

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**USO DE UNA EMULSIÓN ORGÁNICA Y MULCH COMO MEDIDA DE
CONTROL DE EROSIÓN EN UNA LADERA CULTIVADA CON VID, VI
REGIÓN DE CHILE**

MAXIMILIANO RODOLFO TRAUB PONCE

Santiago, Chile

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**USO DE UNA EMULSIÓN ORGÁNICA Y MULCH COMO MEDIDA DE
CONTROL DE EROSIÓN EN UNA LADERA CULTIVADA CON VID, VI
REGIÓN DE CHILE.**

USE OF AN ORGANIC EMULSION AND MULCH AS AN EROSION CONTROL
MANAGEMENT IN CULTIVATED HILLSIDE WITH WINEYARD, VIth REGION
OF CHILE

MAXIMILIANO RODOLFO TRAUB PONCE

Santiago, Chile

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**USO DE UNA EMULSIÓN ORGÁNICA Y MULCH COMO MEDIDA DE
CONTROL DE EROSIÓN EN UNA LADERA CULTIVADA CON VID, VI
REGIÓN DE CHILE.**

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

MAXIMILIANO RODOLFO TRAUB PONCE

PROFESORES GUÍA	Calificaciones
Sr. Manuel Casanova P. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.	7,0
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,9
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Osvaldo Salazar G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,6
Sra. Susana Muñoz M. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.	5,7

Santiago, Chile
2011

INDICE

	Página
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
MATERIALES Y MÉTODO.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
Caracterización del perfil de suelo.....	12
Caracterización superficial de la unidad experimental.....	14
Sedimentos y escorrentía.....	22
CONCLUSIONES.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29
APÉNDICE.....	34

RESUMEN

La producción vitivinícola de alta calidad en Chile se ha extendido en los últimos años hacia suelos en posición de ladera, con plantaciones especialmente en el sentido del máximo gradiente de pendiente. En la viña Ventisquero (34° 36' S y 71° 14' W), localizada en Apalta, Región del Libertador Bernardo O'Higgins de Chile, se evaluó la efectividad en el control de la erosión hídrica en una ladera de cerro cultivada con vid, de una emulsión orgánica (Aqua Power®) y/o Mulch (Restos de poda y aserrín). Se establecieron, en una ladera con gradiente de pendiente de 37%, un total de 12 parcelas de erosión (2 x 10 m) en las entre hileras. Los tratamientos: testigo (T0), aplicación de una emulsión orgánica en dosis de 10 L ha⁻¹ (TE), aplicación de mulch tradicionalmente utilizado por la Viña (TM) y la combinación de ambos manejos anteriores (TE+M), consideraron tres repeticiones y una distribución al azar. Se evaluaron tres eventos de lluvias naturales (10, 29 y 69 mm día⁻¹), a las cuales se les midió la generación de escorrentía y la producción de sedimentos.

El mayor efecto de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo se ve reflejado en la porosidad total y en la estabilidad de agregados del suelo, siendo en estos dos parámetros TE+M el que muestra una mejoría significativa con respecto a los otros tratamientos. La producción de sedimentos y escorrentía por tratamientos estuvo principalmente regulada por condiciones temporales de los tratamientos. Por una parte, los tratamientos que consideraron la aplicación de mulch ejercieron su mayor efecto en los primeros eventos disminuyendo éste a través del tiempo, debido a su mayor cobertura al inicio del ensayo. En tanto la emulsión necesitó de aproximadamente tres meses para provocar su mayor protección contra la erosión hídrica, observándose el mejor control al final del ensayo.

Palabras clave: Mulch, Aqua Power®, escorrentía, sedimentos, parcelas de erosión.

ABSTRACT

High quality wine production in Chile has expanded in recent years to soils on hill slopes position, with the plantations aligned in the steepest direction. In Ventisquero vineyard (34° 36' S and 71° 14' W) located in Apalta, Libertador Bernardo O'Higgins Region, the effectiveness of water erosion control of an organic emulsion (Aqua Power®) and/or a mulch (pruning residues and sawdust) was measured. Twelve erosion plots (2 x 10m), on 37% slope gradient were established. The treatments applied were: control (T0), organic emulsion 10 L ha⁻¹ dose (TE), mulch traditionally applied by the vineyard (TM) and both managements together (TE+M). With three replication, each treatment was randomly assigned to one of the erosion plots. Three natural rainfall events were evaluated (10, 29 and 69 mm/day), and both runoff generation and sediment yields were measured.

The major effect of the treatments, on soil physical properties, was reflected in the total soil porosity and the aggregates stability. For these two parameters TE+M showed a significant improvement over the other treatments. Sediment yield and runoff generation were mainly regulated by temporal conditions of the treatments. The treatments that considered the application of mulch exerted its greatest effect in the early rainfall events, decreasing over time due to lower coverage at the surface. On the other hand, the organic emulsion needed about three months to exert their greater protection against water erosion, showing the best control at the end of the research.

Key words: Mulch, Aqua Power®, runoff, sediments, erosion plot.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de sitios para la producción vitivinícola de alta calidad ha llevado a la utilización de suelos marginales en posición de ladera de cerro, generando especialmente en cultivos a favor del sentido de la pendiente, problemas de erosión hídrica en la época de lluvias invernales. Esta degradación del suelo se ve aumentada en la zona de la entre hilera, donde el suelo queda descubierto en épocas invernales y la vid (*Vitis vinifera L.*), se encuentra sin follaje. Es en este sentido que la actividad agrícola debe estar enfocada a la protección del suelo a través de prácticas de manejo que permitan disminuir el efecto erosivo de las precipitaciones.

La erosión hídrica es un problema de degradación de los suelos que se define según Torri y Borselli (2000) como un fenómeno donde se describen tres procesos dominantes: (1) desprendimiento de partículas, agregados, terrones y fragmentos de suelo, (2) transporte del material desprendido y, (3) deposición de éste. Cuando la velocidad de formación de suelo es sobrepasada por la tasa de erosión, los primeros horizontes de suelo pueden ser perdidos, siendo éstos los que generalmente presentan mayor fertilidad, provocando, en el largo plazo, una disminución de la productividad agrícola (FFTC, 1995).

A pesar que el fenómeno de erosión no puede ser completamente explicado por propiedades de suelo medibles, debido a que es un proceso que engloba innumerables aristas, en la práctica, algunos factores dominan la respuesta del suelo a la erosión hídrica. Los factores, considerados preponderantes en la erosión hídrica de los suelos, pueden ser clasificados, según Lal (1994), en intrínsecos y extrínsecos del suelo. Los factores intrínsecos se refieren a la topografía y las propiedades hidráulicas del suelo, mientras que los factores extrínsecos del suelo corresponden al clima, su cobertura y manejo.

La topografía de una ladera, caracterizada por el aspecto, gradiente, longitud y forma de la pendiente, es un factor importante en la erosión del suelo; normalmente se esperaría más erosión a mayor gradiente y longitud de la ladera. Esto resulta del aumento en la velocidad y volumen de escurrimiento superficial de agua, y del incremento en la energía cinética del agente erosivo (Liu *et al.*, 2000; Koulousi y Giourga, 2007).

El escurrimiento superficial es la porción de precipitación que fluye en la superficie del suelo y, para que exista, la precipitación debe superar las tasas de evapotranspiración e infiltración, además de la capacidad de retención de agua superficial (Schwab *et al.*, 1993). De este modo, el agua que no infiltra en el perfil de suelo escurre por la superficie, arrastrando consigo el material edáfico desprendido. El factor que controla mayormente el escurrimiento superficial de agua es la tasa de infiltración (Morgan, 2005), que se define como la velocidad a la cual el agua penetra al perfil de suelo. Este proceso es dependiente de las propiedades físicas del suelo (tamaño de partículas, estabilidad de los agregados y tipo de estructura; tamaño, continuidad y abundancia de poros, entre otros) y de su contenido de materia orgánica.

El clima influye en la cantidad, energía, distribución e intensidad de las precipitaciones, siendo esta última la más determinante en la pérdida de suelo, ya que se ha estudiado

(FAO, 1967) que a mayor intensidad, aumenta el tamaño de la gota de lluvia, por ende también lo hace la energía con que ella impacta sobre el suelo. Otro efecto de la gota de lluvia sobre la pérdida de suelo por erosión, es la obturación de poros y la posterior formación de costras superficiales, que genera una disminución en la tasa de infiltración del suelo, por ende aumenta el volumen de escurrimiento de agua, aumentando el arrastre de partículas (Hudson, 1995). Así, el impacto de la gota de lluvia y el escurrimiento de agua son los agentes que aportan la energía necesaria para desprender y transportar el material edáfico de un sitio a otro.

El efecto benéfico de la materia orgánica del suelo en la prevención de la erosión hídrica, está dado principalmente por su capacidad para proteger a los agregados del suelo del rápido humedecimiento ocurrido en un evento de lluvia (Baldock y Nelson, 2000). Un humedecimiento violento provoca el colapso (*slaking*) del agregado, obstruye los poros con las partículas dispersas, disminuye la tasa de infiltración de agua y, consecuentemente aumenta el escurrimiento superficial (Texeira *et al.*, 1999). Por lo tanto, un suelo con mayor estabilidad de agregados es menos susceptible a la erosión (Barthès y Roose, 2002; Annabi *et al.*, 2007).

Con relación a la cobertura del suelo, ésta contribuye a la disminución de la erosión hídrica de varias maneras. Al respecto, las plantas son determinantes en la disminución de la energía con que la gota de lluvia llega al suelo, por interceptación directa del follaje, y actuando como barrera para la energía cinética del escurrimiento superficial, por acción de los tallos y raíces (Gyssels *et al.*, 2005). La erosión máxima es posible en un suelo desnudo, sin protección de la gota de lluvia ni impedimento físico al escurrimiento superficial de agua; por el contrario, una pradera perenne es la que tiene mayor efectividad en la disminución de la erosión hídrica (Morgan, 2005).

