



## Evaluación de coberturas de taludes en un suelo sometido a extracción de áridos subsuperficiales

Soil cover assessment in slopes of a soil after subsurface strata extraction

Seguel, O.<sup>a</sup>, Casanova, M.<sup>a</sup>, Aguirre, G.<sup>a</sup>, Kremer, C.<sup>a</sup>, Nájera, F.<sup>a</sup>, Benavides, C.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004, Santiago, Chile.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 04.06.14

Accepted 12.09.14

#### Keywords:

Water erosion

Runoff

Rainfall intensity

Slope gradient

#### Original Research Article

Soil Science

#### \*Corresponding author:

Oscar Seguel

E-mail address:

[oseguel@uchile.cl](mailto:oseguel@uchile.cl)

### ABSTRACT

The run-off and sediment yield were measured in steeply slopes covered with inert protection or vegetal species in two slopes gradients. The study was carried out in Maipú (Santiago) after the subsoil extraction of Rinconada de Lo Vial series (Typic Xerochrepts), a sandy loam soil from Central Chile. Covers of sea fig (*Carpobrotus* sp.) (T1), maize stubble (T2) and coarse gravel (T3) were evaluated using a control with spontaneous vegetation (T0). The treatments were established in two slope gradients (1:2.25 and 1:1.00, respectively) with three replicates. Precipitations were simulated by sprinkle irrigation, with rainfall intensities between 1.43 and 1.87 mm h<sup>-1</sup>, evaluating the run-off (%) and the mass of eroded sediments.

The control (T0) showed the higher run-off, reaching values of 30 and 50% of total rain in slopes 1:2.25 and 1:1.00 respectively, the run-off of the remaining treatments were significantly lower and without differences among them. The sediment yield is not significant, reaching 10 and 26 kg ha<sup>-1</sup> (slopes 1:2.25 and 1:1.00) in the control and less than a half for the remaining treatments. Although the use of organic residues assures a high cover, the maize stubble (T2) did not present the best results in run-off and sediment yield, with sea fig (T1) and gravel (T3) being the most recommended for slope protection. In the studied site, precipitations greater than 1.65 and 1.80 mm h<sup>-1</sup> produced an increase of the evaluated parameters in the 1:2.25 and 1:1.00 slopes, respectively.

### RESUMEN

Se midió la generación de sedimentos y la escorrentía en taludes protegidos con coberturas inertes o especies vegetales, en dos gradientes de pendiente. El estudio se realizó en Maipú (Santiago) posterior a la extracción de áridos del subsuelo de la Serie Rinconada de Lo Vial (Typic Xerochrepts) de clase textural franco arenosa. Se evaluaron coberturas de doca (*Carpobrotus* sp.) (T1), rastrojo de maíz (*Zea mays*) (T2) y guijarros (T3), usando como testigo la vegetación espontánea (T0). Los tratamientos se establecieron en dos gradientes de pendiente (1:2,25 y 1:1,00) con tres repeticiones. Se simularon precipitaciones mediante un sistema de riego por aspersión, con intensidades entre 1,43 y 1,87 mm h<sup>-1</sup>, evaluando la escorrentía (%) y la masa de sedimentos erosionados.

El testigo (T0) presentó la mayor escorrentía, alcanzando valores de 30 y 50% de la precipitación total para los taludes 1:2,25 y 1:1,00, respectivamente. Los restantes tratamientos alcanzaron una escorrentía significativamente inferior (20 y 30% para los taludes 1:2,25 y 1:1,00, respectivamente) y sin diferencias entre ellos. La producción de sedimentos no es significativa, alcanzando 18 y 26 kg ha<sup>-1</sup> (taludes 1:2,25 y 1:1,00) en el testigo y menores a 9 y 16 kg ha<sup>-1</sup> para los restantes tratamientos. Si bien el uso de residuos orgánicos asegura una alta cobertura, el rastrojo de maíz (T2) no presentó los mejores resultados en escorrentía y generación de sedimentos, siendo la doca (T1) y los guijarros (T3) los medios más recomendados para la protección de taludes. En el suelo estudiado, precipitaciones mayores a 1,65 y 1,80 mm h<sup>-1</sup> generaron un aumento de los parámetros evaluados en los taludes 1:2,25 y 1:1,00 respectivamente.

**Palabras clave:** Erosión hídrica, escorrentía, intensidad de precipitación, gradiente de pendiente.

### INTRODUCCIÓN

La extracción de áridos es una actividad que ejerce presión sobre los recursos naturales. Un caso especialmente importante es la extracción de áridos en terrenos de uso agrícola, donde los materiales de interés se

encuentran en estratas subsuperficiales, que en el caso de Chile central corresponden a depósitos aluviales.

Para su extracción se necesita remover los horizontes superficiales del suelo (capa arable), reponiéndolos una vez que se ha extraído el material de interés (Macaya y Gallardo, 2007). La intervención de suelos en el

ámbito de la extracción de áridos genera cambios en las propiedades de los suelos, pero además alteraciones topográficas entre áreas explotadas y no explotadas, las cuales quedan interconectadas mediante taludes.

Un talud es el borde inclinado de un corte al terreno natural o de un terraplén; la posibilidad que un talud quede en condiciones de ser utilizado agrícolamente dependerá de su extensión e inclinación (McKyes, 2000). Debe ser construido de manera estable y los sistemas de protección utilizados deben considerar aspectos de conservación de flora y fauna benéfica (funcionalidad ecológica) y de estética, además de cumplir con el objetivo de evitar procesos erosivos (Cummings *et al.*, 2005). Un talud que no esté debidamente estabilizado puede generar deslizamientos de suelo o arrastre de sedimentos que en último término causarán daño a la población y pérdidas económicas (Schwab *et al.*, 1993).

La erosión acelerada de suelos, definida como un proceso de degradación de éstos inducida por el hombre; implica desprendimiento, transporte y deposición de materiales del suelo por efecto de agentes diversos (Blanco y Lal, 2008). Según Ellies (2000), la erosión es quizás el proceso de degradación de suelos que causa un mayor impacto, ya que es irreversible, de gran magnitud y, en casos extremos, puede provocar en un talud la pérdida total del suelo. El régimen pluviométrico de Chile central y la alta intensidad de uso de los suelos sitúan a la erosión hídrica como un agente importante de degradación de los suelos (Bonilla y Johnson, 2012; Bonilla y Vidal, 2011; CIREN, 2010).

