticiones), distribuidas al azar (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución de las parcelas en los suelos descegados y con tratamientos según Cuadro 2, sin incluir las tres parcelas no descegadas (T0), a menos de 50 m de distancia.

Se determinaron los parámetros estadísticos de caracterización básicos (media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación). Los resultados de propiedades físicas, escorrentía y producción de sedimentos fueron sometidos a un análisis de varianza, para detectar posibles diferencias significativas entre tratamientos, aplicando la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) cuando fue necesario. También se realizaron análisis de correlación para evaluar la dependencia entre las propiedades de suelo. Finalmente se realizó una comparación entre temporadas para un mismo tratamiento, tomando la información recopilada por Traub (2011) y Villarroel (2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del perfil del suelo

Los suelos fueron descritos morfológicamente en estudios anteriores; el suelo nativo y el suelo de viña se presentan en el Anexo I (Villarroel, 2010; Traub, 2011). Los perfiles no presentan muchas diferencias, a excepción del nivel de intervención en el horizonte superficial, que pasa de  $A_1$  en el sitio nativo a un  $A_p$  en el sector de la viña. Además, por procesos de erosión geológica, era posible esperar en la ladera media (sector recién descepado) una menor profundidad efectiva de suelo que en la parte de ladera baja, donde se encuentra la viña. No obstante, resalta la presencia de horizontes argílicos y una mayor profundidad efectiva en el sector con bosque nativo, a diferencia de los suelos bajo viñas, que limitan su desarrollo a los 60 cm de profundidad.

La presencia de grava en todo el perfil, particularmente en el sector de viña, se explica por la gran resistencia que tiene el material parental a la meteorización. Si bien la descripción efectuada por CIREN (1996) indica que éste posee un substrato andesítico metamórfico, en el sitio de estudio el suelo se origina de la meteorización del granito, material originador de gran parte de los suelos ubicados en la Cordillera de la Costa entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (Casanova *et al.*, 2013).

### Caracterización de propiedades de suelos en los tratamientos

En el Anexo II se presentan los valores obtenidos de propiedades físicas generales del suelo en el primer año de ensayo (Villarroel, 2010; Traub, 2011) y el Cuadro 3 para el segundo año post aplicación de los tratamientos.

Los valores de densidad aparente ( $D_a$ ), por terrón y por cilindro, no presentaron diferencias significativas en la viña en ninguno de los años medidos ni entre ellos, debido a que las enmiendas al ser aplicadas en superficie, no son incorporadas dentro del perfil, no interfiriendo en esta propiedad a corto plazo. Se destaca la homogenización espacial, con una menor variabilidad de los resultados de  $D_a$  (menor CV) al cabo de dos años de realizadas las intervenciones. Es posible que a través de aplicaciones continuas de acondicionadores en el largo plazo se reduzca la  $D_a$  de los suelos y también aumente el contenido de materia orgánica, en particular en los tratamientos con mulch.



**Cuadro 3.** Valores de densidad en los suelos descepados y en los suelos de viña.

Tratamiento	Da <sub>c</sub>	Da <sub>t</sub>	Dr
	----- (Mg m <sup>-3</sup> ) -----		
	Suelo viña		
TT	1,36±0,01(0,8)	1,70±0,05(3,8)	2,59±0,04(1,6)
TE	1,43±0,04(2,8)	1,78±0,04(2,7)	2,51±0,04(1,4)
TM	1,43±0,03(1,8)	1,76±0,06(3,5)	2,57±0,07(2,6)
TM+E	1,42±0,09(6,0)	1,70±0,08(6,3)	2,57±0,04(1,4)
	Suelos descepados		
T0	1,22±0,10(8,1)	1,66±0,06(3,3)	2,53±0,05(1,8)
T1	1,30±0,09(6,9)	1,62±0,10(5,9)	2,49±0,03(1,2)
T2	1,33±0,10(7,5)	1,65±0,07(4,4)	2,49±0,03(1,2)
T3	1,34±0,07(5,3)	1,57±0,14(9,2)	2,46±0,09(3,7)
T4	1,22±0,06(4,6)	1,60±0,10(6,6)	2,51±0,03(1,0)

Da<sub>c</sub>: Densidad aparente por el método del cilindro, Da<sub>t</sub>: Densidad aparente por el método del terrón, Dr: Densidad real por picnómetro. No hubo diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ). Promedio  $\pm$  desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

El primer año en el suelo bajo bosque nativo, la Da presentó diferencias significativas en ambos métodos de medición (Anexo II), destacando que la remoción de suelos por destronque y la adición del acondicionador orgánico disminuyen la Da con respecto al sitio bajo bosque nativo sin aplicaciones de enmiendas (T0). Sin embargo, al cabo de dos años de iniciado el ensayo la Da se homogeniza, al no mostrar diferencias estadísticamente significativas entre los suelos. Esto puede deberse a una estabilización de las fracciones más lábiles de la materia orgánica, que tras el primer año sufren ya sea una oxidación o una humificación, favoreciendo la liberación de gases de efecto invernadero o la acumulación de compuestos más recalcitrantes de materia orgánica de mayor densidad (Kay y Angers, 2002); esto además favorece la consolidación del suelo, como un reacomodo de partículas con pérdida de porosidad (Horn *et al.*, 2007). Incluso los valores de Da por el cilindro fueron mayores en relación al testigo (T0), lo que se podría atribuir a una oclusión de poros por materia orgánica (Ellies *et al.*, 1997). Por otra parte, en ambos ensayos las densidades reales no tuvieron diferencias significativas y se presentaron dentro del rango de un suelo mineral (Flint y Flint, 2002).

Los valores de granulometría (Anexo II) fueron homogéneos y se encontraron en un rango estrecho (19 a 22% de arcilla y 55 a 58% de arena), con una clase textural franco arcillo arenosa en los suelos de la viña (Traub, 2011). En el ensayo de descegado (14 a 16% de arcilla y 58 a 60% de arena) en cambio, se observa una clase textural franco arenosa (Villaruel, 2010). Debido a la posición de ladera de los sitios bajo estudio, es posible observar una tendencia en los suelos descepados a poseer menos arcilla que los suelos en la viña ya que estas partículas, al poseer menor masa y tamaño, son susceptibles al transporte en condiciones de desagregación (Lal y Shukla, 2004). De esta forma, el descegado reciente, al dejar la superficie de suelo desnuda, favorece la acción de los agentes erosivos. La heterogeneidad de tamaño de partículas evaluada entre sitios vía granulometría da

cuenta del escaso grado de selección y manifiesta una baja energía en su transporte, reflejando principalmente el origen coluvial de los suelos (Tarbuck y Lutgens, 2005).

En Anexo III se incluyen los contenidos de materia orgánica (MO) y estabilidad de microagregados al inicio de los ensayos. Según algunos autores (Orellana y Pilatti, 1994; Wilson *et al.*, 2000; Cerana *et al.*, 2006), el contenido de MO se correlaciona directamente con la estabilidad de agregados, sin embargo en este estudio esto no se pudo corroborar, debido al grado de intervención en las parcelas. En el sector de la viña, la mayor estabilidad la presentó el tratamiento con mulch y emulsionante (TM+E), mientras que el testigo presentó la menor estabilidad (mayor RD) para las primeras evaluaciones.

Por otra parte, resalta en los suelos descepados un gradiente de MO de T1 a T3, donde al aumentar la dosis de emulsión aumenta el nivel de MO (Anexo III), con el suelo bajo bosque nativo presentando un valor intermedio. Se corrobora de esta forma que el emulsionante favorecería una reactivación biológica que descompone y estabiliza los residuos orgánicos dejados post-descepe (Piccolo y Mbagwu, 1999).