Por consiguiente, la agricultura sostenible debe estar enfocada a prácticas agronómicas de protección contra la erosión de suelos, tales como la aplicación superficial de residuos de cosecha (mulch) al suelo y la utilización de materiales orgánicos para el mejoramiento de sus propiedades físicas; todo esto, para sistemas intensivos de cultivo en hileras y particularmente en laderas que, normalmente, presentan suelos frágiles. Es en este esfuerzo que prácticas como la incorporación de mulch y el uso de emulsiones orgánicas, entre otras, resultarían beneficiosas para el control de la erosión.

El manejo del mulch, como una práctica sistemática en cultivos en laderas, es relativamente nuevo para muchos agricultores, pero se podrían esperar los beneficios de una completa protección ya sea antes o después de la labranza. Recientemente, Smets *et al.* (2008) precisan que tanto el proceso de erosión (salpicadura, canalículo o intercanalículos), el gradiente de pendiente, el tipo de suelos como el tipo de mulch determinan la variabilidad de la efectividad de esta práctica como medida de control de la erosión hídrica.

Por otra parte, el uso de estabilizadores de suelo se ha orientado a mejorar la estructura de suelo debido a su capacidad de formar y/o proteger agregados, a través de fuerzas de Van der Waals y uniones químicas entre los minerales de arcilla del suelo (Öztürk *et al.*, 2005). En este sentido, las emulsiones orgánicas ayudan a la estabilidad de los agregados, aumentando su resistencia a la desintegración por humedecimiento. Esto

permite mantener la tasa de infiltración en el tiempo, evitando la obturación de los poros por dispersión de suelo y disminuyendo el escurrimiento superficial. Emulsiones como éstas se han aplicado de forma líquida sobre la superficie del suelo para mejorar la estabilidad de agregados (Mamedov *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2009). Su efecto en el control de la erosión hídrica está ampliamente estudiado (Flanagan *et al.*, 2003; Abu-Zreig, 2006), sin embargo, su uso en Chile se ha restringido a mejorar condiciones hídricas del suelo en el trasplante de plantines de hortalizas (Nissen y San Martín, 2004).

Diversas investigaciones reportan altas tasas de erosión hídrica en los suelos utilizados para la producción de vinos en climas mediterráneos (Léonard y Andrieux, 1998; Ramos y Martínez-Casasnovas, 2006a; Ramos y Martínez-Casasnovas, 2006b; Le Bissonnais *et al.*, 2007; Quiquerez *et al.*, 2007). Las principales razones de lo anterior son tres (Arnaez *et al.*, 2006). Primero, que en la época de lluvias el suelo se encuentra escasamente cubierto, debido principalmente a la no existencia de prácticas de manejo y a la utilización de herbicidas que mantienen el suelo libre de malezas. Segundo, la utilización de suelos en posición de laderas de cerro, fuertemente inclinadas, que provocan que el escurrimiento superficial tenga una gran energía. Una tercera razón la constituye la intensidad de las lluvias. Es importante destacar que este problema no sólo provoca daños en el recurso suelo, sino también involucra pérdidas económicas considerables en la actividad vitivinícola (Martínez-Casasnovas y Ramos, 2006).

Debido a lo antes descrito, es que toma relevancia el manejo agronómico en la protección del suelo agrícola en posición de ladera de cerro, más aún considerando que la Región del Libertador Bernardo O'Higgins presenta una superficie de 90.350 ha en las clases de erosión severa y muy severa (CIREN, 2006). Por lo tanto, aquellas prácticas que estén dirigidas a mejorar propiedades del suelo, como la tasa de infiltración y la estabilidad de los agregados, serán útiles en disminuir el escurrimiento superficial erosivo.

La hipótesis de esta investigación es que un sistema de manejo contra la erosión hídrica en laderas de cerro, basado en la aplicación conjunta de mulch y una emulsión orgánica, otorgará una mayor protección al suelo que la utilización individual de éstos.

El objetivo general de esta investigación es evaluar la efectividad, en el control de la erosión hídrica de laderas cultivadas con vid, de una emulsión orgánica y/o mulch orgánico, tradicionalmente empleado en la zona.

Los objetivos específicos son:

- Medir la escorrentía superficial y los sedimentos producidos por las precipitaciones naturales.
- Comparar la escorrentía y producción de sedimentos entre tratamientos, para determinar aquel que otorga una mayor protección al suelo.
- Evaluar algunas propiedades físicas del suelo que se relacionan con el efecto de las enmiendas orgánicas.

MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó durante la temporada 2009 en la Viña Ventisquero, localizada en Apalta (34° 36' S y 71° 14' W) a 160 km al sur-oeste de Santiago, Comuna de Santa Cruz, valle de Colchagua, en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Desde el punto de vista geográfico, Apalta es un valle cerrado, de forma semicircular y limitado por el río Tinguiririca. Esta zona se caracteriza por sus cerros escarpados, pertenecientes a la Cordillera de la Costa, con alturas que varían de 200 a 500 msnm, en los lugares cultivados.

Con relación al clima, el valle de Apalta pertenece a la denominada zona mediterránea del país, 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, concentradas entre los meses de mayo a septiembre (Santibáñez y Uribe, 1993).

El cultivo de la vid, dispuesto en un marco de plantación de 2 x 1 m, se orienta en el máximo sentido del gradiente de pendiente (20-40%), en posición de ladera de cerro. El suelo, derivado de andesita metamórfica muy meteorizada, se clasifica como Alfisol (Soil Survey Staff, 2006). Cartográficamente se describe como Asociación La Lajuela (CIREN, 1996), la cual presenta clases texturales que varían de franco arcillo arenosa en superficie, a arcillosa en profundidad, bloques subangulares en superficie y una condición maciza en profundidad.

En la zona de entre hilera de la viña se establecieron 12 parcelas de erosión (Figura 1), con dimensiones de 10 m de largo por 2 m de ancho, delimitadas en todos sus lados por láminas de hojalata de 15 cm de altura (5 cm bajo la superficie del suelo y 10 cm sobre ella). Las parcelas se establecieron en el sector de máxima inclinación de la ladera, en la cabecera de las hileras, caracterizadas por una gradiente homogénea de 36,5%.



Figura 1. Unidad experimental de erosión de 20 m², en viña Ventisquero.

La lámina de la zona inferior de la parcela cuenta con 9 salidas triangulares de 6 cm de

ancho por 10 cm alto distanciadas cada 6 cm (Figura 2), de modo tal que las salidas abarcaban toda el área de escurrimiento de la parcela. De estas 9 salidas, 3 fueron conducidas por canaletas de latón hacia estanques plásticos receptores de escorrentía y sedimentos (bidones de 200 L), de modo que la recolección del material edáfico transportado y el agua correspondió a un tercio del volumen total de escurrimiento, por lo tanto, al medir el volumen de escorrentía almacenado en el estanque recolector, éste debió ser triplicado para obtener el volumen total correspondiente al evento de lluvia respectivo.



Figura 2. Zona inferior de cada parcela, estanque de recolección y dispositivo de conducción de escorrentía y sedimentos.

Los tratamientos establecidos (Cuadro 1), cada uno con tres repeticiones, consideraron el uso de una emulsión orgánica, 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 la medida de control de erosión tradicional de la viña Ventisquero.

Cuadro 1. Tratamientos de control de erosión realizados en el ensayo.

Tratamientos	Características
T0	Testigo
TE	Emulsión orgánica
TM	Mulch
TE+M	Emulsión orgánica + Mulch

En los tratamientos con emulsión orgánica se empleó la dosis recomendada por el fabricante del producto (10L ha^{-1}), en una concentración de $0,8\text{ mL L}^{-1}$ de agua, aplicada al comienzo del ensayo. El mulch (restos de poda, hojas de maíz y aserrín), distribuido homogéneamente en toda la superficie de la parcela, fue aplicado en una

dosis de 20 Mg ha⁻¹ (base masa seca). Tanto la emulsión como el mulch fueron aplicados en agosto de 2009.

Al inicio del ensayo se realizó una descripción morfológica del suelo a través de calicatas y se caracterizó el suelo por horizonte genético (densidad aparente y textura), además, se perfilaron las parcelas topográficamente. Durante el ensayo se llevó un registro de las precipitaciones (pluviómetro instalado en las cercanías del sitio del ensayo).

El contenido de sedimentos en la escorrentía se determinó mediante el método indicado por Da Veiga y Do Prado (1993), tomando 3 alícuotas del fluido de los receptores, las cuales se sometieron a un secado a 70°C durante 2 a 3 días, determinando por gravimetría la masa de partículas desprendidas por erosión. Se colectaron tres eventos de precipitación entre septiembre y noviembre de 2009.

Al cabo de 5 meses de montado el ensayo, en enero de 2010, se realizó una caracterización analítica de las unidades experimentales durante el mes de Enero, en la capa arable del suelo (0 a 20 cm.), de modo tal de relacionar estas propiedades con la escorrentía y los sedimentos producidos en la temporada de lluvias.

La densidad aparente se midió por los métodos del cilindro y del terrón (Blake y Hartge, 1986) y la densidad real con picnómetros (Flint y Flint, 2002); la granulometría se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Gee y Or, 2002); la infiltración con cilindro infiltrómetro (Bouwer, 1986) y la estabilidad de agregados mediante diámetro ponderado medio (Hartge y Horn, 1992). Además se determinó la curva característica de agua del suelo, mediante olla y plato de presión (Dane y Hopmans, 2002), la que permitió determinar la distribución de tamaño de poros. Finalmente, los contenidos de la materia orgánica se midieron por calcinación (Sadzawka *et al.*, 2006).

Diseño experimental y análisis estadístico.

La unidad experimental fue la parcela (2 x 10 m) con tratamientos dispuestos en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones cada uno (Figura 3).