De la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS, USLE por el acrónimo en inglés Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier y Smith, 1978) se puede concluir que el proceso erosivo está relacionado con: i) la erodabilidad del suelo, la cual depende de las propiedades intrínsecas de éste (textura, estructura, velocidad de infiltración, materia orgánica, entre otros), ii) el poder erosivo de la lluvia, el cual depende de la frecuencia, intensidad y duración de los eventos pluviométricos, iii) el escurrimiento superficial, característica proporcionada por la topografía (aspecto, gradiente, longitud y forma) y, iv) las prácticas de manejo y de control de la erosión, que constituyen un factor de protección por medio del uso de coberturas vivas o inertes (Foster, 1988; Soil Survey Staff, 1993; FAO, 2000).

En general, los suelos con dominancia de partículas en el tamaño limo y arena fina son más propensos a erosionarse, debido a que se dispersan y transportan con mayor facilidad que partículas de arcilla, que tienden a formar microagregados estables, o de arena gruesa, que por su masa requieren de una mayor energía para transportarse; a su vez, la estructuración mediada por la materia orgánica favorecerá la mayor tasa de infiltración, evitando la generación de escurrimiento superficial (Morgan, 2005).

Si el impacto de las gotas de lluvia ocurre sobre el suelo desnudo, se promueve la desagregación de las partículas, formándose un sello superficial que disminuye la tasa de infiltración. Cuando la intensidad de la precipitación es mayor que ésta, se produce un escurrimiento superficial tal que aumenta la tasa de erosión (Auerswald, 2008). La capacidad que tiene la lluvia para provocar la erosión de suelos es atribuida a la velocidad con que caen las gotas y al tamaño de éstas, en otras palabras, a su energía cinética, que depende de la frecuencia y duración de las precipitaciones (Morgan, 2005). Esta energía se manifiesta sólo si existe una pendiente que favorezca el flujo del agua, siendo la erosión directamente proporcional al gradiente de la pendiente (Lal, 1988).

Con respecto a la cobertura vegetal, la acción de ésta como agente protector de la erosión apunta a la interceptación de las gotas de lluvia, absorbiendo la energía cinética de éstas, reduciendo la velocidad de la escurrimiento que contribuyen al desprendimiento de partículas del suelo (Silburn *et al.*, 2011). Más aún, diferentes tipos de cobertura ofrecen diferentes grados de protección, de modo que la influencia humana, mediante las alternativas de uso de la tierra, puede controlar la velocidad de la erosión en un grado considerable (Stocking, 1988). Sin embargo, la presencia de vegetación tiende a retener el agua de lluvia, lo que induce un aumento en el contenido de agua en el suelo de los taludes, predisponiéndolo hacia una falla por deslizamiento en cualquier momento en que se presente una lluvia de suficiente duración que termine por saturarlo (Schwab *et al.*, 1993).

Stocking (1988) destaca los efectos ambivalentes en el uso de cubiertas vegetales, las cuales, bajo ciertas condiciones, desencadenan o aceleran procesos erosivos debido al aumento en la turbulencia del flujo superficial del agua y al incremento del tamaño de las gotas, aumentando la energía cinética de éstas (Lam, 1978). Por otra parte, Youlton *et al.* (2010) indican que cubiertas inertes de lodos agroindustriales podrían tener un control más eficiente de la erosión que una pradera de forrajeras; sin embargo, la persistencia en el tiempo de estas cubiertas es menor que la de una cubierta viva (Silva, 2014).

Es bien sabido que un talud es más estable mientras menor sea su gradiente de pendiente. Sin embargo, Crespo Villalaz (2005) precisa que esta apreciación es sólo válida para taludes con inclinación menor de 50° (111%) en donde se observa un beneficio importante al disminuir su gradiente. Por otra parte, la recomendación entregada por el SAG (Servicio Agrícola y Ganadero de Chile) establece que los taludes perimetrales en sectores de extracción de áridos deben ser de 45% (1:2,25 ó 24°); por lo tanto, el gradiente de la pendiente será un aspecto importante en el diseño y posterior uso de técnicas de estabilización (Ruiz, 2005).

Lo expuesto anteriormente demuestra que existe una gran cantidad de factores a considerar durante el diseño y construcción de taludes, así como también en el posterior uso de técnicas de estabilización. En el presente trabajo, se plantea que una cobertura viva generará una mayor protección contra la erosión (menor escorrentía y sedimento) en comparación a coberturas inertes, pero que su éxito dependerá de un rápido establecimiento, el que será exitoso en gradientes de pendiente menores a 50%. Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo fue evaluar el efecto de coberturas vegetales e inertes sobre la estabilización de dos diferentes gradientes de pendiente.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Sitio de estudio

El estudio fue realizado entre Agosto de 2006 y Junio de 2007 en la Estación Experimental Germán Greve Silva, ( $33^{\circ} 28' \text{ LS} - 70^{\circ} 50' \text{ LO}$ ), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, en la Comuna de Maipú (Región Metropolitana de Chile). El clima de la zona es de tipo templado cálido, con montos de precipitación promedio anual de 317 mm, concentrados principalmente en invierno, con un periodo seco que puede abarcar desde 7 a 10 meses (Olivares *et al.*, 1998).