En las parcelas con suelo descegado, hubo una correlación directa y positiva entre el contenido de MO y la razón de dispersión, lo que implica que mientras mayor fue el contenido de MO, menor fue la estabilidad de microagregados. Este comportamiento, si bien puede considerarse contrario a lo esperado ha sido advertido por Hallet (2007), señalándose que los grupos orgánicos aportados por la enmienda son hidrofílicos y generarían un aumento en la velocidad de humectación del agregado, lo que provoca el colapso de éste.

La MO actúa revistiendo las partículas de suelo, de tal forma que su presencia aumenta el ángulo de contacto entre las moléculas de agua y los sólidos de suelo, lo que genera una menor velocidad de humedecimiento. En suelos con bajos contenidos de MO, la adición de la enmienda puede inducir una menor velocidad de mojamiento de los agregados, impidiendo la formación de burbujas de aire que sometidas a la presión hidráulica promueven la desagregación por el efecto del humedecimiento violento (Le Bissonnais y Arrouays, 1997). Por otra parte, elevados contenidos de MO producen fenómenos de repelencia al agua, que impide la infiltración y favorece la escorrentía (Hallet, 2008), generando una fuerte erosión; particularmente esto ocurriría en suelos en posición de ladera con poco desarrollo de estructura, que sufren una fuerte dinámica de ciclos de secado y humedecimiento anuales.

Es interesante contrastar el comportamiento que se da entre los suelos descepados y aquellos bajo viña (Anexo III), donde la MO produce efectos inversos sobre la estabilidad de los microagregados, dependiendo del grado de intervención y años de establecimiento. Así, un suelo alterado por descepe, mediante la aplicación de emulsiones, puede ser más susceptible a la erosión, mientras que la MO en el mismo suelo pero tras varios años de estabilización (sector viña), promueve una mayor estabilidad estructural (microagregados).

En el Cuadro 4 se incluyen los valores de estabilidad de macroagregados determinadas en este trabajo al cabo de dos años de aplicadas las enmiendas, evaluada con la variación del diámetro medio (VDMA), parámetro que se relaciona también de modo inverso a la estabilidad de agregados y que se asocia a las fracciones más lábiles de MO.

**Cuadro 4.** Contenidos medios de materia orgánica y variación del diámetro medio de agregados (VDMA) a dos años (2011) de establecimiento del ensayo.

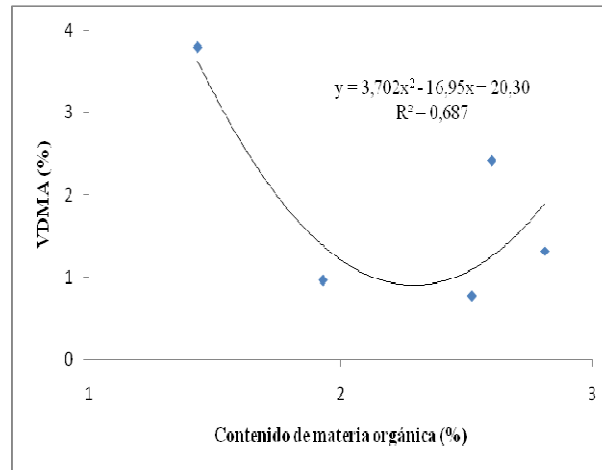
Tratamiento	Materia orgánica (%)	Estabilidad de macroagregados (VDMA) (mm)
<b>Suelos viña</b>		
TT	2,24 ±0,20 (8,9)	5,65 ±1,80 (31,9)
TE	2,03 ±0,41 (20,4)	3,47 ±1,14 (32,9)
TM	1,78 ±0,52 (30,1)	4,41 ±4,08 (92,4)
TM+E	1,96 ±0,45 (22,8)	5,18 ±0,23 (4,5)
<b>Suelo descegado</b>		
T0	1,43 ±0,47 (32,8)	3,79 ±1,13 (29,9) a <sup>z</sup>
T1	2,60 ±1,16 (44,7)	2,41 ±1,39 (57,9) ab
T2	2,52 ±0,75 (29,9)	0,77 ±0,39 (50,9) b
T3	1,93 ±0,99 (51,6)	0,96 ±0,53 (55,9) b
T4	2,81 ±0,34 (12,1)	1,32 ±0,90 (68,5) b

<sup>z</sup> Letras minúsculas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Ver cuadros 1 y 2 para los tratamientos. Promedio ± desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

Resaltan los menores contenidos de MO respecto al primer año de control, especialmente en el sitio descegado, lo que da cuenta de la oxidación que sufrieron los compuestos orgánicos tras su incorporación al suelo. En los suelos bajo viñedo, los contenidos de MO fueron bastante homogéneos, presentando el testigo los mayores valores, aunque sin diferencias estadísticas significativas. En el sitio descegado, si bien tampoco hubo dichas diferencias estadísticas, el menor contenido de MO se observó en los suelos bajo vegetación nativa (T0), mientras que los mayores contenidos se asocian a la mayor dosis de emulsión. El bajo contenido de MO en T0 se debe a que los sistemas naturales no intervenidos presentan una alta estratificación de la MO, concentrada como hojarasca superficial (Nangarí, 2012). En el presente estudio se removió la hojarasca superficial para tomar la muestra del suelo mineral, criterio distinto respecto al muestreo del primer año (Anexo III).

La estabilidad de los macroagregados (VD) presentó homogeneidad en los suelos bajo la viña (Cuadro 4), mientras que en los suelos descegados manifestó diferencias estadísticas significativas entre los suelos bajo bosque nativo y aquellos descegados con adición de emulsión, siendo mayor la estabilidad a dosis intermedias de aplicación de la enmienda (T2 y T3). La estabilidad de macroagregados se relacionó de manera cuadrática directa con los contenidos de MO (Figura 3), con los valores más bajos de VDMA a niveles intermedios de MO. Similares resultados observan Liu *et al.* (2014), pero en la presente investigación,

contenidos de MO altos promovieron una baja estabilidad estructural (mayores valores de VDMA) probablemente debido a su acción hidrofóbica en estos suelos de texturas medias a gruesas (Urbanek *et al.*, 2007).



**Figura 3.** Relación entre la estabilidad de macroagregados (VDMA) y el contenido de materia orgánica (MO) promedio en el sitio descechado con un nivel de confianza del 5%.

El Cuadro 5 presenta la distribución de tamaño de poros del primer horizonte en los sitios de estudio. Al respecto, FAO (1985) destaca que la mayoría de los cultivos tradicionales requiere de una porosidad de drenaje mayor al 10%, debido a la necesidad que poseen en relación al intercambio de agua y aire hacia las raíces.

En este caso, los distintos tratamientos no generaron diferencias estadísticas significativas sobre la distribución de poros. Se observa además que los cultivos no debiesen presentar dificultades asociadas a la infiltración de agua y renovación de aire del suelo, pues los poros de drenaje (PDL+PDR) concentran sobre un 20% en su distribución.