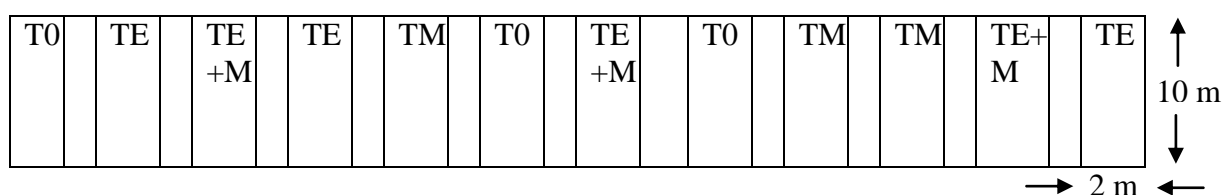


Figura 3. Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales.

En el análisis de la información obtenida, se determinaron los parámetros estadísticos básicos (media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación); además para los resultados de escorrentía y producción de sedimentos se realizaron pruebas para determinar diferencias significativas entre tratamientos (ANDEVA, $\alpha \leq 0,05$). Cuando fue necesario, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del perfil de suelo

El suelo descrito morfológicamente (Apéndice I), corresponde a un suelo derivado de roca granítica, profundo, que varía de un horizonte Ap superficial de clase textural franco arcillo arenosa (15% de gravas) y bien estructurado, a horizontes en profundidad arcillo limosa, macizos y con colores que permanecen en profundidad en el matiz 7.5YR. Es posible, que por la erosión activa del lugar, el primer horizonte haya disminuido su espesor, provocando, en algunas zonas, que las raíces se observen expuestas en superficie.

La presencia de grava en todo el perfil se explica por la gran resistencia que tiene su material parental a la meteorización. No obstante la descripción correspondiente a la Asociación La Lajuela (CIREN, 1996) indica que el material parental es andesita metamórfica, es evidente que 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 (Luzio *et al.*, 2010).

La distribución de la densidad aparente a través del perfil (Figura 4), varía de 1,26 Mg m⁻³ en superficie a 1,38 Mg m⁻³ en profundidad, medido a través del método del cilindro. El aumento de este parámetro en profundidad, denota la condición maciza que tiene el suelo estudiado desde los 65 cm. Este rasgo, también se observa analizando los valores de densidad aparente obtenidos para el método del terrón, llegando a 1,90 Mg m⁻³ en el horizonte más profundo.

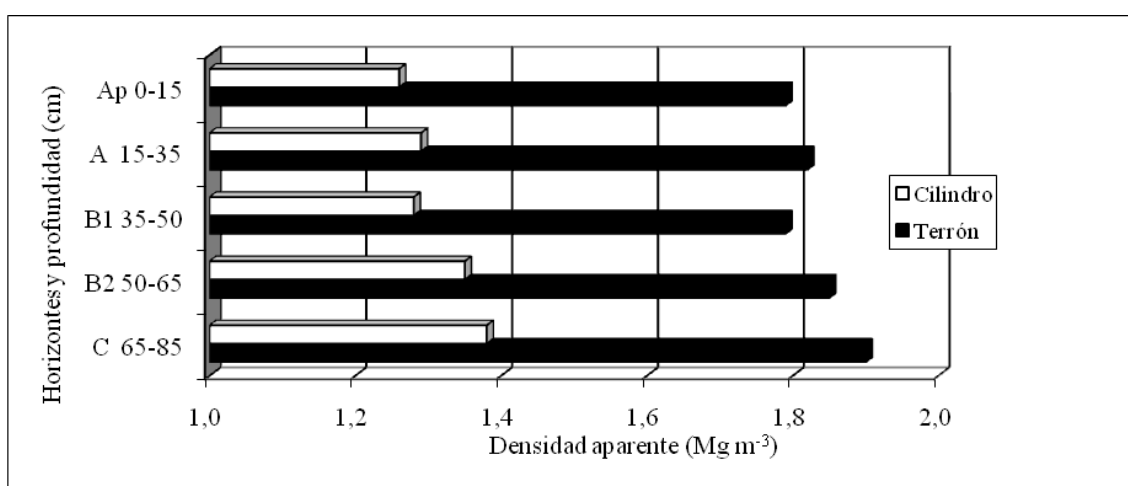


Figura 4. Distribución de la densidad aparente por horizonte genético, medido con el método del cilindro y del terrón.

Se observa que existe una gran diferencia entre las densidades aparentes obtenidas por el método del terrón y del cilindro. Más allá de las diferencias lógicas que se obtienen por los diferentes métodos, la relación numérica entre ambos indica la presencia de una

gran cantidad de poros ubicados entre los agregados, que son los que permiten el desarrollo radical y los que controlan la infiltración de agua hacia el perfil, debido a su gran tamaño.

Con relación a la textura (Figura 5), los horizontes del suelo varían su contenido de arcilla desde un 21,8% en superficie a un 30% en profundidad. Este aumento de arcilla, puede ser explicado por el arrastre de partículas finas en superficie, sin embargo este aumento está principalmente asociado al horizonte macizo que presenta el suelo descrito desde los 65 cm.

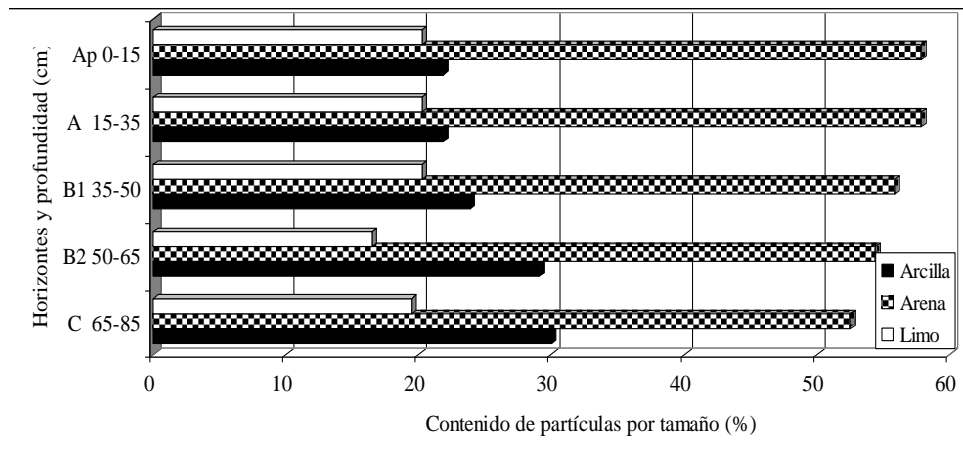


Figura 5. Distribución de los separados texturales por horizonte genético.

Es importante mencionar que el elevado porcentaje de las partículas tamaño arena, tanto en superficie (57,8%) como en profundidad (52,6%) provoca que la clase textural esté en el límite entre franco arcillo arenosa y franco arenosa en el triángulo textural (USDA). A pesar de lo anterior, se destaca la homogeneidad de este parámetro en profundidad.

Analizando los resultados de la caracterización del perfil, se puede concluir que la escasa variación de sus propiedades morfológicas, se explica por la homogeneidad geomorfológica de la ladera estudiada y, en consecuencia, se trata de un sitio muy representativo del área de estudio.

Caracterización superficial de la unidad experimental

Las propiedades edáficas que influyen en la generación de escorrentía y sedimentos, en la unidad experimental, son las del horizonte superficial, donde además se aplican los tratamientos considerados. Es por lo anterior que se analizan las propiedades físicas e hidráulicas para distinguir si los tratamientos tuvieron algún efecto sobre las características de suelo. Algunas propiedades físicas superficiales, medidas a 5 meses de la aplicación de los tratamientos, se incluyen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores promedios de densidad (aparente y real), y textura de los suelos para cada tratamiento. \pm desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación, en %, ($P \leq 0,05$).

Tratamiento	D_{a_c}	D_{a_t}	D_r	Arcilla	Limo	Arena
	----- (Mg m ⁻³)-----			-----(%)-----		
T0	1,37 \pm 0,22(16,4)	1,76 \pm 0,13(7,4)	2,55 \pm 0,02(0,6)	21,1 \pm 1,07(5,1)	20,6 \pm 0,40(1,9)	58,3 \pm 1,46(2,5)
TE	1,47 \pm 0,23(15,5)	1,59 \pm 0,13(8,3)	2,60 \pm 0,02(0,6)	19,9 \pm 1,47(7,3)	24,2 \pm 0,15(0,6)	55,9 \pm 1,54(2,7)
TM	1,37 \pm 0,10(7,4)	1,76 \pm 0,19(10,7)	2,61 \pm 0,04(1,6)	21,2 \pm 1,74(8,1)	23,4 \pm 0,57(2,4)	55,4 \pm 2,31(4,1)
TE+M	1,33 \pm 0,10(7,8)	1,79 \pm 0,19(10,8)	2,59 \pm 0,04(1,6)	22,3 \pm 4,45(19,9)	20,5 \pm 1,08(5,2)	57,2 \pm 3,36(5,8)

D_{a_c} : densidad aparente con cilindro, D_{a_t} : densidad aparente con terrón, D_r : densidad real. Sin diferencias estadísticas significativas.

Los resultados obtenidos para la densidad real (Cuadro 2) no presentan diferencias significativas entre tratamientos y se encuentran dentro de los valores normales para suelos minerales (Flint y Flint, 2002). Cada mineral constituyente del suelo tiene una densidad real específica, es por esto que el valor de este parámetro se asemeja con el del mineral predominante del suelo, que en este caso es el cuarzo (2,65 Mg m⁻³), mineral presente mayoritariamente en el granito.

Por otra parte, los resultados de densidad aparente (Cuadro 2), tampoco presentaron diferencias significativas entre tratamientos, tanto para el método del cilindro (D_{a_c}) como para el método del terrón (D_{a_t}), indicando una gran homogeneidad en este parámetro. A pesar que la materia orgánica, los acondicionadores de suelo y el historial de manejo de un suelo pueden hacer variar la densidad aparente, debido principalmente a la estabilidad de los poros entre los agregados (Skopp, 2000), se observa que los tratamientos no alcanzaron a tener una disminución en el valor de este parámetro debido a que efectos como éstos se esperan en aplicaciones a largo plazo.