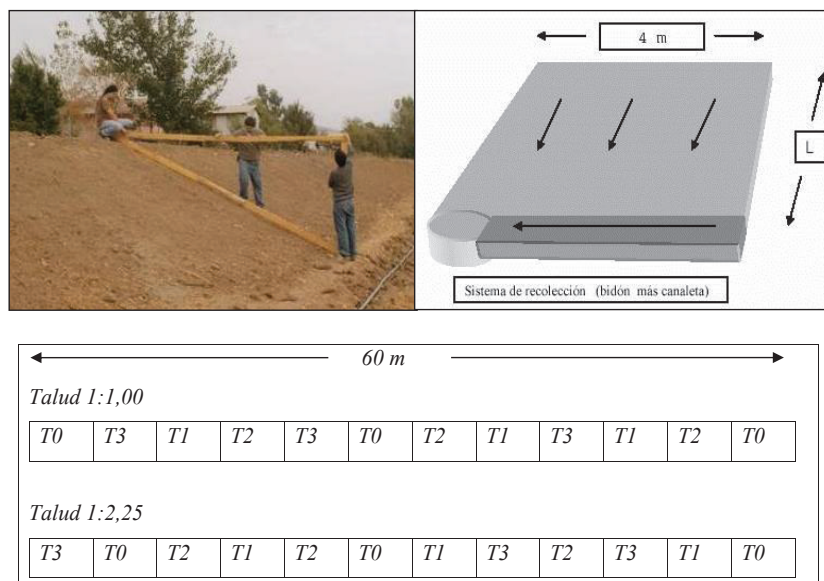
Se utilizó un talud que limita un sitio de extracción de áridos de otro no apto para su explotación. La extrac-

ción de áridos se efectuó entre los años 2001 y 2004, sobre suelos de la Serie Rinconada de Lo Vial, perteneciente a la Familia franca gruesa, mixta, térmica de los Typic Xerochrepts (CIREN-CHILE, 1996), la cual presenta un fragipán a aproximadamente 70 cm de profundidad. El suelo original presenta una clase textural franco arenosa (68,3% de arena, 16,8% de limo, 14,9% de arcilla) y un contenido de materia orgánica de 1,86%.

La explotación, una vez restituido el material suelo (escarpe), generó una diferencia de cota de 2,0 a 2,5 m con respecto al sitio no explotado. Al inicio del estudio se construyó artificialmente un talud con una retroexcavadora y dos gradientes de pendiente (1:2,25 y 1:1,00), los que fueron ajustados con un bastidor de madera y corroborados con nivel de topógrafo Carl Zeiss (modelo 55052, Alemania).

### Tratamientos y diseño experimental

Se construyeron 24 parcelas (4 tratamientos de coberturas, 2 gradientes de pendiente y 3 repeticiones) de 4,0 m de ancho, dejando un borde de 0,5 m a cada lado. La longitud de las parcelas varió ligeramente en función del gradiente, para incluir su efecto sobre la velocidad del escurrimiento superficial bajo los distintos sistemas de protección (Figura 1). En la base del talud se instaló un sistema de recolección de escorrentía y sedimentos (canaleta con bidones de 50 L) y en la cabecera del talud se construyó una zanja de desviación para evitar aportes de sedimentos desde fuera de la zona de evaluación.



**Figura 1.** Vista general del talud (arriba, izquierda); esquema de la unidad experimental (arriba, derecha) y disposición de las parcelas con coberturas de vegetación natural (T0), doca (T1), rastrojo de maíz (T2) y guijarro (T3). Los taludes 1:1,00 y 1:2,25 son contiguos.

**Figure 1.** General view of the slope (above, left); scheme of the experimental unit (above, right) and final distribution of plots with covers of natural vegetation (T0), sea fig (T1), maize stubble (T2) and cobbles (T3). Slopes 1:1.00 and 1:2.25 are contiguous.

Una vez fijados ambos gradientes del talud, se establecieron las coberturas, de tipo inerte (guijarros, rastrojo) y viva (espontánea o cultivada), que definieron los tratamientos (Cuadro 1).

El talud 1:2,25, como se señaló previamente, es recomendado por el Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (SAG) para taludes perimetrales (Ruíz, 2005), en tanto que el talud 1:1,00, equivalente a una inclinación de 100%, se planteó como complemento a una condición límite de riesgo erosivo. La disposición final de las parcelas (Figura 1) consideró un diseño de dos ensayos (dos taludes) con los tratamientos dispuestos completamente al azar en bloques continuos.

Para el tratamiento T1, se usaron plantas de doca (*Carpobrotus* sp.) dado su amplio uso en la estabilización de taludes y su adaptabilidad a condiciones adversas de suelo. Se establecieron a una densidad de cuatro plantas por metro lineal, con hileras perpendiculares al gradiente y distanciadas a 30 cm; en el caso del tratamiento T2, la cobertura de rastrojo de maíz fue equivalente a una dosis de 6 Mg ha<sup>-1</sup> y un mínimo de 90% de cobertura; mientras que el tratamiento T3 se orientó a alcanzar con los gujarros (75 a 250 mm de diámetro) un mínimo de cobertura del 70%. En estos dos tratamientos (T2 y T3) fue necesaria la aplicación de glifosato para mantener las cubiertas libres de malezas, mientras que para el T1 este control fue manual. En el tratamiento testigo (T0) se mantuvo solo la vegetación espontánea, a la que se le realizó un corte mecánico con desbrozadora para evitar la producción de semillas. No se aplicó ningún tipo de fertilizante.

Para mantener en el tiempo las coberturas vivas y para controlar las características de la precipitación, se diseñó un sistema de riego por aspersión a una altura de 2,5 m y separado en dos sectores, correspondientes a cada talud. Cada sector constó con dos líneas laterales paralelas de 60 m, ubicadas en la parte superior e inferior de las parcelas; cada lateral incluyó 11 aspersores, separados a 6 m.

### Evaluaciones

Se realizó una caracterización física del suelo del talud, que incluyó el contenido gravimétrico de agua an-

tes de cada lluvia artificial, densidad aparente (Da) con cilindros de 136 cm<sup>3</sup> (5 cm de alto y 5,9 cm de diámetro) y textura con el hidrómetro de Bouyoucos, todos métodos descritos por Sandoval *et al.* (2012). Para la determinación de la Da se tomaron dos muestras de 0 a 10 cm de profundidad por unidad experimental; para la determinación de textura se tomaron seis muestras por talud, a la misma profundidad.

Se calculó la cobertura de los distintos tratamientos mediante un método de análisis fotográfico, donde las imágenes fueron procesadas con el programa computacional Image J, el cual permite calcular la superficie cubierta por el respectivo tratamiento a partir de cambios tonales de las imágenes. Para esto, en los meses de septiembre, noviembre y diciembre se tomaron fotografías a una altura de 4 m y a una distancia perpendicular a la superficie del talud de aproximadamente 3,8 m, con corrección de ángulo para el talud 1:2,25.