**Cuadro 5.** Caracterización del sistema poroso del horizonte superficial en los suelos de la viña y descegado.

Tratam.	PT	PDR	PDL	PAU
----- (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) -----				
Suelos viña				
TT	0,49±0,04 (7,9)	0,16±0,02 (17,1)	0,07±0,01 (11,8)	0,15±0,03 (25,1)
TE	0,52±0,03 (6,5)	0,16±0,01 (9,5)	0,07±0,01 (10,0)	0,17±0,03 (18,3)
TM	0,50±0,04 (9,1)	0,16±0,04 (29,7)	0,07±0,01 (15,1)	0,15±0,04 (26,4)
TM+E	0,51±0,08 (15,4)	0,18±0,02 (14,7)	0,07±0,01 (16,4)	0,16±0,05 (31,9)
Suelo descegado				
T0	0,52±0,09 (18,4)	0,16±0,04 (27,5) b *	0,07±0,01 (25,5)	0,18±0,05 (28,7)
T1	0,54±0,09 (17,2)	0,19±0,03 (20,4)ab	0,08±0,05 (61,9)	0,19±0,05 (26,0)
T2	0,52±0,02 (4,5)	0,18±0,04 (25,6)ab	0,08±0,03 (33,6)	0,16±0,02 (13,8)
T3	0,56±0,04 (7,3)	0,22±0,04 (20,5)a	0,07±0,01 (22,5)	0,17±0,02 (13,9)
T4	0,53±0,06 (11,9)	0,19±0,03 (17,2)ab	0,06±0,01 (7,8)	0,17±0,07 (42,4)

PT, porosidad total; PDR, poros de drenaje rápido (>50 µm); PDL, poros de drenaje lento (10 a 50 µm); PAU, poros de agua útil (0,2 a 10 µm). (\*) Letras minúsculas en una misma columna indican diferencias significativas (P<0,05). Ver Cuadros 1 y 2 para los tratamientos. Promedio ± desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

Por otra parte, para la porosidad de drenaje rápido (PDR), los suelos descegados presentaron diferencias estadísticas significativas entre los distintos tratamientos. De acuerdo a Kay y Angers (2002) los poros mayores a 30 µm se asocian al desarrollo de estructura de los suelos y tienen un gran impacto en el flujo de solutos y agua en él; sin embargo, no se observó una relación clara entre la MO y el desarrollo de poros gruesos. Por el contrario, ésta incrementa principalmente el desarrollo de poros entre 0,1 y 30 µm, relacionados en su mayoría a poros de retención de agua útil. En consecuencia, la menor cantidad de PDR en el sitio nativo puede deberse a una mayor estabilidad del sistema estructural, donde la MO humificada rellena los poros gruesos (Ellies *et al.*, 1997).

Es de esperar que con el paso del tiempo, en caso que la ladera no sea nuevamente intervenida, la recuperación del suelo se manifieste en una disminución de los PDR a medida que el suelo se reestructura, lo cual debiese manifestarse en un reordenamiento de la distribución de poros a un arreglo semejante al observado en los suelos bajo flora nativa o al que se presenta en los suelos bajo viñedo.

Las propiedades hidráulicas bajo saturación de los distintos suelos en la viña y en los suelos nativos se presentan en los Cuadro 6. Según Casanova *et al.* (2008) los valores obtenidos consideran una velocidad de infiltración (VI) muy rápida (mayor a 20 cm h<sup>-1</sup>) para los suelos con viña y los suelos descegados.

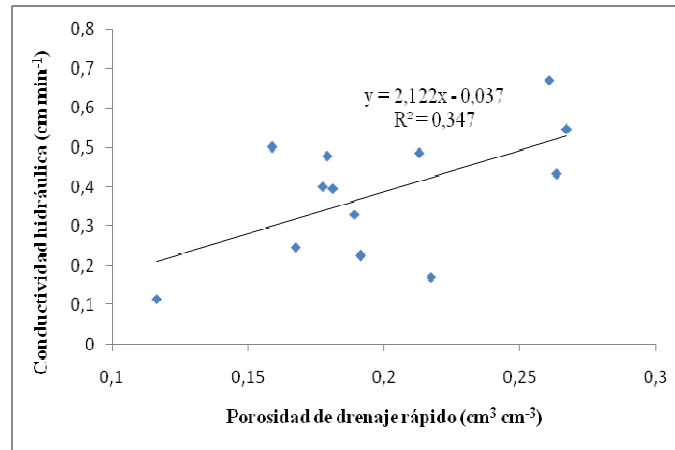
**Cuadro 6.** Valores medios de conductividad hidráulica saturada y velocidad de infiltración media en suelo con viña y descepeado.

Tratamiento	Conductividad saturada ----- (cm min <sup>-1</sup> ) -----	Velocidad de infiltración
Suelos viña		
TT	0,49 ±0,11 (23,17) a <sup>z</sup>	1,973 ±0,17 (8,81) a <sup>z</sup>
TE	0,41 ±0,05 (14,13) ab	1,831 ±0,05 (2,84) a
TM	0,31 ±0,03 (12,65) b	1,816 ±0,10 (6,07) a
TM+E	0,35 ±0,03 (10,83) ab	1,397 ±0,02 (1,90) b
Suelos descepeados		
T0	0,25 ±0,20 (78,26)	0,585 ±0,28 (49,38)
T1	0,47 ±0,07 (16,05)	1,005 ±0,10 (10,26)
T2	0,41 ±0,22 (54,20)	1,157 ±0,49 (42,85)
T3	0,38 ±0,13 (36,23)	0,913 ±0,10 (11,36)
T4	0,36 ±0,26 (72,64)	0,911 ±0,68 (74,98)

<sup>z</sup> Letras minúsculas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Ver cuadros 1 y 2 para los tratamientos. Promedio ± desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

En el sitio bajo viña se generaron diferencias significativas tanto en conductividad hidráulica (K) como en velocidad de infiltración (VI). Los menores valores de K y VI se observan en los suelos tratados con mulch y emulsión. En promedio no reflejan diferencias significativas en los suelos nativos, pero sí existe una menor K en los suelos bajo bosque (T0) sin descepe. Esta práctica provocó una desestructuración mecánica de los suelos, lo que pudo haber dejado una mayor cantidad de poros funcionales para flujo de agua, ya que la porosidad total no muestra diferencias estadísticas significativas (Cuadro 5).

Como la K es una propiedad integradora de flujo, que depende de la calidad estructural del suelo, fue posible encontrar una dependencia de ésta con la PDR (Figura 4). Como era de esperar, la mayor K se expresa cuando la PDR es mayor, siendo ambas propiedades directamente proporcionales.

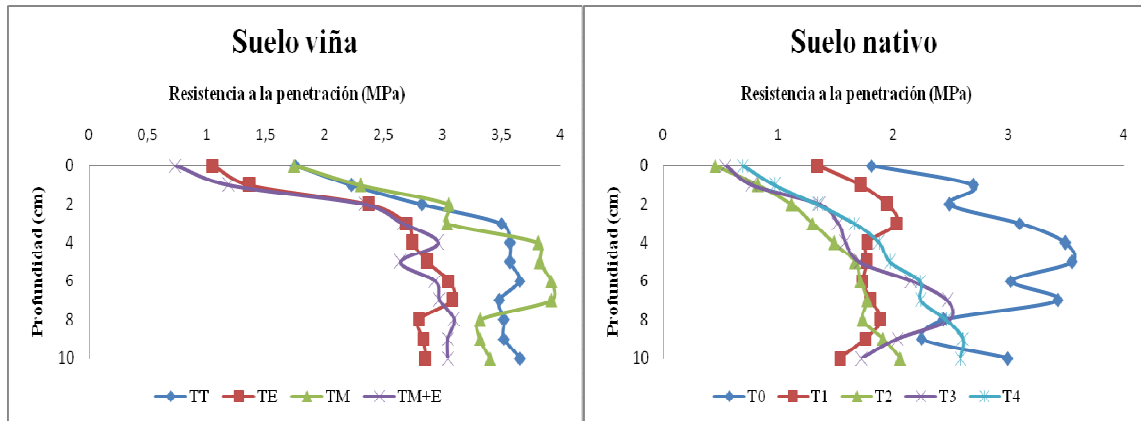


**Figura 4.** Dependencia de la conductividad hidráulica saturada con la porosidad de drenaje rápido en el suelo descepaado (significativo con un nivel de confianza del 5%).

Trabajos como el de Dornör y Dec (2007) reflejan resultados similares, estableciendo que la K puede caracterizar la funcionabilidad de los poros del suelo. Al analizar la porosidad de ambos sectores estudiados, no existen muchas diferencias entre ellos; sin embargo, al analizar la K se encuentran algunas diferencias, al igual que en la VI. Esto es muy importante a la hora de cuantificar el escurrimiento superficial, ya que la entrada de agua y retención de ésta en el suelo, factores ligados a la porosidad, juegan un rol muy importante en los procesos erosivos (Lado *et al.*, 2004).