Los valores de granulometría obtenidos para los tratamientos (Cuadro 2) son homogéneos y se encuentran entre un 19 a 22% de arcilla, 55 a 58% de arena y 20 a 24% de limo, con una clase textural franco arcillo arenosa. Llama la atención la baja proporción correspondiente al tamaño arcilla y limo que hay con respecto a la arena. Es posible que la erosión superficial que ha existido en el suelo a partir del establecimiento de la viña haya generado una remoción selectiva de estas partículas. A pesar que ciertos

estudios muestran que las partículas que más fácilmente se desprenden del suelo, por acción de la erosión hídrica, son el limo y la arcilla, debido respectivamente a su menor cohesión y masa (Issa *et al.*, 2006), este efecto no se denota en una diferencia significativa entre los tratamientos de la investigación. Las diferencias en la textura a causa de la erosión o la protección de este tamaño de partículas, se manifiestan en mediciones de largo plazo, donde el proceso de remoción selectiva de partículas en los primeros horizontes se hace notorio.

Considerando la estructura del perfil de suelo estudiado (Apéndice I), los efectos provocados por una textura dominada por partículas gruesas, radican principalmente en una alta velocidad de transmisión de agua a través del perfil, baja retención de agua y una baja cohesión existente entre los agregados, lo que genera una baja capacidad de formar agregados estables en el suelo. Al respecto, los valores de materia orgánica (MO) y estabilidad de agregados (EA) se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido de materia orgánica (MO) y variación del diámetro de agregados (VD80). El menor valor de VD80 denota la mayor estabilidad.

Tratamiento	MO -----%-----	VD80
T0	2,0 ±0,344 (17,30) a	88,72±0,83 (0,93) a
TE	2,1± 0,252 (11,80) a	84,79±0,35 (0,41) b
TM	2,3±0,438 (19,29) a	84,37±0,77 (1,06) b
TE+M	2,3±0,259 (12,16) a	71,43±0,41 (0,57) c

Letras diferentes en una misma columna muestran diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$). ± desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación, en %.

Los valores obtenidos de materia orgánica (Cuadro 3) son considerados bajos dentro del rango estándar de los suelos cultivados para este clima y zona. Probablemente, esto se debe a que la ladera, de 36,5% de gradiente de pendiente, ha sufrido una constante pérdida de materia orgánica en superficie a causa del escurrimiento; además, las aplicaciones de mulch (práctica habitual de la viña) se aplican sólo sobre la hilera de plantas.

El escurrimiento afecta directamente el contenido de MO en los primeros horizontes del suelo. Rhoton *et al.*, (2002) y Polyakov y Lal (2008) estudiando el contenido de carbono orgánico de un sedimento movilizadado por escurrimiento superficial, indican a la erosión hídrica como la principal causante de la pérdida de materia orgánica en laderas de cerro y, en menor medida, la aradura del suelo.

Investigaciones sobre el cambio de propiedades edáficas realizadas en el valle de Apalta, cercanas al sitio de estudio (Farías, 2009), informan sobre la disminución del contenido de MO en los primeros horizontes de suelo debido al cambio del uso de bosque nativo al cultivo de vides para la producción de vinos. Por otra parte, el tránsito de maquinaria agrícola ha generado un deterioro de las propiedades edáficas, en relación a la condición original, por lo que el suelo entre las hileras es más susceptible a la erosión hídrica.

Como se observa, los valores de MO no presentaron diferencias significativas, mostrando que ninguno de los tratamientos tuvo algún impacto sobre este parámetro. Además indica, que las prácticas agrícolas realizadas en el sitio de ensayo son realizadas homogéneamente en toda la ladera del cerro.

Cabe destacar que, a pesar que los tratamientos tienen valores homogéneos de materia orgánica, el mulch generó un muy leve aumento (no significativo) en este parámetro, dando a entender que prácticas como éstas son beneficiosas para mejorar las propiedades edáficas de suelo que influyen en la erosión. El testigo es el que presenta un menor contenido medio de materia orgánica, realzando el hecho que este tratamiento es el de mayor susceptibilidad a la erosión.

El hecho que los tratamientos TM y TE+M, que involucran la adición de mulch, no hayan aumentado significativamente la cantidad de materia orgánica en el primer horizonte, se debe a que el mulch (restos de poda, hojas de maíz y aserrín) fue aplicado solo en superficie, lo que dificulta la acción de microorganismos y aumenta el tiempo de incorporación al suelo (Baldock y Nelson, 2000). Además, a medida que avanzaba la temporada de lluvia, el sitio de estudio fue perdiendo cobertura (mulch) debido a los vientos y al escurrimiento superficial generado. Zeigher y Fohrer (2009), estudiando el impacto que tiene el cambio de un uso convencional del suelo a un uso de manejo orgánico, sobre las propiedades que determinan la generación de escurrimiento, indican que el mayor contenido de materia orgánica permite una mayor infiltración de agua al suelo y una menor pérdida de suelo desde los 5 años de establecido el manejo, tiempo mínimo necesario para aumentar este parámetro.

Analizando los valores obtenidos para densidad aparente, densidad real, textura y materia orgánica para las parcelas de medición de erosión (cuadros 2 y 3), se desprende que el suelo donde se ubica el ensayo es homogéneo, no existen diferencias edáficas que pudiesen afectar la investigación influyendo sobre el efecto de los tratamientos, ya que todas las parcelas se encuentran en la misma Fase de suelo de la Asociación La Lajuela.

La variación de la forma y el tamaño de un agregado individual entre una condición seca y saturada, como un parámetro de estabilidad de agregados (EA) permite conocer el comportamiento de un suelo al ser sometido a una carga importante de agua. El agregado que mantenga más su forma y tamaño, es decir varíe menos su diámetro, tendrá la mayor estabilidad al agua. La habilidad de los agregados para resistir este esfuerzo está dada principalmente por la tasa de humedecimiento del agregado; este parámetro es controlado principalmente por los agentes estructuradores del suelo, tales como la MO y la arcilla (Kay y Angers, 2000). Evaluando la resistencia de los agregados al pasar de una serie de tamices en condición seca a otra en agua, se obtuvieron los valores de variación de los diámetros a un 80 % de frecuencia acumulada (Cuadro 3).

Al analizar los valores obtenidos para la EA se puede decir que, independiente del tratamiento aplicado, los agregados presentan una estabilidad baja frente a la adición de agua al perfil. Es así como, tanto la cantidad de poros como la conductividad hidráulica elevadas (medidas en verano a 5 meses de la aplicación de los tratamientos) podrían

verse disminuidas por la obturación de las partículas desprendidas de los agregados desintegrados por el humedecimiento.

A pesar de la baja estabilidad general (Cuadro 3), TE, TM y TE+M lograron un efecto significativo en este parámetro con relación al testigo. Sin embargo, es probable que este efecto sólo se haya logrado al final de la temporada y no sea significativo al inicio de la investigación, donde los tratamientos no tuvieron el tiempo suficiente para ejercer su influencia; es por esto que el valor de T0 es el que representa la estabilidad de agregados de los tratamientos para los primeros eventos de lluvia.

En el caso de TE, la emulsión orgánica actúa generando uniones más fuertes entre los agregados haciéndolos más estables al humedecimiento violento ocurrido en una lluvia natural; sin embargo, la aplicación en una temporada no provoca el efecto esperado para este tipo de productos debido, principalmente, a que una menor perturbación en la estructura se da con aplicaciones a través del tiempo. Lo mismo ocurre con el tratamiento TM, que tiene un efecto indirecto en la estabilidad de agregados al aumentar el contenido de MO, por lo que su efecto será mayor en aplicaciones sucesivas de restos orgánicos en la entre hilera.

El efecto de TE+M es el que mayor impacto benéfico tiene sobre la EA debido al resultado sinérgico de ambas aplicaciones; el mulch impide una generación de escurrimiento instantáneo en el suelo, lo que ayuda a que el producto no se pierda por escurrimiento; por otra parte, la emulsión ayuda a la generación de agregados más estables, debido a que forma uniones fuertes entre ellos.

La degradación de propiedades físicas del suelo en las viñas de Apalta ha sido atribuida al cambio del uso de suelo. Farías (2009), al comparar la EA entre el sitio nativo y la zona de entre hileras de vid, obtuvo que los agregados del bosque nativo variaban su diámetro en un 3%; en contraste, los agregados de la zona de entre hilera presentaron una variación del diámetro del 86%, corroborando los valores obtenidos en la presente investigación. Lo anterior es explicado por la pérdida de MO entre los sitios estudiados, ya que el mantillo del bosque nativo ayuda a mantener un contenido orgánico que protege el suelo de la erosión hídrica.

Comparando lo obtenido en la entre hilera por Farías (2009) con los resultados de los tratamientos aplicados en la investigación, se desprende que todos ellos presentaron una disminución en la variación del diámetro del agregado, dando a entender que la degradación de esta propiedad de suelo se ve revertida con la aplicación de estos tratamientos, incluso en la primera temporada de la investigación.

El bajo contenido de materia orgánica medido (Cuadro 3) y la textura predominantemente gruesa en el sitio de estudio (Cuadro 2), explica la pobre capacidad del suelo de mantener la forma y el tamaño de sus agregados, lo que genera que el suelo sea más susceptible al desprendimiento cuando éste se encuentra saturado. La EA al agua es considerada una de las propiedades más relevantes en el control de la erosión hídrica de los suelos y su efecto ha sido ampliamente estudiado. Cantón *et al.*, (2009), estudiando la EA en suelos franco arenosos de laderas de cerro con 40% de pendiente, mostraron que debido al arrastre de materia orgánica hacia zonas de menor gradiente, la

capacidad del agregado para mantener su forma y tamaño se veía disminuida. Además, observaron que la mayor EA, se encontraba donde la pendiente era convexa, es decir, en la zona de deposición de sedimentos y escorrentía. Por otra parte, Barthès y Roose (2002), investigando distintos suelos, indican que la estabilidad de agregados en el primer horizonte es el factor más preponderante en la generación de escorrentía y pérdida de suelo por erosión hídrica.