Mediante el sistema de riego se simularon cinco eventos de lluvia, con intensidades de precipitación crecientes (1,43; 1,54; 1,65; 1,80 y 1,87 mm h<sup>-1</sup>), las cuales se encuentran dentro del rango de intensidades medias y máximas de lluvias naturales de un año normal para la zona de estudio (López, 2005). Tras cada simulación, se midió el volumen de agua en el sistema de recolección de escorrentía y se procedió a tomar tres alícuotas de 200 mL, estimando el contenido de sedimentos mediante una variante del método indicado por Da Veiga y Do Prado (1993). Para esto, se sometieron las alícuotas a una temperatura de 70° C durante 2 a 3 días, hasta la evaporación total del agua, determinando por gravimetría la masa de partículas desprendidas por erosión.

Se instalaron dos pluviómetros que registraron los montos de las precipitaciones. A partir del total de agua aplicada en la superficie de la parcela, se calculó el porcentaje de escurrimiento como la fracción de agua colectada en el sistema de captación de escorrentía en relación al monto total de agua aplicada, expresada en porcentaje. Entre uno y otro ensayo (intensidad de precipitación) se esperaron tres días para asegurar una condición drenada del suelo, con una situación de equilibrio hidrostático similar.

En términos estadísticos, se determinaron los parámetros básicos de dispersión (media aritmética, des-

**Cuadro 1.** Tratamientos de cobertura del ensayo, en que la gradiente indica la razón vertical:horizontal.

**Table 1.** Cover treatments of the trial; the gradient indicates vertical:horizontal ratio.

|    | Cobertura                                    | Gradientes de pendiente |     |
|----|--|-------------------------|-----|
| T0 | Testigo, suelo con vegetación espontánea     | 1:2,25;                 | 1:1 |
| T1 | Doca ( <i>Carpobrotus</i> sp.)               | 1:2,25;                 | 1:1 |
| T2 | Residuo de maíz ( <i>Zea Mays</i> L.) entero | 1:2,25;                 | 1:1 |
| T3 | Guijarro                                     | 1:2,25;                 | 1:1 |

viación estándar y coeficiente de variación). Los resultados de escorrentía y producción de sedimentos fueron sometidos a un análisis de varianza, para detectar posibles diferencias significativas entre tratamientos y entre taludes, aplicando la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) cuando fue necesario. Finalmente, se realizó un ajuste de regresión entre escorrentía y sedimentos con un nivel de significancia de 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas del suelo

Los resultados de Da y textura dan cuenta de la homogeneidad del sitio de estudio. La Da fluctuó entre 1,29 y 1,35  $\text{Mg m}^{-3}$ , con coeficientes de variación menores a 5% y la textura (70,8% de arena, 19,0% de limo y 10,2% de arcilla) lo define como un suelo Franco arenoso. La disturbación generada por la extracción de áridos y posterior construcción del camellón determinó la mezcla de horizontes, resultando en un contenido de materia orgánica de 0,56%.

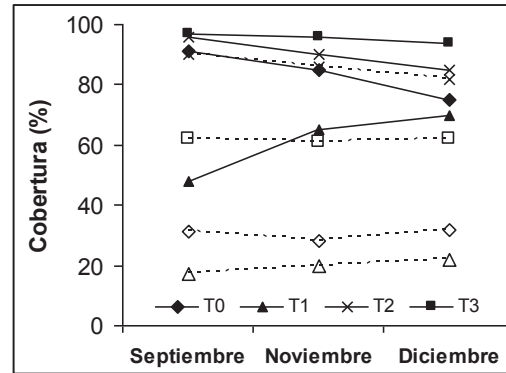
### Contenido de agua

Se midió el contenido de agua en el suelo antes de cada simulación de precipitaciones, encontrándose valores gravimétricos (base masa) entre 2,24 y 5,05% en el sector con talud 1:2,25 y entre 1,84 y 3,02% en el sector con talud 1:1, con una alta homogeneidad en su distribución ( $CV < 20\%$ ). Estos valores fueron menores incluso que la retención a 1500 kPa de tensión (5,3% base masa) descrita para el sitio post reposición del suelo (Cárcamo, 2009), lo que indica que la mezcla de horizontes con el subsuelo más arenoso afecta también a la zona de los taludes.

Bodí *et al.* (2012) destacan que el contenido inicial del agua del suelo es relevante en la tasa de erosión, pues afecta el tiempo requerido para la saturación del suelo, momento a partir del cual se genera la escorrentía superficial. En el caso de las precipitaciones simuladas en el presente estudio, éstas se realizaron en verano, asegurando un suelo seco al aire previo a cada evento de lluvia, por lo que este factor no estaría influyendo en la generación de sedimentos y escorrentía entre los tratamientos para las diferentes intensidades de precipitación. Por otro lado, el bajo contenido de materia orgánica (0,56%) descartaría una posible repelencia al agua que pudiese afectar el proceso de infiltración (Hallet, 2008).

### Evolución de las coberturas en el tiempo

La evaluación del porcentaje de cobertura se realizó en tres tiempos desde el establecimiento hasta el término del ensayo (Figura 2). El talud con pendiente



**Figura 2.** Evolución de las coberturas de suelo en el tiempo. Talud 1: 2,25 (línea llena) y 1:1 (línea punteada). Los tratamientos se detallan en el Cuadro 1

**Figure 2.** Soil cover evolution in function of time. Slope 1:2.25 (full line) and 1:1 (dotted line). The treatments are detailed in Table 1.

1:2,25, presentó los mayores niveles de cobertura en relación al talud 1:1,00, pero con una mayor variación en el tiempo. En el talud 1:2,25, la doca (T1) aumentó su cobertura desde un 45% aproximado al momento del establecimiento de las plantas, a un valor cercano al 70% en diciembre, momento en que se realizó la última medición, lo que refleja su buena adaptación a condiciones de enraizamiento adversos, principalmente baja fertilidad natural y baja retención de agua. En el mismo transcurso de tiempo, la cobertura de guijarros (T3) se mantuvo prácticamente estable en un 95%, mientras que las coberturas testigo (T0) y residuos de maíz (T2) disminuyeron ligeramente su porcentaje, desde un 90 a un 80% en promedio.