La resistencia a la penetración (RP) se utiliza como índice de compactación del suelo. La compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo aumentando la RP, la Da y reduciendo la porosidad. La compactación además reduce la VI, restringe el drenaje, reduce la disponibilidad de agua y el abastecimiento de gases, causando en último término un menor desarrollo de raíces y pérdidas de producción (Hamza y Anderson, 2005). Por otra parte, existe una tendencia en los suelos menos intervenidos (testigos) a presentar una mayor RP debido a que no han sido removidos; al contrario, el grado de intervención antrópico se ve reflejado en los menores valores de resistencia a nivel superficial.

Como se observa en la Figura 5, existe una tendencia a aumentar los valores de RP en la superficie del suelo para luego llegar a una condición de estabilidad.



**Figura 5.** Evaluaciones de resistencia a la penetración en los primeros 10 cm de suelo, 24 h posteriores a una lluvia, tanto en el sitio bajo viña (izquierda) como despejado (derecha), incluido el sector de bosque nativo (T0).

En el suelo con viña (Figura 5, izquierda) todos los tratamientos superan los 2 MPa bajo los 2 cm en el perfil, considerado un valor muy alto (Casanova *et al.*, 2008) y crítico para el crecimiento óptimo de la raíces (Silva *et al.*, 2000). Esta condición es resultado de la compactación generada por el tráfico de maquinaria agrícola, como lo demostró Ellies (1999) al establecer que el aumento de RP en el suelo es proporcional al número de pasadas con máquina.

En el sitio despejado los valores de RP fueron menores, aunque el sitio con bosque esclerófilo escapó a esta tendencia, presentando altos valores que caracterizan a sistemas boscosos con abundante presencia de raíces.



### Escorrentía superficial y sedimentos

La cantidad de sedimentos y escorrentía generadas por las lluvias naturales en los dos años de investigación en ambos ensayos se presentan en los cuadros 7 y 8.

**Cuadro 7.** Valores de sedimentos y escorrentía para los eventos naturales de precipitación ocurridas en los años 2009 (Traub, 2011) y 2010 en el sector viñas.

Tratamiento	Sedimentos (g m <sup>-2</sup> )	Escorrentía (L m <sup>-2</sup> )
Precipitación 69 mm (2009)		
TT	18,43 ±2,69 (14,6)	3,47 ±14,69 (21,2)a <sup>z</sup>
TE	15,40 ±5,15 (33,4)	2,89 ± 9,62 (16,6)ab
TM	9,83 ±5,91 (60,2)	1,50 ± 1,88 ( 6,2) c
TE+M	11,77 ±3,98 (33,8)	2,01 ± 2,46 ( 5,9) bc
Precipitación 10,0 mm (2009)		
TT	1,78 ±1,89 (106,3)	0,11 ±1,99 (93,3)
TE	0,72 ±0,66 ( 91,1)	1,52 ±1,23 (80,6)
TM	0,27 ±0,15 ( 57,7)	0,06 ±0,14 (57,7)
TE+M	0,36 ±0,31 ( 85,9)	0,07 ±1,34 (97,4)
Precipitación 29,0 mm (2009)		
TT	2,27 ±0,59 (25,9)a <sup>*</sup>	0,44 ±7,40 (83,5)
TE	1,37 ±0,22 (16,3)ab	0,21 ±1,99 (31,9)
TM	2,12 ±0,29 (13,7)a	0,31 ±0,93 (27,7)
TE+M	0,94 ±0,39 (41,1) b	0,17 ±1,30 (31,1)
Precipitación 112,5 mm (2010)		
TT	7,08 ±7,62 (99,9)	7,09 ±3,20 (45,1)
TE	4,41 ±4,00 (90,9)	5,20 ±2,88 (55,3)
TM *	3,01	3,17
TE+M	2,19 ±0,01 (0,4)	4,98 ±1,07 (21,4)
Precipitación 30,0 mm (2010)		
TT	1,93 ±0,62 (32,0)	15,85 ± 8,16 (51,5)
TE	1,81 ±1,06 (58,7)	15,09 ± 3,45 (22,9)
TM	1,03 ±0,20 (19,4)	8,30 ± 1,30 (15,7)
TE+M	1,50 ±0,36 (24,5)	15,09 ±10,70 (70,9)

\* Solo se pudo medir una repetición por tratamiento. (°) Letras minúsculas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Ver Cuadros 1 y 2 para los tratamientos. Promedio ± desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

La persistencia de la enmienda orgánica en la mitigación de la erosión fue menor para el segundo año. Sin embargo, si bien se aprecian mayores niveles de escorrentía en proporción al año 2009, también se aprecia una menor cantidad de sedimentos. Es destacable que la primera precipitación de cada año es la que genera el mayor nivel de escorrentía y sedimentos (Kirberg, 2014), esto puede deberse al colapso (slaking) por humectación violenta que produce el agua en el suelo seco, que genera un mayor

desprendimiento de partículas y una menor entrada de agua al desestabilizar los agregados (Chenu *et al.*, 2000).

Si bien en la mayoría de las ocasiones no existen diferencias estadísticas significativas, las enmiendas generaron menor escorrentía y sedimentos; por otra parte, en el año 2010 no se vio una acción sinérgica de la emulsión con el mulch, como en el primer año.

Es importante notar la diferencia en la relación sedimentos ( $\text{g m}^{-2}$ ) / escorrentía ( $\text{L m}^{-2}$ ) de algunos eventos. Por ejemplo, la precipitación de 29 mm del año 2010, en TE+M posee una relación de 0,099 y la del mismo tratamiento en un evento de 112,5 es de 0,44. Estas diferencias pueden generarse debido a la intensidad de cada evento, como también al contenido de agua en el suelo en el momento del evento, siendo consistente la cantidad de sedimentos por litro de agua escurrida en función de la intensidad de la precipitación, que también se observa en el sitio descepado (Cuadro 8).

En el (T0, nativo) existe una menor cantidad de sedimentos y escurrimiento superficial en relación al resto de los tratamientos, dada la alta cobertura de la superficie del suelo generada por la presencia del bosque esclerófilo. Estudios en la India (Sharda *et al.*, 2013) demuestran que los terrenos que en estas condiciones hay un menor riesgo de pérdida de sedimentos y una menor generación de escorrentía, ya que las coberturas naturales retienen el suelo (sedimentos) y el agua (escorrentía).

En las evaluaciones de los sedimentos y escorrentías en el segundo año (Cuadro 8), los montos absolutos aumentaron fuertemente en relación al año 2009 y prácticamente no existen diferencias significativas (a excepción de la lluvia de 112,5 mm), por lo que se puede afirmar que la enmienda orgánica ya no tuvo un efecto sobre la erosión de los suelos, siendo necesaria su aplicación anualmente.

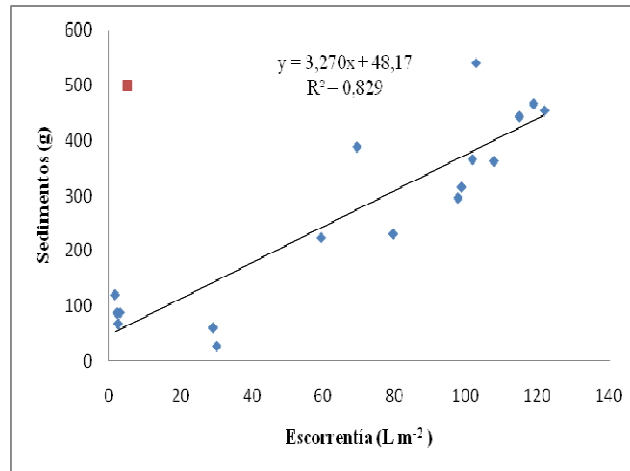
Los montos totales de sedimentos acumulados son mayores en los suelos descepados sin emulsión (T1), por lo que igualmente existiría un efecto residual de la enmienda. Estudios realizados en Australia bajo clima mediterráneo demuestran que el efecto de un mulch en la reducción de la generación de sedimentos es evidente (Silburn *et al.*, 2011). Sin embargo se precisa que su efectividad dependerá también del tipo de mulch y de las condiciones generales del terreno, como la pendiente, que generan una efectividad diferente en cada tipo de mulch (Smets *et al.*, 2008).