La porosidad del suelo depende, entre otros factores, de la textura, la estructura y de la actividad biológica del suelo, e influye tanto en el almacenamiento como en la transmisión de agua en el perfil. Cualquier discontinuidad, natural o causada antrópicamente, influye de forma directa sobre las propiedades hidráulicas del suelo (Noguchi *et al.*, 1999). Es por lo anterior, que el sistema poroso influye directamente en la generación de escurrimiento superficial y posterior desprendimiento de partículas de suelos.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de la caracterización del sistema poroso superficial de las unidades experimentales, acorde a cada tratamiento, obtenida con la curva característica de agua del suelo. Los diámetros de los poros fueron calculados asociando las tensiones aplicadas en la curva característica de suelo con el ascenso capilar de un poro de diámetro conocido (Pagliai y Vignozzi, 2002).

Cuadro 4. Caracterización del sistema poroso del primer horizonte, según los tratamientos aplicados. PDR, poros de drenaje rápido (>50 µm); PDL, poros de drenaje lento (10 a 50 µm); PAU, poros de agua útil (<10 a 0,2 µm).

Tratamiento	Porosidad total	PDR	PDL	PAU
	-----%-----			
T0	46,85 a	14,75 a	8,17 a	10,31 a
TE	48,50 ab	16,80 a	7,07 a	9,30 a
TM	48,57 ab	14,75 a	7,49 a	11,92 a
TE+M	53,25 b	18,36 a	8,75 a	12,64 a

Letras distintas en una misma columna acusan diferencias significativas entre tratamientos (Tuckey, P<0,05).

Al observar los valores obtenidos para los distintos tamaños de poros, se desprende que el suelo presenta un sistema poroso que favorece la infiltración de agua, característica normal de suelos con clases texturales gruesas.

Las medias de porosidad total por tratamiento muestran la gran cantidad de poros que existe en el horizonte superficial de las unidades experimentales. Además, los valores manifiestan una buena estructuración del suelo para el momento de medición, indicando que este parámetro influye preponderantemente en la infiltración y el flujo de agua a través del perfil.

Para la porosidad total, el testigo (T0) no presenta diferencias significativas con TE y TM, sin embargo es el que presenta el menor valor promedio. Este valor se podría considerar como referencial para el sitio de estudio, y representaría la condición de

equilibrio de la viña previo a la aplicación de los tratamientos. Se observa que en comparación con el T0, todos los tratamientos influyeron en distinta medida en la porosidad total, mostrando que las aplicaciones de mulch, enmienda orgánica y la utilización de ambos ayudan considerablemente a la generación de porosidad.

A pesar que los tratamientos TE y TM, generan un aumento de dos puntos porcentuales en la porosidad total del suelo, no lograron ser significativamente superiores a T0. No obstante lo anterior, las medias muestran que estos tratamientos han tenido influencia positiva en las propiedades estructurales del suelo. Se observa que el efecto de las enmiendas orgánicas está principalmente asociado a los poros de drenaje rápido, donde se distingue su mayor influencia, aunque sin diferencias significativas. Lo anterior, se debe a que los poros de mayor diámetro presentan menor estabilidad y por ende son los que más se benefician a través de prácticas de conservación de suelos.

La acción conjunta del mulch y la emulsión orgánica (TE+M) genera significativamente mayor porosidad total, debido a que la emulsión forma uniones entre las partículas de suelo favoreciendo el arreglo natural de los agregados, lo que genera una mayor porosidad entre los espacios que se originan entre éstos. A su vez, el mulch crea una protección de éstos poros, evitando la obturación de éstos por partículas desprendidas en un evento de lluvia; sobre todo en los primeros meses de la investigación, cuando la cobertura fue heterogénea. Esto produjo que la emulsión pudiese actuar de mejor forma sobre los agregados, obteniéndose este resultado al final de la temporada.

El volumen de poros de drenaje rápido o macroporos ($>50 \mu\text{m}$), los poros de drenaje lento (50 a $10 \mu\text{m}$) y la continuidad o conectividad de éstos, tienen la mayor influencia sobre el movimiento de agua, aireación y el desarrollo de raíces. Este tamaño de poros permite que el exceso de agua, proveniente de la lluvia o riego, drene libremente debido a la fuerza de gravedad y, determinan la generación o no de escorrentía superficial. Los valores obtenidos para PDR y PDL, indican que a pesar que las medias no tienen una diferencia significativa, el valor más alto lo presenta TE+M, demostrando que la acción conjunta del mulch y la emulsión tienen su mayor efecto en la formación de este tamaño de poro.

Estudios sobre el efecto de la porosidad en la generación de escurrimiento en suelos graníticos (Mukhlisin *et al.*, 2006), muestran que una posible mejoría en la tasa de infiltración no sólo está influenciada por la macroporosidad sino también por la cantidad de poros de agua útil. Los poros con diámetro equivalente de <10 a $0,2 \mu\text{m}$ son los denominados de almacenamiento de agua, ya que retienen agua después que los macroporos drenan libremente.

Como se indicó, los macroporos, son los poros que tienen una mayor influencia en las propiedades hidráulicas, sin embargo, son los menos estables de las clases de tamaños de poros, y colapsan fácilmente al ser sometidos a presiones de distinta índole, como por ejemplo, el paso de maquinaria o el humedecimiento violento (*slaking*). Esto genera una disminución notoria en la capacidad de infiltrar y percolar agua a través del perfil cuando el suelo está húmedo.

En el Cuadro 5, se muestran los valores de velocidad de infiltración (VI) y conductividad hidráulica (Ks) del suelo estudiado.

Cuadro 5. Valores medios de velocidad de infiltración (VI) y conductividad hidráulica saturada (Ks), determinados al final del ensayo. \pm desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación en %, ($P \leq 0,05$).

Tratamiento	VI ----- (cm min⁻¹) -----	Ks
T0	1,85 \pm 0,88 (47,55)	0,28 \pm 0,16 (56,69)
TE	1,68 \pm 0,66 (39,36)	0,25 \pm 0,13 (50,76)
TM	0,92 \pm 0,35 (37,42)	0,22 \pm 0,11 (49,12)
TE+M	1,73 \pm 1,41 (81,76)	0,21 \pm 0,15(69,10)

Los valores no presentan diferencias estadísticas significativas.

La tasa de infiltración de agua (Cuadro 5) como un proceso clave en la erosión hídrica, determina cuánta agua, proveniente de la lluvia o del riego, se convierte en escurrimiento (Radcliffe y Rasmussen, 2000).

El mayor efecto de los tratamientos, sobre las propiedades de suelo, se espera en los primeros horizontes, debido a que las enmiendas fueron aplicadas en superficie, no obstante, los valores obtenidos para la velocidad de infiltración (VI) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, destaca la gran capacidad que tiene el primer horizonte del suelo para infiltrar agua, lo que otorga al suelo una gran resistencia a la generación de escorrentía. El suelo al presentar texturas gruesas, necesita de aplicaciones constantes de enmiendas durante varias temporadas para obtener resultados en esta propiedad.

Los valores de Ks (Cuadro 5) se estimaron a través de ajustes de la curva de velocidad de infiltración estabilizada. Se observa que para los distintos tratamientos la conductividad hidráulica (Ks) no presenta diferencias significativas, reafirmando la homogeneidad de las propiedades hidráulicas en el suelo estudiado. La Ks como un parámetro fundamental para entender el movimiento de agua en el perfil, indica la velocidad con la cual el agua fluye a través del suelo.

Al comparar los resultados obtenidos en el sitio de estudio con valores estándar para suelos de clases texturales gruesas (Radcliffe y Rasmussen, 2000), se desprende que la conductividad hidráulica en este suelo es elevada, lo que explicaría, como se verá más adelante, el bajo escurrimiento obtenido para las distintas lluvias naturales analizadas. Además, indica que el desprendimiento de suelo en este sitio específico no estaría explicado en su mayoría por la generación de escorrentía, sino por otros factores físicos, como la estabilidad de agregados.

Cabe destacar que al analizar los tratamientos a los que se aplicó mulch (TM y TE+M) los valores de los parámetros hidráulicos (VI y Ks) no resultan ser los más altos, es decir, que iniciado un evento de lluvia natural, serán los primeros tratamientos en generar escorrentía, lo que se contradice con el efecto de protección esperado para un

mulch. La explicación de esto es que la medición de VI y Ks fue hecha al final de la temporada de lluvias y la cobertura original de restos vegetales que tenía el ensayo se había perdido en gran parte, como consecuencia del arrastre producido por el escurrimiento y los fuertes vientos que dominan en la zona. Además, a través del método del cilindro infiltrómetro como prueba hidráulica de suelo, no se refleja el efecto de residuos superficiales en este parámetro. Es por esto que los resultados de sedimentos y escorrentía obtenidos para estos tratamientos, fueron influenciados por condiciones temporales durante el ensayo, mediciones no consideradas en los objetivos de esta investigación.

El hecho que la emulsión no produzca un mejoramiento significativo en las propiedades hidráulicas, ya ha sido observado en otros estudios (Ben-Hur, 1994; Lentz y Sojka, 1994). Lo anterior, es atribuido a la interacción que ocurre entre la emulsión, las partículas y agregados del suelo, siendo relevantes la composición química, iónica y su peso molecular los que otorgan la capacidad de la emulsión de mejorar las propiedades hídricas en el suelo. Diversos autores (Ben-Hur *et al.*, 1992; Barvenik, 1994; Ben-Hur y Keren 1997; Mamedov *et al.*, 2007) encontraron que las emulsiones orgánicas con mayor peso molecular, tienen mayor efecto en la velocidad de infiltración en suelos que presentan texturas gruesas.

Es importante recordar que las mediciones para caracterizar las propiedades hidráulicas fueron realizadas al finalizar la temporada de lluvias, por ende las condiciones temporales que pudo tener el suelo al momento del evento de lluvia no se manifestaron en estos resultados y tampoco reflejan el comportamiento del suelo al estar saturado de agua.