En el testigo (T0), muchas especies emergieron gracias a las lluvias invernales, siendo incluidas en las mediciones iniciales de cobertura, pero fueron desapareciendo por la proximidad de la estación seca y no prosperaron con las lluvias generadas artificialmente. En este sentido, la zona climática ejerce un rol preponderante sobre la prevención de la erosión, ya que precipitaciones distribuidas a lo largo de todo el año asegurarán un rápido crecimiento de la vegetación nativa, asegurando una alta cobertura a lo largo del año y disminuyendo la escorrentía superficial (Gyssels y Poessen, 2003; Saavedra *et al.*, 2005). El residuo de maíz (T2) bajó su porcentaje de cobertura, puesto que éste comenzó a descomponerse, debido a las condiciones de alta temperatura que se dieron al momento de las evaluaciones.

La construcción del talud 1:1 dejó al descubierto el fragipán característico de la Serie Rinconada de Lo Vial (CIREN, 1996), ubicado entre los 60 y 100 cm de profundidad, lo que dificultó el establecimiento vegetal, tanto de la doca (T1) como de la vegetación espontánea del tratamiento testigo (T0), donde solo se

establecieron las plantas en la parte superior e inferior del talud, esto es, por encima y por debajo del fragipán, generando coberturas menores a 40% (Figura 2). El tratamiento con guijarros (T3) no superó el 60% de cobertura, debido a que por la pronunciada pendiente del talud el ordenamiento fue inestable, produciendo un constante deslizamiento de los clastos. La cobertura de residuo de maíz (T1) también resultó inestable, ocurriendo deslizamientos en reiteradas ocasiones. Por otra parte, al igual que en el sector 1:2,25, también ocurrió descomposición del residuo de maíz, situación que fue reportada por Silva (2014) para un mulch orgánico en una ladera sobre un suelo granítico, el cual ni aún teniendo un proceso previo de compostaje logró perdurar con sus efectos benéficos (protección ante la erosión, principalmente) por más de una temporada.

Para efectos de la evaluación de la efectividad de cada cobertura, en cada medición de escorrentía se reubicó el residuo para lograr un máximo resultado.

A pesar de la menor cobertura en el talud 1:1, la superficie desnuda correspondió principalmente al fragipán, material capaz de desarrollar una alta estabilidad (Domínguez-Villar *et al.*, 2012), lo que permitió que los distintos tratamientos fueran igualmente eficientes en detener la escorrentía y disminuir la generación de sedimentos.

**Efecto de las precipitaciones sobre la escorrentía y generación de sedimentos**

Para las cinco precipitaciones artificiales generadas con el sistema de riego (1,43; 1,54; 1,65; 1,80 y 1,87 mm h<sup>-1</sup>), los cuadros 2 y 3 presentan los resultados de esco-

**Cuadro 2.** Porcentaje de escurrimiento y masa de sedimentos originados en el talud 1:2,25 con distintas intensidades de precipitación. Letras indican diferencias entre tratamientos (Tukey, P≤0,05) dentro de cada nivel de precipitación.

**Table 2.** Runoff percentage and sediment mass collected from 1:2.25 gradient at different intensities of precipitation. Letters denote significant differences between treatments (Tukey, P≤0.05) within each rain intensity.

| Tratamiento             | Escurrimiento superficial (%) |      |        | Producción de Sedimentos (kg ha <sup>-1</sup> ) |      |        |
|-------------------------|-------------------------------|------|--------|---|------|--------|
|                         | Media                         | DS   | CV (%) | Media   | DS   | CV (%) |
| 1,43 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 8,08 a                        | 0,44 | 5,5    | 3,75 a  | 1,08 | 28,7   |
| T1                      | 4,38 b                        | 0,74 | 16,9   | 1,31 b  | 0,17 | 12,7   |
| T2                      | 7,22 a                        | 0,74 | 10,2   | 1,97 b  | 0,29 | 14,8   |
| T3                      | 4,14 b                        | 1,25 | 30,1   | 0,96 b  | 0,23 | 23,6   |
| 1,54 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 15,33 a                       | 3,79 | 24,7   | 5,84 a  | 1,77 | 30,3   |
| T1                      | 6,15 b                        | 1,01 | 16,4   | 2,34 b  | 0,52 | 22,0   |
| T2                      | 8,68 b                        | 0,69 | 7,9    | 2,62 b  | 0,51 | 19,5   |
| T3                      | 5,16 b                        | 1,33 | 25,8   | 1,47 b  | 0,42 | 28,3   |
| 1,65 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 19,15 a                       | 5,46 | 28,5   | 7,48 a  | 2,25 | 30,1   |
| T1                      | 8,31 b                        | 0,62 | 7,4    | 2,74 b  | 0,27 | 9,7    |
| T2                      | 9,74 b                        | 3,31 | 33,9   | 3,13 b  | 0,52 | 16,6   |
| T3                      | 6,20 b                        | 0,39 | 6,2    | 1,84 b  | 0,35 | 18,8   |
| 1,80 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 23,97 a                       | 1,41 | 5,9    | 14,52 a   | 2,29 | 15,8   |
| T1                      | 17,39 b                       | 2,15 | 12,4   | 5,77 b  | 1,31 | 22,7   |
| T2                      | 20,21 ab                      | 3,55 | 17,6   | 7,17 b  | 0,58 | 8,1    |
| T3                      | 17,67 b                       | 1,81 | 10,6   | 5,45 b  | 0,31 | 5,7    |
| 1,87 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 31,62 a                       | 2,31 | 7,3    | 18,29 a   | 1,33 | 7,3    |
| T1                      | 19,00 b                       | 1,09 | 5,7    | 7,76 b  | 1,21 | 15,6   |
| T2                      | 19,27 b                       | 2,22 | 11,5   | 9,03 b  | 2,44 | 27,1   |
| T3                      | 17,01 b                       | 2,52 | 14,8   | 6,49 b  | 1,91 | 29,4   |

T0: Testigo; T1: Doca; T2: Residuo de maíz; T3: Guijarro.

**Cuadro 3.** Porcentaje de escurrimiento y masa de sedimentos originados en el talud 1:1 con distintas intensidades de precipitación. Letras indican diferencias entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0,05$ ) dentro de cada nivel de precipitación.