**Cuadro 8.** Valores de sedimentos y escorrentías para los eventos naturales de precipitación producidas en los años 2009 (Villarreal, 2010) y 2010 en el sector descegado.

Tratamientos	Sedimentos (g m <sup>-2</sup> )	Escorrentía (L m <sup>-2</sup> )
Precipitación 10,0 mm (2009)		
T0	0,08 ±0,07 (86,6)	0,38 ±0,04 (14,1)a <sup>z</sup>
T1	0,17 ±0,16 (94,0)	2,60 ±0,30 (11,5) b
T2	0,28 ±0,07 (25,1)	2,30 ±1,65 (71,8)ab
T3	0,03 ±0,05 (13,7)	0,48 ±0,23 (47,4)ab
Precipitación 29,0 mm (2009)		
T0	0,17 ±0,14 (84,2)	2,04 ±0,99 (48,8)
T1	0,14 ±0,12 (91,0)	3,90 ±1,84 (47,1)
T2	0,96 ±0,55 (57,3)	1,86 ±1,15 (61,5)
T3	0,63 ±0,74 (118,1)	1,72 ±2,29 (133,4)
Precipitación 112,5 mm (2010)		
T0	25,92 ±26,29 (101,4) b <sup>z</sup>	19,79 ± 8,57 (43,3) b <sup>z</sup>
T1	101,18 ±13,73 (13,6)ab	54,09 ± 4,62 (8,6)a
T2	83,37 ±12,22 (14,7)ab	44,27 ± 8,28 (18,7)a
T3	102,14 ±40,01 (39,1)a	50,65 ±10,58 (20,9)a
T4	103,70 ±18,48 (17,8)a	56,60 ± 3,91 (6,9)a
Precipitación 71,0 mm (2010)		
T0	32,30 ±36,23 (112,4)	15,17 ± 8,23 (54,2)
T1	71,42 ±10,29 (14,4)	32,53 ± 9,44 (29,0)
T2	36,48 ±18,11 (49,7)	19,62 ± 7,98 (40,7)
T3	62,98 ±23,89 (37,9)	30,86 ±16,85 (54,6)
T4	74,63 ±24,57 (32,9)	32,03 ± 7,12 (22,2)
Precipitación 30,0 mm (2010)		
T0	5,83 ±2,57 (44,1)	4,36 ±0,80 (18,6)
T1	13,25 ±5,50 (41,5)	4,78 ±1,77 (37,2)
T2	17,05 ±7,08 (41,5)	5,70 ±0,58 (10,2)
T3	12,13 ±9,69 (79,9)	5,87 ±0,29 (4,9)
T4	8,86 ±3,25 (36,7)	4,69 ±1,45 (30,9)

nd: no determinada. <sup>z</sup> Letras minúsculas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Ver Cuadros 1 y 2 para los tratamientos. Promedio ± desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación (%).

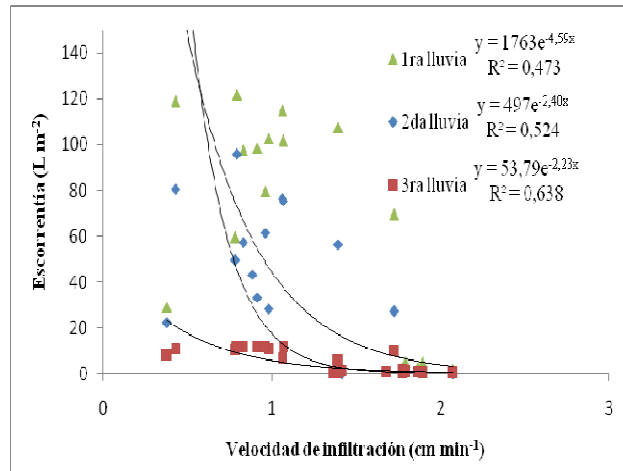
Si bien para otros eventos de lluvia es inferior, se aprecia una estrecha relación entre sedimentos y escorrentía en la primera lluvia del sitio bajo viña (Figura 6). El coeficiente de determinación mostró un buen ajuste, con una tendencia lineal y directa entre ambas variables, observada frecuente con lluvias artificiales (Cerdá y Lavee, 1995) y naturales (Duran *et al.*, 2012; Ghimire *et al.*, 2013).



**Figura 6.** Relación entre sedimentos y escorrentía en la primera lluvia temporada 2010. El punto cuadrado se excluyó del ajuste por corresponder a un posible error experimental. Con un intervalo de confianza del 5%.

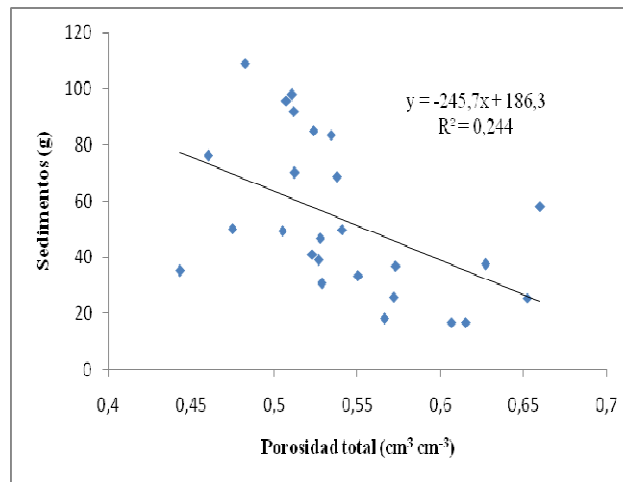
De acuerdo a Ramos y Martínez-Casasnovas (2006) la concentración de sedimentos en la escorrentía es muy variable entre eventos de lluvia, lo que depende de la intensidad de la lluvia y de su erosividad. Por otro lado Canton *et al.*, (2009) observan tasas totales de erosión positivas y linealmente relacionadas, aunque no significativas con las tasas de escorrentía, lo que atribuyen a un periodo demasiado corto de evaluación.

Al relacionar la escorrentía con la velocidad de infiltración (Figura 7), se observa que las tres lluvias tienen tendencias similares, con ajustes exponenciales decrecientes. Es lógico que a mayor velocidad de infiltración se genere menor escorrentía, ya que la entrada de agua al suelo es más lenta con una VI menor y por ello, en situación de ladera, se genera mayor arrastre de agua en superficie por cada evento. Sin embargo, el factor intensidad de precipitación y el contenido de agua previo a la lluvia, también determinan la capacidad de almacenamiento y conducción del agua del suelo (Lal, 1994).