Sedimentos y escorrentía

Si bien en la temporada se verificaron varios eventos naturales de precipitación, se evaluaron aquellos tres más importantes, los cuales presentaron montos de 69, 10 y 29 mm en un día, ocurridos el 5 de Septiembre, 9 de Octubre y el 23 de Octubre del 2009, respectivamente.

El Cuadro 6 muestra los resultados obtenidos de masa de sedimentos y escorrentía para los tres eventos de precipitación.

Cuadro 6. Sedimentos y escorrentía producida por eventos naturales de precipitación. \pm desviación estándar, entre paréntesis el coeficiente de variación, en %.

Tratamiento	Sedimentos (g m ⁻²)	Escorrentía (L m ⁻²)
Precipitación 69 mm		
T0	18,43 \pm 2,69 (14,63)a	3,47 \pm 14,69 (21,18)a
TE	15,40 \pm 5,15 (33,43)a	2,89 \pm 9,62 (16,62)ab
TM	9,83 \pm 5,91 (60,15)a	1,50 \pm 1,88 (6,28) c
TE+M	11,77 \pm 3,98 (33,84)a	2,01 \pm 2,46 (5,88) bc
Precipitación 10 mm		
T0	1,78 \pm 1,89 (106,26)a	0,11 \pm 1,99 (93,26)a
TE	0,72 \pm 0,66 (91,14)a	1,52 \pm 1,23 (80,57)a
TM	0,27 \pm 0,15 (57,74)a	0,06 \pm 0,14 (57,74)a
TE+M	0,36 \pm 0,31 (85,89)a	0,07 \pm 1,34 (97,43)a
Precipitación 29 mm		
T0	2,27 \pm 0,59 (25,88)a	0,44 \pm 7,40 (83,47)a
TE	1,37 \pm 0,22 (16,34)ab	0,21 \pm 1,99 (31,91)a
TM	2,12 \pm 0,29 (13,69)a	0,31 \pm 0,93 (27,70)a
TE+M	0,94 \pm 0,39 (41,13) b	0,17 \pm 1,30 (31,13)a

Letras distintas en una misma columna acusan diferencias significativas entre tratamientos (Tuckey, $P \leq 0,05$).

A pesar que no existen diferencias estadísticamente significativas en la producción de sedimentos, los tratamientos que tienden a una mayor efectividad en el control de erosión hídrica, denotados por una menor media, son TM y TE+M, debido a que el mulch, al encontrarse homogéneamente distribuido en las parcelas, ejerce su protección completa a toda la superficie del suelo, generando una notoria reducción en este parámetro. Es en la primera precipitación que el mulch ejerce su mayor acción de control de erosión hídrica, generando aproximadamente un 53% menos de sedimentos en comparación con el testigo. No obstante lo anterior, esta protección no se sustenta en una diferencia estadísticamente significativa debido a la dispersión de los datos obtenidos, característica común de los resultados obtenidos en todas las lluvias evaluadas.

Se observa en el primer evento evaluado, que TM presenta una significativa menor generación de escorrentía debido al impedimento directo del flujo superficial de agua que tienen los restos vegetales. Esta condición genera una protección efectiva en la precipitación, que permite al agua infiltrar al perfil con mayor facilidad, explicando la menor generación de sedimentos de este tratamiento.

El efecto de las prácticas asociadas a la incorporación de mulch, están ligadas al mejoramiento de las propiedades físicas (porosidad y estabilidad de agregados) y biológicas (materia orgánica), que usualmente aumentan la velocidad de infiltración (Jordán *et al.*, 2010); no obstante, la cobertura de la superficie del suelo también influye beneficiosamente, tanto en la reducción directa del flujo, como en el retraso de la generación de escurrimiento (Ruy *et al.*, 2006). Esta es la razón por la cual las parcelas a las cuales se les aplicó mulch (TM y TE+M) presentan una menor escorrentía y generación de sedimentos en relación al resto de los tratamientos, a pesar que el mulch (TM) no produjo un gran mejoramiento en las propiedades de suelo analizadas.

Del tratamiento TE+M se desprende que la acción conjunta de la emulsión orgánica con el mulch tienen un efecto intermedio de escurrimiento entre TE y TM, siendo el mulch el factor que principalmente genera la protección.

En el tratamiento con emulsión orgánica (TE) el producto requiere un tiempo para ejercer su efecto floculador y establecer las uniones entre las partículas y los agregados que otorgan una mejora de las propiedades hidráulicas y que finalmente resultan en una mayor protección al suelo. Es por esta razón que en este primer evento el tratamiento no mostró un control significativo en la producción de sedimentos, ya que los agregados, al ser humedecidos, posiblemente sufrieron un proceso de colapso (*slaking*). No obstante lo anterior, se observa en el tratamiento TE una disminución de la escorrentía, indicando que a pesar que el producto no tuvo el tiempo suficiente para lograr una unión fuerte entre los agregados, la emulsión sí mejoró la retención superficial de agua de forma instantánea, lo que generó una disminución del volumen de escorrentía. Es probable que la emulsión orgánica retenga agua, debido a su composición iónica, y por ende disminuya la escorrentía.

En definitiva, los resultados de escorrentía obtenidos para el primer evento de lluvia (69 mm), muestran que existen diferencias significativas en todos los tratamientos y además presentan datos bastante homogéneos entre las repeticiones, indicando que para esta precipitación el mayor control se observó en la disminución de la escorrentía y no en la producción de sedimentos.

El segundo evento de precipitación medido fue de 10 mm. Como se observa en el Cuadro 6, tanto las medias de los sedimentos producidos como la escorrentía no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, aunque mantuvieron el mismo ordenamiento determinado en el evento anterior.

Las lluvias leves tienen la característica de ser muy irregulares en su distribución y, por ende, en sus efectos en la erosión hídrica (Wendt *et al.*, 1986; Dunkerley, 2008). Además, es importante destacar que para este evento de lluvia, algunas repeticiones de

los tratamientos no presentaron generación de escorrentía ni sedimentos, indicando que para este suelo las precipitaciones leves no representan un problema grave de erosión hídrica. Por esta razón, no es de extrañar que las mediciones realizadas entreguen datos tan dispersos entre sí, que provocan que las medias obtenidas por cada tratamiento no presenten diferencias significativas.

A pesar de lo anterior, se puede observar que las tendencias son las mismas que en la primera lluvia, siendo el testigo el tratamiento que mayor sedimento y escorrentía produjo. Además, los tratamientos que presentaron una menor generación de sedimentos fueron los tratamientos con mulch (TM y TE+M), demostrando que su efecto en esta segunda lluvia todavía ejerce una protección contra la erosión hídrica, es decir, que el residuo vegetal aún se encuentra bien distribuido en la superficie de la parcela.

Observando las medias de los sedimentos producidos por TE, y comparándolas con las del testigo, se desprende que la diferencia relativa que existe entre éstos (40%) es mayor que la registrada para el evento de lluvia anterior, indicando que la acción de la emulsión orgánica está comenzando a establecer las uniones que permiten una mejor estructuración, pero que aún, pasado un mes del inicio del ensayo, no ejerce su mayor efecto.

Como se indicó anteriormente, una lluvia leve se caracteriza por una mayor heterogeneidad en su distribución, por ende las escorrentías generadas en cada parcela están determinadas por condiciones edáficas a escala micro, por ejemplo grietas, o bien zonas de escurrimiento preferencial (Nearing *et al.*, 1999), lo que provoca resultados muy disímiles entre las repeticiones de cada tratamiento. Aún así, TM presenta una media muy baja en relación a los otros tratamientos, en especial con el testigo, donde se observan las mayores diferencias entre los tratamientos. Los tratamientos TE y TE+M presentan valores muy disímiles entre sí, pero logran generar una baja no significativa en relación a T0 en la generación de flujo superficial.

Luego de tres meses de aplicado la emulsión orgánica en las parcelas y, para el tercer evento de lluvia medida, Aqua Power® tiene su mayor efecto benéfico en la protección del suelo a la erosión hídrica (Cuadro 6). El producto necesitó de aproximadamente dos meses para generar uniones entre las partículas del suelo y los agregados de modo de fortalecer la estructura y poder ejercer su máxima protección.

Cabe destacar que los dos tratamientos a los cuales se aplicó la emulsión orgánica generaron significativamente una menor producción de sedimentos, en particular el tratamiento TE+M, que mostró diferencias significativas con T0 y TM, debido a la acción sinérgica del mulch con la emulsión. La emulsión provoca una mayor estabilidad de agregados, disminuyendo la dispersión de partículas de suelo cuando éste se encuentra húmedo; por su parte el resto de mulch presente en la superficie del suelo disminuye la escorrentía y el arrastre de partículas dispersas en las parcelas. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Babcock (2008) quien, estudiando distintos tipos de mulch con emulsiones estructuradoras de suelo, obtuvo que la acción sinérgica de ambos otorgaba la mejor respuesta del suelo en el control de la erosión hídrica, independiente del monto de lluvia.

Es importante destacar que el tercer evento de lluvia el efecto del mulch fue menor que en las precipitaciones previas; más aún, las medias obtenidas para TM resultaron ser muy similares a las del testigo, debido a que los restos vegetales, al estar expuestos en pendiente y al transporte generado por el escurrimiento, tendieron a disminuir su cobertura y su distribución en la parcela, por ende su protección al suelo se vio afectada. Es por lo anterior que el tratamiento TM presentó valores significativamente similares al testigo, ya que después de tres lluvias y fuertes vientos, la distribución original del mulch en la superficie de la parcela ha cambiado, acumulándose en las zonas bajas de la parcela y dejando áreas sin protección, condición similar a lo observado para las parcelas testigo. Aguirre (2008), evaluando distintas coberturas de suelo en taludes y su relación con la escorrentía y producción de sedimentos, observó que los restos vegetales presentaron una baja estabilidad temporal en su distribución, encontrando variaciones de hasta un 45% de la cobertura entre el inicio y el final del ensayo.