**Table 3.** Runoff percentage and sediment mass collected from 1:1 gradient at different intensities of precipitation. Letters denote significant differences between treatments (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) within each rainfall intensity.

| Tratamiento             | Escurrimiento superficial (%) |      |        | Producción de Sedimentos (kg ha <sup>-1</sup> ) |      |        |
|-------------------------|-------------------------------|------|--------|---|------|--------|
|                         | Media                         | DS   | CV (%) | Media   | DS   | CV (%) |
| 1,43 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 22,48 a                       | 2,50 | 11,1   | 10,25 a   | 1,96 | 19,2   |
| T1                      | 13,61 b                       | 1,64 | 12,0   | 4,82 b  | 4,82 | 13,5   |
| T2                      | 20,42 a                       | 1,86 | 9,1    | 5,41 b  | 0,81 | 15,1   |
| T3                      | 8,05 c                        | 0,62 | 7,7    | 2,27 c  | 0,56 | 37,6   |
| 1,54 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 28,56 a                       | 0,66 | 4,0    | 12,18 a   | 2,86 | 20,8   |
| T1                      | 15,04 c                       | 1,16 | 13,3   | 6,00 b  | 1,87 | 27,5   |
| T2                      | 23,80 b                       | 0,69 | 5,0    | 6,56 b  | 0,16 | 2,1    |
| T3                      | 8,38 d                        | 1,16 | 23,9   | 2,06 c  | 0,34 | 14,8   |
| 1,65 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 33,07 a                       | 6,22 | 32,8   | 13,62 a   | 4,20 | 30,8   |
| T1                      | 24,49 ab                      | 4,63 | 32,9   | 6,81 b  | 2,84 | 41,7   |
| T2                      | 23,24 ab                      | 4,94 | 37,1   | 6,60 b  | 2,45 | 37,1   |
| T3                      | 15,20 b                       | 2,35 | 27,0   | 3,08 b  | 1,85 | 43,9   |
| 1,80 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 44,25 a                       | 4,92 | 11,1   | 16,32 a   | 2,02 | 12,4   |
| T1                      | 30,32 c                       | 4,46 | 14,7   | 8,56 b  | 0,88 | 10,3   |
| T2                      | 40,31 ab                      | 2,60 | 6,5    | 9,69 b  | 0,05 | 0,5    |
| T3                      | 35,64 bc                      | 5,16 | 14,5   | 4,53 c  | 2,13 | 47,1   |
| 1,87 mm h <sup>-1</sup> |                               |      |        |   |      |        |
| T0                      | 55,05 a                       | 9,61 | 17,5   | 26,50 a   | 6,90 | 26,1   |
| T1                      | 32,50 b                       | 7,40 | 22,8   | 14,87 b   | 3,98 | 26,8   |
| T2                      | 38,65 b                       | 1,45 | 3,7    | 15,39 b   | 0,84 | 5,5    |
| T3                      | 28,63 b                       | 0,71 | 2,5    | 9,13 b  | 1,32 | 14,5   |

T0: Testigo; T1: Doca; T2: Residuo de maíz; T3: Guijarro.

rentía y producción de sedimentos para cada uno de los taludes, tratamientos e intensidades de precipitación.

Se puede apreciar que la mayor protección la ofrecen las coberturas de doca (T1) y guijarro (T3) para un talud de 1:2,25. Al incrementar la pendiente del talud (Cuadro 3) el testigo (T0) mantuvo el mayor nivel de escurrimiento, pero las otras coberturas presentaron un comportamiento irregular. Para el talud 1:2,25, las distintas alternativas de cobertura generaron valores de escurrimiento superficial inferiores a 21%, siendo hasta un 50% más efectivas que el tratamiento testigo. Resultados similares los obtuvieron Silburn *et al.* (2011), quienes en estudios de coberturas vegetales en sistemas silvopastorales, con pendientes de hasta 8%, determinaron que coberturas menores al 20% generan

niveles de escurrimiento de entre 30 a 50% de la precipitación total, pero esta se reduce a menos de 6% cuando la cobertura es mayor al 50%. El talud 1:1,00 mantuvo las tendencias, con niveles de escurrimiento de hasta un 40% en los distintos tratamientos, versus un 55% en el testigo sometido a la máxima intensidad de precipitación.

Al analizar los sedimentos generados por los tratamientos, en concordancia con los valores del escurrimiento, el testigo (T0) presentó la mayor cantidad de erosión, independiente del gradiente, mientras que la cobertura de guijarros (T3) aseguró la mayor protección del suelo para ambos taludes. Silburn *et al.* (2011) establecieron que con coberturas menores al 10% las tasas de pérdida anuales pueden superar los 10 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, pero bastan coberturas de un 40% para que la

pérdida sea despreciable, indistintamente del gradiente de pendiente.

Para el talud 1:2,25, los tratamientos con cobertura de doca (T1) y residuo de maíz (T2) presentaron valores muy similares en cuanto a la generación de sedimentos, mientras que el tratamiento con cobertura de guijarros (T3) siempre obtuvo los valores más bajos, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, en el talud 1:1, la cobertura de guijarros presentó diferencias significativas con respecto a la doca y al residuo de maíz para algunas intensidades de precipitación. Además se observó que el tratamiento testigo fue el que generó la mayor cantidad de sedimentos, presentando diferencias estadísticamente significativas comparadas con el resto de los tratamientos evaluados, independiente del gradiente de pendiente.

Si bien el tratamiento T2 (residuo de maíz) presentó una alta cobertura (Figura 2), presentó también valores altos en escurrimiento y generación de sedimentos, lo que se puede explicar porque el residuo no tiene un contacto continuo con el suelo del talud (FFTC, 1995), a diferencia de la cobertura de guijarros. Es decir, si bien el T2 cubre y protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, éstas llegan a la superficie del talud y las que no infiltran ganan nuevamente energía cinética al escurrir a lo largo de la pendiente, generando arrastre de sedimentos (Lal, 1988). Al respecto, resulta importante la condición del suelo, tanto en superficie como en profundidad, ya que el estado de compactación al construir el camellón, la resistencia a la humectación en superficie o la zona donde se encuentra el fragipán determinarán el comportamiento hidráulico del suelo (Lipiec et al., 2009) y su capacidad de infiltrar agua o generar escorrentía.