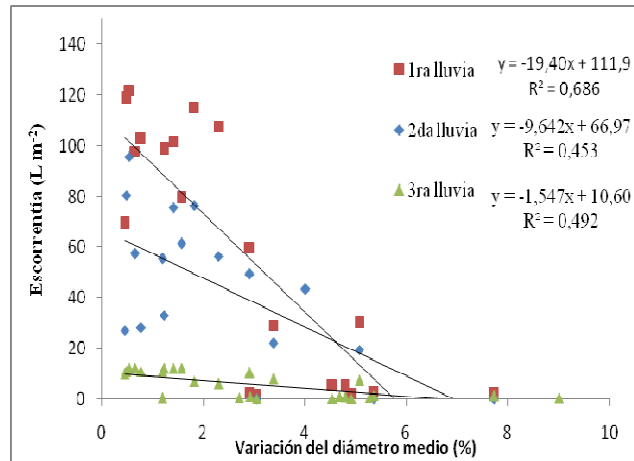
**Figura 7.** Relación entre la velocidad de infiltración y la generación de escorrentía, ocurrida en las tres lluvias medidas el 2010 para los dos sitios de estudio.

La Figura 8 apoya el planteamiento anterior, ya que se espera que a una mayor porosidad total exista una mayor infiltración de agua y por ende una menor escorrentía con menor arrastre de sedimentos (Figura 6).



**Figura 8.** Relación entre porosidad total y generación de sedimentos, para la tercera lluvia del 2010, que presentó la mejor correlación sin ser significativa.

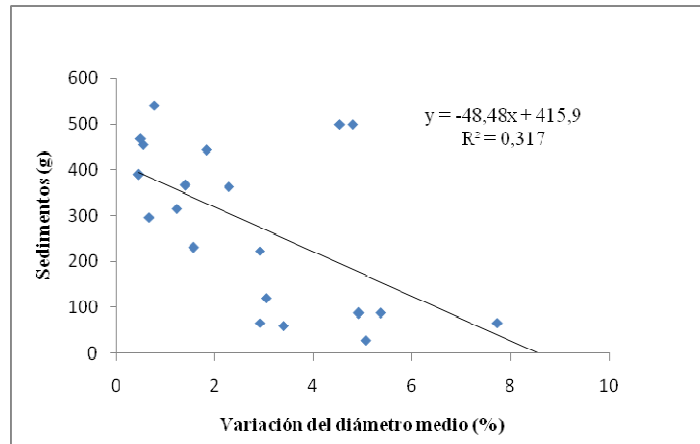
Finalmente se observan comportamientos atípicos de la escorrentía y sedimentos (figuras 9 y 10) con la estabilidad de macroagregados (VDMA).



**Figura 9.** Relación entre variación del diámetro medio (estabilidad de macroagregados) y escorrentía, en 3 lluvias medidas el 2010 para los dos sitios de estudio.

Se aprecia que a una mayor VDMA el nivel de escorrentía decae, con una correlación marcada en las tres mediciones del año 2010. Es interesante, ya que se espera una relación con pendientes positivas, en donde a mayor estabilidad (menor valor de VDMA) menor escorrentía y por ende menor cantidad de sedimentos. Es posible que la pendiente de la ladera se vaya haciendo menos negativa con las sucesivas lluvias por la eliminación de las estructuras menos estables con el paso del tiempo. Barthes y Roose (2002) informan que la relevancia entre estabilidad de agregados como un indicador de erodabilidad es cuestionable, básicamente debido a que el tamizaje y el manejo de las muestras empleado en la metodología no siempre son representativos de los fenómenos que se verifican a nivel de campo. Por otra parte, Yan *et al.* (2008) precisan que la relación entre estabilidad de agregados y erosión varía de acuerdo a los diferentes modelos de rompimiento de agregados que ocurren bajo condiciones específicas de campo, explicando el por qué de las relaciones negativas encontradas.

Como los niveles de escurrimiento decaen (Figura 10) a medida que la VDMA es mayor (menor estabilidad), los niveles de sedimentos también lo hacen. Los factores que pueden estar involucrados en este comportamiento son varios. La estacionalidad puede ser uno de ellos, ya que la VDMA se midió con muestras colectadas en primavera, posterior a las lluvias; por otra parte, la naturaleza de los grupos orgánicos en la superficie del suelo puede ser otra, de manera que si una enmienda genera hidrofobia puede presentar una buena estabilidad pero a la vez altos niveles de escorrentía y sedimentos (Bodí *et al.*, 2012).



**Figura 10.** Relación entre variación del diámetro medio (estabilidad de macroagregados) y generación de sedimentos de la primera lluvia medida el 2010; esta lluvia representa la mejor tendencia.

Esto abre una nueva línea de investigación a futuro, dados los procesos complejos generados por el cambio de uso de laderas con vegetación nativa, enfocando adecuadamente las acciones para prevenir la degradación erosiva del suelo.

## CONCLUSIONES

La investigación demuestra la eficacia de las medidas preventivas para conservar los suelos frente a la erosión hídrica, particularmente en aquellos bajo vegetación nativa.

Si bien las medidas de mitigación establecidas en los sitios estudiados no mantienen su efectividad al segundo año, la aplicación de enmiendas orgánicas afecta positivamente propiedades relevantes del suelo, tales como la estabilidad de macroagregados y la porosidad gruesa.

La aplicación de enmiendas orgánicas a los suelos de laderas muy inclinadas no resulta útil en el control de la erosión hídrica al incrementar los valores de escorrentía y generación de sedimentos. No obstante, sucesivas aplicaciones, que mejoran sus propiedades físicas en el corto plazo y su comportamiento hidráulico en el largo plazo, podrían mejorar el almacenamiento de agua y reducir tanto la escorrentía superficial como en la producción de sedimentos en estas condiciones adversas de producción.



## BIBLIOGRAFÍA

- Barthes, B. and E. Roose. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47:133-149.
- Bodí, M. B., S. H. Doerr, A. Cerdá and J. Mataix-Solera. 2012. Hydrological effects of a layer of vegetation ash on underlying wetttable and water repellent soil. *Geoderma* 191: 14-23.
- Bonilla, C. and K. Vidal. 2011. Rainfall erosivity in Central Chile. *Journal of Hidrology* 410: 126-133.
- Bonilla, C. and O. Johnson. 2012. Soil erodability mapping and its correlations with soil properties in Central Chile. *Geoderma* 189-190: 116-123.
- Canton, Y., A. Solé-Benet, C. Asensio, C. Chamizo and J. Puigdefábregas. 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils relationships with runoff and erosion. *Catena* 77:192-199.
- Casanova, M., O. Salazar, O. Seguel, W. Luzio. 2013. The Soils of Chile. (A. Hartemink, Ed.) Springer Serie, Soils of the World. 185 p.
- Casanova, M., O. Seguel, C. Kremer y I. Homer. 2008. Propiedades físicas: indicadores de calidad y salud de suelos. *Antumapu* 6(1-2): 32-34.
- Cerana, J., M. Wilson, J. De Battista, J. Noir y C. Quintero. 2006. Estabilidad estructural de los Vertisoles en un sistema arrocero regado con agua subterránea. Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 35(1): 87-106.
- Cerdá, A., D.C. Flanagan, Y. le Bissonnais and J. Boardman. 2009. Soil erosion and agriculture. *Soil Tillage Research* 106 (1): 107-108.
- Cerdá, A. y Lavee, H. 1995. Escorrentía y erosión en los suelos del desierto de Judea. Zaragoza, España. *Geographicalia* 32: 17-36.
- Chenu, C., Y. Le Bissonnais and D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64(1): 1479-1486.
- CIREN. 1996. Estudio agrológico VI Región. Descripción de suelos materiales y símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales. Santiago-Chile. Publicación 114. 479 p.
- CIREN. 2006. Zonificación de erosión y fragilidad de los suelos del secano costero de las regiones VI y VII. (Bol. Tec. [s.i]). Centro de Información de Recursos Naturales. [s.i]:CIREN. 67 p.
- CIREN. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile: Región del Maule. (Inf. N°147). Centro de información de Recursos Naturales. [s.i]:CIREN. 46 p.
- Cortés, A. 2011. Estabilización física de camellones con paltos via enmiendas orgánica/cultivo de cobertura: IV Region de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Agua. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 40 h.
- Da Veiga, M. y L. Do Prado. 1993. Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos. Italia; Food and Agriculture Organization. Documento de Campo N° 1. 34 p.