Es innegable que el efecto protector del mulch en las primeras lluvias fue mayor a los demás tratamientos, sin embargo, su poca permanencia en una superficie inclinada y sujeta a lluvia, hace de esta una enmienda poco recomendable de aplicarla sola, ya que para zonas donde la estación lluviosa supera los tres meses, el efecto protector tiende a desaparecer, desencadenando procesos erosivos.

Un caso particular se observa en las medias obtenidas para escorrentías, donde no se generaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, se observa que los resultados siguen un orden lógico en relación a la producción de sedimentos, siendo las medias más destacables las de TM y el testigo, ya que presentan valores bastante similares, debido a que las parcelas presentaron casi la misma condición en la superficie del suelo.

Comparando el resultado de escorrentías de TE y TM con TE+M, se desprende que es la emulsión la que provoca el mayor efecto en el control de erosión hídrica en esta lluvia, realzando la importancia que tiene la estabilidad de la cobertura del mulch durante la investigación. Además, se destaca el efecto de la emulsión en la disminución de escorrentía a través de la retención superficial de agua que ejerce su composición química.

Al analizar la relación de los resultados de sedimentos obtenidos con el monto de precipitación (Figura 4), se observa la eficacia que tiene cada uno de ellos en la protección del suelo.

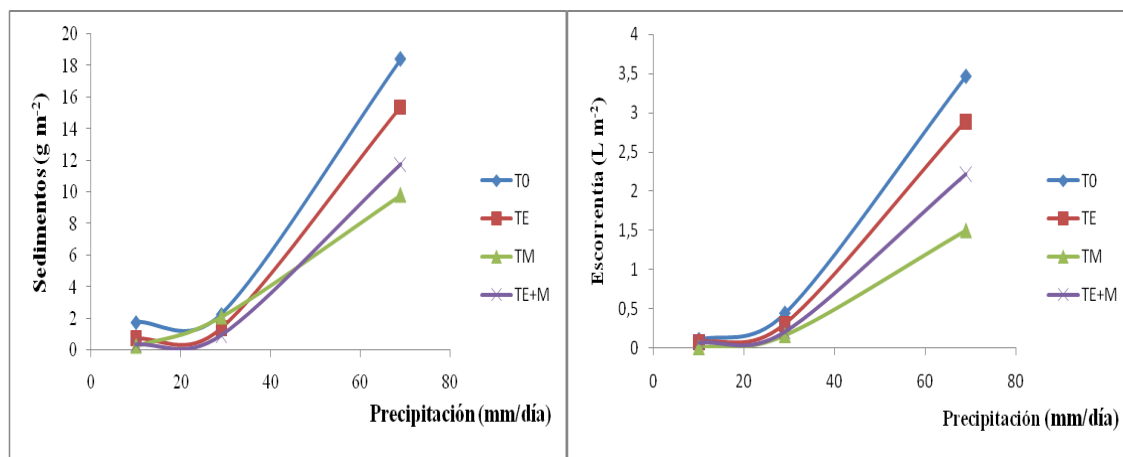


Figura 4. Relación entre los sedimentos producidos, escorrentía generada y la precipitación natural, por tratamiento.

Independiente del monto de precipitación, el testigo (T0) siempre generó una mayor pérdida de suelo, debido principalmente a la baja estabilidad de agregados que tiene el suelo y su bajo contenido de materia orgánica, que otorga al suelo una pobre capacidad para resistir el proceso erosivo del agua de lluvia.

En tanto, el tratamiento TM, mostró un buen comportamiento protector del suelo, con tasa de incrementos lineales al aumentar la intensidad de precipitación. Si se lograra mantener la cobertura y estabilidad del mulch en el tiempo, su efecto protector sería el mejor, especialmente con precipitaciones de alta intensidad.

Al analizar los tratamientos a los cuales se les aplicó la emulsión orgánica (TE y TE+M) se observa que ambos otorgaron una capacidad de resistir el desprendimiento de suelo hasta intensidades de precipitación de 25 mm/día aproximadamente, a partir de la cual comienza a ocurrir una pérdida de suelo a una mayor tasa. Al superarse este monto de lluvia, estos tratamientos presentaron una protección distinta uno de otro, siendo TE+M el que mantuvo más su efecto benéfico contra la erosión hídrica, explicado principalmente por la acción conjunta de ambas enmiendas.

No obstante, como se analizó anteriormente, los resultados tuvieron una ordenación distinta dependiendo de la condición temporal en que se encontraba el suelo y el tratamiento aplicado, sobre todo en el caso particular de TM, se observa que los tratamientos presentan un orden en la efectividad en el control de producción de sedimentos, siendo claramente T0 el tratamiento con menor protección y TM el que presentó la mayor eficacia en el control de la pérdida de suelo.

Analizando la relación que se obtiene de la escorrentía generada y la lluvia natural medida (Figura 4), se observa que los tratamientos presentan el mismo orden que el visto para la generación de sedimentos.

La generación de escorrentía comienza a manifestarse desde los 25 mm/día de monto donde se superan los 10 L producidos en la parcela de 20 m², con lluvias más leves, independientemente del tratamiento, no se observa escorrentía. Este resultado es sumamente significativo a la hora de establecer una metodología para evitar la

degradación del suelo, ya que éste monto de lluvia indica el punto en que se comienza uno de los procesos de mayor importancia en la generación de sedimentos, siendo aproximadamente 25 mm/día el valor crítico en el sitio de estudio. Además, reafirma la gran capacidad que tiene el suelo de infiltrar agua, debido principalmente a su clase textural y el alto gradiente de pendiente que presenta la ladera de cerro, que provoca un movimiento lateral de agua en el perfil. Lo anterior genera que las lluvias leves no manifiesten un gran riesgo de pérdida de suelo. Con lluvias superiores a los 25 mm/día los tratamientos comienzan a diferenciarse en su control de la generación de escorrentía, siendo el testigo el que mayor volumen de agua produce, debido a que no existen impedimentos que provoquen una disminución de la velocidad del flujo superficial.

CONCLUSIONES

El mayor efecto de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo se ve reflejado en la porosidad total y en la estabilidad de agregados del suelo, los que determinan que el tratamiento TE+M muestre un mejoramiento significativo con respecto a los otros tratamientos. El efecto que estos parámetros edáficos tienen sobre la escorrentía radica principalmente en una mayor infiltración de agua en el suelo (mayor porosidad de drenaje) y en una disminución en el colapso de los agregados, lo que provoca que las partículas de suelo permanezcan floculadas entre sí, evitando el desprendimiento y por ende su posterior transporte a través del escurrimiento superficial.

La acción conjunta del mulch y la emulsión orgánica está explicada principalmente por la capacidad de la emulsión de generar uniones más fuertes y estables entre las partículas y los agregados del suelo y por la protección física que ejerce el mulch al impedir el golpe directo de la lluvia sobre la superficie del suelo; la acción conjunta de ambos se traduce en la disminución del volumen de escorrentía que provoca la obturación de poros.

Los resultados de escorrentía y sedimentos entre los distintos tratamientos, presentan un orden temporal determinado principalmente por la distribución de la cobertura del mulch y la generación de agregados más fuertes y estables por parte de la emulsión a lo largo del ensayo. Es así que, en los primeros eventos medidos, la cobertura del mulch fue de aproximadamente un 100% de la superficie, entregando su mayor protección al suelo, sin embargo, a medida que transcurría el estudio la cobertura disminuyó, haciendo que los tratamientos, en especial TM, perdieran su efecto controlador de la erosión hídrica. En tanto, la emulsión orgánica necesita de aproximadamente 3 meses para lograr su mayor efecto benéfico, por ende, en los primeros eventos de lluvia medidos, no logró los resultados óptimos, mejorando su acción protectora al final del ensayo

Más investigaciones se requieren sobre el producto Aqua Power® y su acción con el mulch orgánico, además de adelantar la aplicación de estos tratamientos al período anterior a las lluvias de modo tal que los efectos de ellos no varíen de forma temporal y así, poder dilucidar su efecto en el control de la erosión hídrica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Zreig, M. 2006. Control of Rainfall-Induced Soil Erosion with Various Types of Polyacrylamide. *Journal of Soils and Sediments* 6 (3): 137-144.
- Aguirre, G. 2008. Evaluación de coberturas en taludes en un suelo sometido a extracción de áridos. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 39 p.
- Annabi, M., S. Houot, C. Francou, M. Poitrenaud and Y. Le Bissonnais. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban compost of different maturities. *Soil Science Society of American Journal* 71: 413-423.
- Arnaez, J., L. Lasanta, P. Ruiz-Flaño, and L. Ortigosa. 2006. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyard. *Soil and Tillage Research* 93: 324-334.
- Babcock, D. 2008. Performance of mulches and Polyacrylamide for erosion control and vegetative establishment. Thesis of Master of Science, Soil science. Graduate Faculty, North Carolina State University, 91 p.
- Baldock, J. and P. Nelson. 2000. Soil organic matter. pp: B25-B84. *In*: Sumner, M (Ed.). *Handbook of Soil Science*. University of Georgia, Athens. Taylor and Francis Group.
- Barthès, 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.
- Barvenik, F. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil Science* 158: 235–243
- Blake, G. and K. Hartge. 1986. Bulk density pp: 363-375. *In*: Klute, A. (Ed.) *Methods of soils analysis*. 2nd ed., ASA and SSSA. Madison WI. V1. 1188 p.
- Ben-Hur, M., M. Malik, J. Letey, and U. Mingelgrin. 1992. Adsorption of polymers on clays as affected by clay charge and structure, polymer properties, and water quality. *Soil Sci.* 153:349–356.
- Ben-Hur, M. 1994. Runoff erosion and polymer application in moving-sprinkler irrigation. *Soil Science* 158, 283–290
- Ben-Hur, M. and R. Keren. 1997. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. *Soil Science Society of American Journal* 61:565–570.
- Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer. pp: 825-844. *In*: Klute, A.