En ambos taludes (1:1,00 y 1:2,25) el tratamiento T1 (doca) presentó valores de sedimentos muy similares al tratamiento T2 (residuo de maíz) y mucho menores al tratamiento testigo (T0), aún cuando presentó un porcentaje de cobertura menor al de ambos tratamientos. En este sentido, la Doca cumplió en mayor magnitud con el objetivo de asegurar la protección del suelo ante agentes erosivos, dada la acción de protección al impacto de la gota de lluvia y a la abundante proliferación de raíces que generó aportes de residuos (Kay y Angers, 1999) y aumento de tortuosidad en el flujo superficial (Gyssels y Poesen, 2003). Sin embargo, el lento crecimiento que presentó la doca, evidenciado por el lento aumento en el porcentaje de cobertura (Figura 2), hace que sea recomendable una mayor densidad de plantación o establecerla de manera combinada con otro método de cobertura (p. ej., combinado con residuo de maíz), para lograr mejores resultados. Por otra parte, la alta relación C/N del residuo de maíz hace que el aporte de materia orgánica y su efecto estabilizador sea lento (Forján, 2002), por lo que no es conveniente su uso como única estrategia de protección.

Finalmente, el tratamiento T3 (guijarros) fue el más efectivo en controlar tanto el escurrimiento como la cantidad de sedimentos generados, en ambos gradientes de pendiente. Además presentó un porcentaje de cobertura cercano al 100%, muy estable durante todo el ensayo en el talud 1:2,25, evidenciando ser el tratamiento más eficiente en el control de erosión en taludes.

En estudios de coberturas protectoras de suelos, hay autores que aseguran que los mejores resultados se obtienen con coberturas vegetales (Stocking, 1988; Saavedra et al., 2005; Casanova et al., 2010), aún cuando otros, con visión más ingenieril, aseguran que este tipo de coberturas no son eficientes en el control de la erosión, mostrando mejores resultados en coberturas inertes como gravas, cemento y geotextiles (Berry y Reid, 1993) o bien con diseños mecánicos (Aysen, 2003).

A partir de los resultados de los cuadros 2 y 3, en la Figura 3 se grafica la relación entre la intensidad de la precipitación y los sedimentos generados en cada tratamiento. Se puede apreciar que existe una intensidad de precipitación crítica en el gradiente 1:2,25, equivalente a 1,65 mm h<sup>-1</sup>, a partir de la cual aumenta la tasa de generación de sedimentos en todos los tratamientos, siendo este aumento en la tasa de erosión más pronunciada para T0. En el caso del talud 1:1, el aumen-

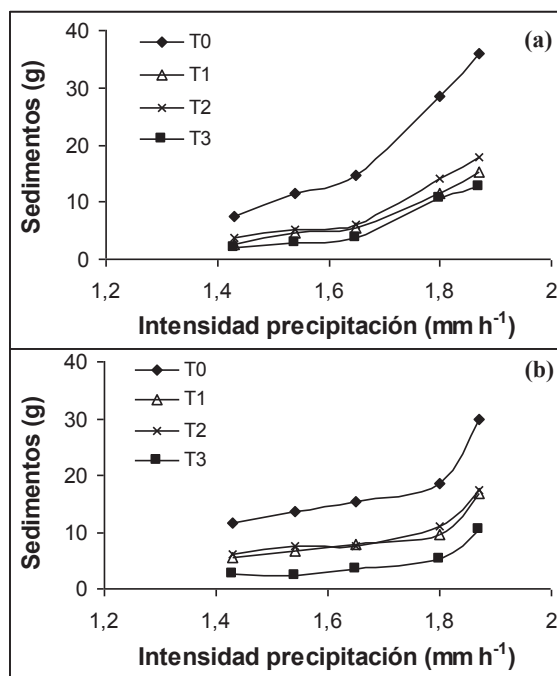


Figura 3. Generación de sedimentos en función de la intensidad de precipitación, unidad base la parcela, para los taludes (a) 1:2,25 y (b) 1:1.

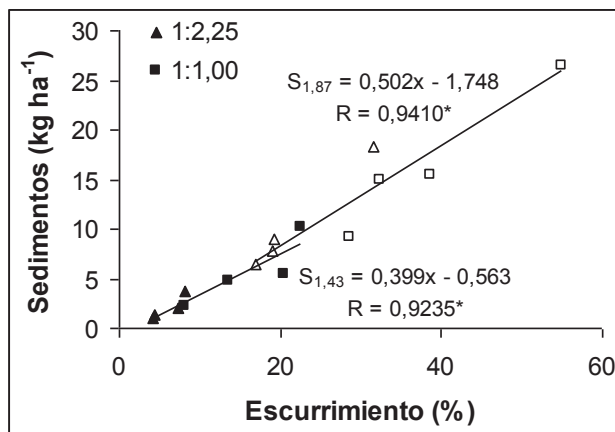
Figure 3. Sediments yields in function of rainfall intensity plot base unit, in slopes (a) 1:2.25 and (b) 1:1.



to en la tasa de generación de sedimentos ocurre con precipitaciones mayores a  $1,80 \text{ mm h}^{-1}$ , para todos los tratamientos.

Esta diferencia de precipitaciones “críticas” podría deberse a lo propuesto por Arnaez *et al.* (2007) quienes determinaron un incremento lineal de la escurrentía a medida que aumenta la intensidad de precipitación, sin embargo la cantidad de sedimentos generados depende de la duración del evento de lluvia. En el presente estudio, antes de realizar las evaluaciones ocurrieron precipitaciones naturales que arrastraron sedimentos finos, lo que generó un proceso de “estabilización”. Así, en el talud con gradiente mayor (1:1) se arrastraron más partículas, dejando aquellas que resistieron la intensidad de las precipitaciones naturales. Es así que las precipitaciones artificiales mayores a  $1,80 \text{ mm h}^{-1}$  fueron las únicas capaces de movilizar partículas de mayor tamaño. Por otra parte, en el talud 1:1 se encuentra expuesto el fragipán, que posee agentes cementantes de baja solubilidad que estabilizan el perfil.

Finalmente, se observó una alta dependencia del sedimento generado por los distintos tratamientos en relación al porcentaje de escurrentía para las diferentes intensidades de precipitación, lo que se demuestra, a modo de ejemplo en la Figura 4 para las dos intensidades de precipitación extremas usadas en esta investigación. Las intensidades intermedias no sufren cambios importantes en la tasa de generación de sedimentos en función del porcentaje de escurrimiento, presentando pendientes intermedias entre las presentadas en la Figura 4. Cabe destacar que ambos gradientes de pendiente se ordenan en la misma tendencia lineal, generando un continuo al aumentar el talud.