- Departamento de Geofísica (DGF) Universidad de Chile. 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. CONAMA. 71 p.
- Dornör, 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 Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 7(2): 1-13.
- Duran, V., J. Francia, I. Garcia, L. Arroyo y A. Martínez. 2012. Mitigación de la erosión de suelos en plantaciones de almendro por cubiertas vegetales: implicaciones para la agricultura sostenible de montaña (SE España). *Comunicata Scientiae* 3(2):123-129.
- Ellies, A., R. Grez y C. Ramirez. 1997. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. *Agro Sur* 25: 51-56.
- Ellies, A. 1999. Cambios estructurales y distribución de tensiones en suelos sujetos al tránsito de maquinaria. *Bosque* 20(1): 37-45.
- FAO. 1985. Elementos para el proyecto de drenaje. Estudio FAO Riego y Drenaje 38. 40 p.
- Fernández, P. 2013. Cambio en las propiedades físicas de un suelo con camellones tratados con dos fuentes ácidas, V Región de Chile. Memoria Ingeniera Agrónoma, Mención Manejo de Suelos y Agua. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 30 p.
- Flint, A. L. y L. E. Flint. 2002. Particle density. pp: 229-240. In: Dane, J. H. and Topp, G. C. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America. Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.
- Ghimire, S., D. Higaki and T. Prasad. 2013. Estimation of soil erosion rates and eroded sediment in a degraded catchment of the Siwalik hills, Nepal. *Land Journal* 2: 370-391.
- Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. 1ª Edición. San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Capítulo 6. p. 143-168.
- Hallett, P. 2008. A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency - A review. *Soil and Water Research* 3(1): 521-529.
- Hallet, D. 2007. An introduction to soil water repellency. Columbus, Ohio: RE Gaskin. International Society for Agrochemical Adjuvants (ISAA). 13p.
- Hamza, M.A. and W.K. Anderson. 2005 jun. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 85(2): 121-145.
- Hartge, K.H. und R. Horn. 2009. Die physikalische Untersuchung von böden. 4 aufl. Stuttgart, Deutschland: Schweizerbart Verlag. 177 p.
- Hidalgo, L. e J. Hidalgo. 2000. Ingeniería y mecanización vitícola. Madrid: Ediciones Mundi-prensa. 722 p.
- Horn, R., K.H. Hartge, J. Bachmann and M.B. Kirkham. 2007. Mechanical stresses in soils assessed from bulk-density and penetration-resistance data sets. *Soil Science Society of American Journal* 71: 1455-1459.
- Kay, B.D. and D.A. Angers. 2002. Soil structure. pp. 249-295. In: Warrick, A. W. (Ed.). *Soil Physics Companion*. Florida, USA: CRC Press. Boca Raton. 400 p.
- Kirberg, D. 2014. Estabilización de cárcavas con enmiendas orgánicas en la Región de Coquimbo. Tesis Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 82 p.

- Koolen, A.J. and H. Kuipers. 1983. Agricultural soil mechanics. Advance series in agricultural sciences. Springer-Verlag. 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.
- Lal, R. 1994. Soil erosion research method. 2<sup>nd</sup> ed. United State: Saint Lucie Press. 352 p.
- Lal, R. and M.K. Shukla. 2004. Principles of soil physics. CRC Press. 528 p.
- Le Bissonnais Y. and D. Arrouays. 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science* 48: 39-48.
- Liu, J., B. Shi, H. Jiang, H. Bae and H. Huang. 2009. Improvement of water stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers. *Catena* 77: 175-179.
- Liu, J., Z. Wang, X. Yang, N. Jiao, N. Cheng and P. Ji. 2014. The impact of natural polymer derivatives on sheet erosion on experimental loess hillslope. *Soil and Tillage Research* 139:23-27.
- Marín, E. 2011. Estabilización de camellones con cultivo de mandarina (*Citrus reticulata*) mediante el uso de dos fuentes de materia orgánica, IV Región de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Agua. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 29 h.
- Martínez, I., C. Prat, C. Ovalle, E. Zagal, N. Stolpe, H. Uribe *et al.* 2010. Evaluación de sistemas de labranza conservacionista para la mitigación de la erosión hídrica en un suelo alfisol de clima mediterráneo. pp: In: Congreso de la Organización Internacional de Conservación de Suelo = International Soil Conservation Organization Congress (16<sup>a</sup>, 08 al 12 de noviembre de 2010). Proceeding Contribution in Extenso. M. Casanova; G. Ruiz y E. Zagal. (Eds) Santiago, Chile: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 530 p.
- Muñoz, C. 2013. Efecto de diferentes acondicionadores comerciales sobre las propiedades físicas de tres suelos de texturas contrastantes. Tesis Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 90 h.
- Nangarí, A. 2012. Variación de la actividad enzimática del suelo en formaciones vegetacionales esclerófilas de la zona central de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Agua. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 39 h.
- Orellana, J y M. Pilatti. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- Piccolo, A. and J. Mbagwu. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter on soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1801-1810.
- Pimentel, D. 2009. World soil erosion and conservation, 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press. 361 p.
- Pruski, F.F and A. Nearing. 2002. Runoff and soil loss responses to change in precipitation: a computer simulation study. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(1):7-16.
- Quilty, J. and S. Cattle. 2011. Use and understanding of organic amendments in Australian agriculture: a review. *Soil Research* 49:1-26.

- Ramos, M. and J. Martínez-Casasnovas. 2006. Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penede`s region (NE Spain). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 356-365.
- Sadzawka R., A, M.A. Carrasco R., R. Grez Z., M.L. Mora G., H. Flores P. y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis de suelos recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 34. 164 p.
- Schoenholtz, S.H., H. Van Miegroet and J.A. Burget. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138(1): 335-356.
- 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 (Chile)* 63(3): 287-297.
- Sharda, V., D. Mandal and P. Ojasvi. 2013. Identification of soil erosion risk areas for conservation planning in different states of India. *Journal of Environmental Biology* 34: 219-226.
- Silburn, D., C Carroll, C. Ciesiolka, R.C. de Voil and P. Burger. 2011. Hillslope runoff and erosion on duplex soils in grazing lands in semi-arid central Queensland. I. Influences of cover, slope, and soil. *Soil Research* 49: 105-117.
- Silva, V.R., D.J. Reinert and J.M. Reichert. 2000. Soil strength as affected by combine wheel traffic and two soil tillage systems. *Ciência Rural* 30(5): 795-801.
- Smets, T., J. Poesen and A. Knapen. 2008. Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water. *Earth-Science Reviews* 89: 1-12.
- Soil Suvey Staff. 2014. Keys to Soil taxonomy. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. 12<sup>th</sup> Ed. 372 p.
- Tarbutck, E. y F. Lutgens. 2005. Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física. 8<sup>a</sup> ed. Prentice Hall ed. 700 p.
- Texeira, A.J., A. Soares e R. Garrido. 1999. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: BCD. 340 p.
- Traub, M. 2011. Uso de una emulsión orgánica como medida de control de erosión de una ladera cultivada con vid, VI Región de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Agua. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 42 h.
- Urbanek, E., P. Hallet, D. Feeney and R. Horn. 2007. Water repellency and distribution of hydrophobic compounds in soil aggregates from different tillage system. *Geoderma* 140: 147-155.
- Verstappen, H.T. and F.I. Van Zuidam. 1991. ITC system of geomorphologic survey. 2<sup>nd</sup> ed. Enschede: ITC Publication. 89 p.
- Villarroel, H. 2010. Uso de una emulsión orgánica como control de erosión en laderas con posterioridad al descepe, VI Región de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Agua. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Chile. 38 h.