(ed.). Methods of soil analysis. 2^a ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 1188 p.

- Cantón, Y., A. Solé-Benet, C. Asensio, S. Chamizo and J. Puigdefábregas. 2009. Aggregate stability in range sandy loams soils relationships with runoff and erosion. *Catena* 77: 192-199
- CIREN. 1996. Estudio agrológico VI Región. Descripción de suelos materiales y métodos. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 114. 479 p.
- CIREN. 2006. Zonificación de erosión y fragilidad de los suelos del secano costero de las regiones VI y VII. Informe Técnico de Resultados. Centro de Información de Recursos Naturales 67 p.
- Da Veiga, M. y L. Do Prado. 1993. Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos. Food and Agriculture Organization, Italia. Documento de Campo N° 1. 34 p.
- Dane, J. H and J. W. Hopmans. 2002. Water retention and storage. pp: 717-720. *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.*
- Dunkerley, D. 2008. Rain event properties in nature and in rainfall simulation experiments: a comparative review with recommendations for increasingly systematic study and reporting. *Hydrological Processes* 22: 4415-4435.
- FAO. 1967. La erosión del suelo por el agua, algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Colección FAO. Food and Agriculture Organization. Fomento de tierras y aguas, Roma, Italia. 207 p.
- Farías, E. 2009. Cambio en las propiedades físicas de un suelo en laderas cultivadas con vid (*Vitis vinífera*). Memoria Ingeniero Agrónomo. Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 37 p.
- FFTC. 1995. Soil Conservation Handbook. Food and Fertilizer Technology Center. Book Series N° 11. 410 p.
- Flanagan, D., L. Norton, J. Peterson, and K. Chaudhari. 2003. Using polyacrylamide to control erosion on agricultural and disturbed soils in rainfed areas. *Journal of Soil and Water Conservation* 58 (5): 301-311.
- Flint, A. L. and 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.*
- Gee, G. W. and D. Or. 2002. Particle size analysis. pp: 255-293. *In: Dane, J. H. and Topp, G.C. (Eds.) Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America. Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.*

- Gyssels, G., J. Poesen, E. Bochet and Y. Li. 2005. Impact of plant root on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography* 29 (2): 189-217.
- Hartge, K.H. und R. Horn. 1992. Die physikalische Untersuchung von böden. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, Germany. 177 p.
- Hudson, N. (Ed.). 1995. Soil Conservation. Third Edition. Batsford Limited, London, Great Britain. 391 p.
- Issa, O., Y. Le Bissonnais, O. Planchon, D. Favis-Mortlock, N. Silvera and J. Wainwright. 2006. Soil detachment and transport on field and laboratory scale interrill areas: erosion processes and the size selectivity of eroded sediment. *Earth Surface Processes and Landform* 31: 929-939.
- Jordán, A., L. Zabala and J. Gil. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81: 77-85.
- Kay, B. and D., Angers. 2000. Soil Structure. pp: A229-A276. *In: Sumner, M (Ed.). Handbook of Soil Science. University of Georgia, Athens. Taylor and Francis Group.*
- Koulousi, M. and C. Giourga. 2007. Land abandonment and slope gradient as key factors of soil erosion in mediterranean terraced lands. *Catena*, 69: 274-281.
- Lal, R. (Ed.). 1994. Soil erosion research methods. New York, USA, CRC Press. 244 p.
- Le Bissonnais, Y., D. Blavet, G. De Noni, J. Laurent, J. Asseline, and C. Chenu. 2007. Erodibility of Mediterranean vineyard soils: relevant aggregate stability methods and significant soil variables. *European Journal of Soil Science*, 58: 188-195.
- Lentz R.D., R.E. Sojka. 1994. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Science* 158: 274–282
- Léonard, J. and P. Andrieux. 1998. Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in Southern France. *Catena* 32: 209–223.
- Liu, B., M. Nearing, P. Shi and Z. Jia. 2000. Slope length effects on soil loss for steep slopes. *Soil Science Society of American Journal* 64: 1759-1763.
- 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.
- Luzio, W., O. Seguel, M. Casanova. 2010. Suelos de la Zona Mediterránea Árida (Desde 32°00 LS hasta 37°45' LS) pp: 125-194. *In: Suelos de Chile (Luzio, W., Editor). Universidad de Chile. 364 p.*
- Mamedov, A., S. Beckmann, C. Huang, and G. Levy. 2007. Aggregate stability as affected by polyacrylamide molecular weight, soil texture and water quality. *Soil Science Society of American Journal* 71: 1909-1918.
- Martínez-Casasnovas, J. and M. Ramos. 2006. The cost of soil erosion in vineyard field in the Panèides-Anoia region (NE Spain). *Catena* 68: 194-199.

- Morgan, R. (Ed.). 2005. Soil Erosion and Conservation. National Resources Institute Cranfield University, UK. 304 p.
- Mukhlisin, M., K. Kosugi, Y. Satofuka and T. Mizuyama. 2006. Effects of soil porosity on slope stability and debris flow runout at weathered granitic hillslope. *Vadose Zone Journal* 5: 283–295.
- Nearing, M., G. Govers, and L. Norton. 1999. Variability of soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of American Journal* 63: 1829-1835.
- Nissen, J. y K. San Martín. 2004. Uso de poliacrilamida y el riego en el manejo hídrico de lechugas (*Lactuca sativa L.*). *Agro Sur* 32(2): 1-12.
- Noguchi, S., Y. Tsuboyama, R. Sidle and I. Husoda. 1999. Morphological characteristics of macropores and the distribution of preferential flow pathways in a forested slope segment. *Soil Science Society of American Journal* 63: 1413-1423.
- Öztürk, H., C. Türkmen, E. Erdogan, O. Baskan, O. Dengiz, and M. Parlak. 2005. Effects of a soil conditioner on some physical and biological features of soils: results from a greenhouse study. *Bioresource Technology* 96 (17): 1950-1958.
- Pagliai, M., and N. Vignozzi. 2002. The soil pore system as an indicator of soil quality. pp. 71-82. *In: Pagliai and Jones (Eds). Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. Advances in Geocology* 35. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany. 588 p.
- Polyakov, V. and R. Lal. 2008. Soil organic matter and CO₂ emission as affected by water erosion on field runoff plots. *Geoderma* 143: 216-222.
- Quiquerez, A., J. Brenot, J. Garcia and C. Petit. 2007. Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: Implication for medium-term soil sustainability in Burgundian vineyards. *Catena* 73: 89-97.
- Radcliffe, D. and T. Rasmussen. 2000. Soil Water Movement. pp: A88-A127 *In: Sumner, M (Ed.). Handbook of Soil Science. University of Georgia, Athens. Taylor and Francis Group.*
- Ramos, M. and J. Martínez-Casasnovas. 2006a. Erosion rates and nutrient losses affected by composted cattle manure application in vineyard soils of NE Spain. *Catena* 68: 177-185.
- Ramos, M. and J. Martínez-Casasnovas. 2006b. Nutrient losses by runoff in vineyard of the Mediterranean Alt Penedès region (NE Spain). *Agriculture, Ecosystem and Environment* 113: 356-363.
- Rhoton, F., M. Shipitalo and D. Lindbo. 2002. Runoff and soil loss from midwestern and southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. *Soil and Tillage Research* 66: 1-11.
- Ruy, S., A. Findeling and J. Chadoeuf. 2006. Effect of mulching techniques on plot scale runoff: FDTF modeling and sensitivity analysis. *Journal of Hydrology*, 326: 277-294.

- Sadzawka, A., R. Grez, M.L. Mora, N. Saavedra, M.A. Carrasco y C. Rojas. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos Chilenos. Comisión de Normalización y Acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 113 p.
- Santibáñez, F. y J. Uribe. 1993. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones Sexta, Séptima y Octava. Ministerio de Agricultura. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile. 99 p.
- Schwab, G., D. Fangmeier, W. Elliot and R. Frevert. 1993. Soil and Water Conservation Engineering. 4^aed. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 244 p.
- Skopp, J. 2000. Physical properties of primary particles. pp: A3-A18. *In*: Sumner, M (Ed.). Handbook of Soil Science. University of Georgia, Athens. Taylor and Francis Group.
- 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 Survey Staff. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Servicio de Conservación de los Recursos Naturales. Décima Edición. 331p.
- Texeira, A.J., A. Soares e R. Garrido. 1999. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro, Brasil. 340 p.
- Torri, D. and L. Borselli. 2000. Water erosion. pp: G171- G192. *In*: Sumner, M (Ed.). Handbook of Soil Science. University of Georgia, Athens. Taylor and Francis Group.
- Wendt, R., E. Alberts and A. Hjelmfelt. 1986. Variability of runoff and soil loss from fallow experimental plots. *Soil Science Society of American Journal* 50:730-736.
- Zeigher, M. and N. Fohrer. 2009. Impact of organic farming system on runoff formation processes: A long-term sequential rainfall experiment. *Soil and Tillage Research* 102: 45-54.

APÉNDICE I

Descripción morfológica del perfil de suelo estudiado.

Ap: 0-15 cm. Pardo amarillento claro(10YR 6/4)s; Pardo oscuro (7,5 YR 3/2)h; franco arcillo arenosa gravosa; 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.

A: 15-30 cm. Pardo amarillento (7,5 YR 5/3)s; Pardo (7,5 YR 3/3)h; franco arcillo arenosa gravosa; 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.

B₁: 30-45 cm. Pardo fuerte (10YR 5/4)s; Pardo(7,5 YR 4/3)h; franco arcillo arenosa gravosa; 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.

B₂: 45-60 cm. Pardo fuerte (7,5 YR 5/6)s; Pardo (7,5 YR 4/4)h; franco arcillosa gravosa; 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.

C: 60-85 cm. Pardo (7,5 YR 4/4)h; arcillo limosa; muy plástico y muy adhesivo; extremadamente duro; maciza. Granito meteorizado.