- Wilson, M., C. Quintero, N. Boschetti, W. Mancuso y R. Benavídez. 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. Entre Ríos, Argentina. *Revista Facultad de Agronomía UNER* 20(1): 23-30.
- Yan, F., Z. Shi, Z. Li and C. Cai. 2008. Estimating interrill soil erosion from aggregate stability of Ultisols in subtropical China. *Soil and Tillage Research* 100:34-41.

## ANEXO I. Descripción morfológica de los suelos

### Suelo nativo (descepado)

<b>Profundidad (cm).</b>	<b>Características físicas y morfológicas del pedón.</b>
0 - 13 A <sub>1</sub>	Pardo oscuro (10 YR 3/3) s, pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4)h; franco arenosa; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo y friable; bloques subangulares medios y finos, débiles. Raíces finas y medias abundantes; poros finos y medios abundantes. Límite lineal, claro.
13 - 40 B <sub>1</sub>	Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4)s, pardo amarillento (10 YR 5/4)h; franco arcillosa; plástico, adhesivo y friable; bloques subangulares medios, moderados. Raíces finas comunes; poros finos y medios comunes. Actividad biológica común. Límite ondulado, difuso.
40 - 77 B <sub>2</sub>	Rojo amarillento (5 YR 4/6)s, rojo amarillento (5 YR 5/5)h; arcillosa; muy plástico, muy adhesivo y firme; bloques subangulares medios, moderados. Poros finos comunes; raíces finas y medias escasas. Límite ondulado, difuso.
77 - 105 B <sub>3t</sub>	Rojo amarillento (5 YR 5/5)s y rojo amarillento (5 YR 4/7)h; arcillosa; muy plástico, muy adhesivo y firme; bloques subangulares medios, moderados; poros finos comunes; raíces finas y medias escasas. Cutanes de arcilla discontinuos, comunes. Límite ondulado, difuso.
105 y más B <sub>4t</sub>	Rojo amarillento (5 YR 5/5)s y rojo amarillento (5 YR 4/6)h; arcillosa; muy plástico, muy adhesivo y firme; maciza; poros finos escasos; raíces finas y medias escasas. Cutanes de arcilla discontinuos, escasos.

### Suelo bajo viña

<b>Profundidad (cm).</b>	<b>Características físicas y morfológicas del pedón.</b>
0 – 15 A <sub>p</sub>	Pardo amarillento claro (10YR 6/4)s; Pardo oscuro (7,5YR 3/2)h; franco arcillo arenoso gravoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; friable y ligeramente duro; bloques subangulares medios, moderados. Raíces finas escasas; poros finos abundantes, medios escasos. Grava fina subangular (15%), presencia de coprolitos escasos. Límite lineal, gradual.
15 – 30 A	Pardo amarillento (7,5 YR 5/3)s; Pardo (7,5 YR 3/3)h; franco arcillo arenoso gravoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; friable y ligeramente duro; bloques subangulares finos y medios moderados. Raíces medias escasas; poros finos comunes, medios escasos. Grava fina subangular (10%). Límite lineal, gradual.
30 – 45 B <sub>1</sub>	Pardo fuerte (10 YR 5/4)s; Pardo (7,5 YR 4/3)h; franco arcillo arenoso gravoso; plástico y adhesivo; muy friable y ligeramente duro; bloques subangulares medios moderados. Raíces medias comunes; poros finos y medios abundantes. Grava fina subangular (10%). Límite lineal, claro.
45 – 60 B <sub>2</sub>	Pardo fuerte (7,5 YR 5/6)s; Pardo (7,5 YR 4/4)h; franco arcilloso gravoso; plástico y muy adhesivo; muy friable y ligeramente duro; bloques subangulares finos débiles. Raíces finas escasas; poros finos y medios comunes. Roca meteorizada (7,5 YR 3/4)h, grava fina subangular (20%). Límite lineal, claro.
60 – 85 C	Pardo (7,5 YR 4/4); arcillo limoso; muy plástico y muy adhesivo; extremadamente duro; maciza. Granito meteorizado.

## ANEXO II

Valores de densidad (aparente y real) y textura de los suelos para cada tratamiento en el año 1 de aplicación de enmiendas.

Tratamiento	Da <sub>c</sub>	Da <sub>t</sub>	Dr
(Mg m <sup>-3</sup> )			
Suelo viña			
TT	1,37±0,22(16,4)	1,76±0,13(7,4)	2,55±0,02(0,6)
TE	1,47±0,23(15,5)	1,59±0,13(8,3)	2,60±0,02(0,6)
TM	1,37±0,10(7,4)	1,76±0,19(10,7)	2,61±0,04(1,6)
TM+E	1,33±0,10(7,8)	1,79±0,19(10,8)	2,59±0,04(1,6)
Suelo descepado			
T0	1,32±0,17(12,5)a	1,62±0,01(0,4)a	2,63±0,11(4,4)
T1	1,11±0,06(5,6)ab	1,46±0,04(2,8) b	2,61±0,05(1,9)
T2	1,01±0,11(10,6) b	1,37±0,10(7,3) b	2,58±0,03(1,2)
T3	1,13±0,04(3,9)ab	1,41±0,02(1,6) b	2,55±0,03(1,3)
T4	-----	-----	-----
Tratamiento	Arcilla	Limo	Arena
%			
Suelo viña			
TT	21,1±1,07(5,1)	20,6±0,40(1,9)	58,3±1,46(2,5)
TE	19,9±1,47(7,3)	24,2±0,15(0,6)	55,9±1,54(2,7)
TM	21,2±1,74(8,1)	23,4±0,57(2,4)	55,4±2,31(4,1)
TM+E	22,3±4,45(19,9)	20,5±1,08(5,2)	57,2±3,36(5,8)
Suelo descepado			
T0	14,9±0,58(3,9)	25,0±1,00(4,0)	60,1±1,15(1,9)
T1	15,6±1,00(6,4)	24,7±1,53(6,2)	59,7±2,08(3,5)
T2	15,6±1,73(11,1)	25,5±0,50(2,0)	58,9±1,29(2,2)
T3	13,9±0,66(4,8)	27,8±1,63(5,9)	58,3±1,73(3,0)
T4	-----	-----	-----

Da<sub>c</sub>: Densidad aparente por el método del cilindro, Da<sub>t</sub>: Densidad aparente por el método del terrón, D<sub>r</sub>: Densidad real por picnómetro. Las letras distintas en la columnas acusan diferencias significativas (p≤0,05). Ver cuadros 1 y 2 para los tratamientos. El tratamiento T4 no fue medido en ese año, pero estaba establecido. Promedio ± desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación, en %.



## ANEXO III

Contenido de materia orgánica y de dispersión de microagregados (1-2 mm) del primer año de establecimiento del ensayo.

Tratamiento	Contenido de materia orgánica (%)	Relación de dispersión (RD) (%)
<b>Suelos viña</b>		
TT	2,0± 0,3 (17,3)	88,7± 0,8 (0,9)a <sup>z</sup>
TE	2,1± 0,3 (11,8)	84,7± 0,4 (0,4) b
TM	2,3± 0,4 (19,3)	84,3± 0,8 (1,1) b
TM+E	2,3± 0,3 (12,2)	71,4± 0,4 (0,6) c
<b>Suelos descepados</b>		
T0	5,3± 0,4 (7,3)ab <sup>z</sup>	59,3± 2,5 (4,3)a <sup>z</sup>
T1	4,0± 0,3 (7,8)a	32,2± 7,6 (23,6) b
T2	6,4± 0,6 (9,1) b	63,2± 1,3 (2,1)a
T3	6,5± 0,7 (10,1) b	62,7± 4,9 (7,9)a
T4	-----	-----

<sup>z</sup> Letras minúsculas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Ver Cuadros 1 y 2 para los tratamientos. Promedio  $\pm$  desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación, en %.