**Figura 4.** Generación de sedimento en función de la escurrentía para precipitaciones de  $1,43 \text{ mm h}^{-1}$  (figuras llenas) y  $1,87 \text{ mm h}^{-1}$  (figuras vacías). Ajustes significativos al 95%.

**Figure 4.** Sediments production in function of runoff, with precipitation of  $1,43 \text{ mm h}^{-1}$  (full figures) and  $1,87 \text{ mm h}^{-1}$  (empty figures). Adjusts are significant at 95%.

En un estudio en un suelo franco con pendientes de hasta 16% (talud 1:6) y precipitaciones de  $400 \text{ mm año}^{-1}$ , Arnaez *et al.* (2007) determinaron pérdidas de suelo de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  con intensidades de precipitación de hasta  $100 \text{ mm h}^{-1}$ , también con un comportamiento lineal en función de la intensidad de lluvia, lo que concuerda con los montos obtenidos en este estudio (Cuadros 2 y 3). Finalmente, los resultados confirman la importancia de establecer coberturas que incrementen la infiltración de agua en el suelo y disminuyan el flujo superficial pero, tal como lo indican Lado *et al.* (2004), la condición superficial del suelo y el contenido de materia orgánica resultan relevantes para disminuir la pérdida de suelo por erosión, aspectos que escapan a esta investigación, pero abren nuevas alternativas de estudio para la estabilización de taludes en suelos sometidos a extracción de áridos.

## CONCLUSIONES

El elemento protector de taludes mejor evaluado, en cuanto al menor escurrimiento y menor generación de sedimentos, fue la cobertura con clastos de entre 75 y 250 mm de diámetro. En taludes de bajo gradiente de pendiente, los guijarros presentaron una buena estabilidad y persistencia en el tiempo; sin embargo, en taludes con alta inclinación se tornan inestables, siendo necesaria su re-instalación periódica para mantener un nivel alto de cobertura.

La cobertura de doca cumplió de buena manera la protección de suelos contra agentes erosivos, manteniendo niveles de escurrimiento y generación de sedimentos similares al tratamiento con guijarros, pero teniendo como principal defecto su lento período de establecimiento.

El residuo de maíz desarrolló un menor efecto protector del suelo, aún cuando presentó un alto porcentaje de cobertura inicial (90%); sin embargo su efecto disminuyó en el tiempo debido a la descomposición del residuo. Por su parte, si bien la cobertura de vegetación natural puede ser alta, una vez llegado el verano, dada la naturaleza dominante de pradera anual, ésta se descompone, generando altos niveles de escurrimiento y sedimentos.

Dados estos resultados, destaca la importancia de realizar evaluaciones en el largo plazo, para comparar el efecto protector de las coberturas de guijarro y de doca cuando ambas presenten porcentajes de cobertura similares.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Profesor Carlos Benavides Zavala, formador de incontables generaciones de especialistas de suelo en el Departamento de Ingeniería y Suelos de la Universidad de Chile, y quien fue parte importante de esta investigación.

## REFERENCIAS

- ARNAEZ, J., LASANTA, T., RUIZ-FLAÑO, P., ORTIGOSA, L. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research* 93: 324-334.
- AUERSWALD, K. 2008. Water erosion. In: Chesworth, W. (Ed.), *The Encyclopedia of Soil Science*. Springer, Dordrecht, pp: 817-822.
- AYSEN, A. 2003. Problem solving in soil mechanics. A. A. Balkema Publishers, Amsterdam.
- BERRY, P.L., REID, D. 1993. *Mecánica de suelos*. Mc Graw-Hill Interamericana, Bogotá.
- BLANCO, H., LAL, R., 2008. *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer Science+Business Media B.V.
- BODÍ, M. B., DOERR, S. H., CERDÁ, A., MATAIX-SOLERA, J. 2012. Hydrological effects of a layer of vegetation ash on underlying wettable and water repellent soil. *Geoderma* 191: 14-23.
- BONILLA, C., VIDAL, K. 2011. Rainfall erosivity in Central Chile. *Journal of Hydrology* 410: 126-133.
- BONILLA, C., JOHNSON, O. 2012. Soil erodability mapping and its correlations with soil properties in Central Chile. *Geoderma* 189-190: 116-123.
- CÁRCAMO, I. 2009. Pre-compactación como herramienta para mejorar la relación raíz/agua/aire en habilitación de suelos sometidos a extracción de áridos. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. 25 p.
- CASANOVA, M., DERCON, G., ZAPATA, F. 2010. Evaluación de la erosión de suelo: métodos tradicionales. In: *Proceedings 16<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Congress*, Santiago, pp: 444-459.
- CIREN-CHILE. 1996. *Estudio Agrológico, Región Metropolitana*. Tomos 1 y 2. Centro de Información de Recursos Naturales, Publicación 115, Chile.
- CIREN-CHILE. 2010. *Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile*. Informe final. Santiago.
- CRESPO VILLALAZ, C. 2005. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5ª Ed, Limusa. Madrid.
- CUMMINGS, J., REID, N., DAVIES, I., GRANT, C. 2005. Adaptive restoration of sand-mined areas for biological conservation. *Journal of Applied Ecology* 42: 160-170.
- DA VEIGA, M., DO PRADO L. 1993. *Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos*. FAO, Documento de Campo N° 1. Italia.
- DOMÍNGUEZ-VILLAR, D., VÁSQUEZ-NAVARRO, J., CARRASCO, R. 2012. Mid-Holocene erosive episodes in tufa deposits from Trabaque Canyon, central Spain, as a result of abrupt arid climate transitions. *Geomorphology* 161-162: 15-25.
- ELLIES, A. 2000. Soil erosion and its control in Chile – An overview. *Acta Geológica Hispánica* 35: 279-284.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2000. *Manual on integrated soil management and conservation practices*. Land and Water Bulletin 8. Food and Agriculture Organization. Roma.
- FFTC (Food and Fertilizer Technology Center). 1995. *Soil Conservation Handbook*. FFTC Book Series N°11.
- FORJÁN, H. 2002. *La siembra directa y los rastrojos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires.
- FOSTER, G. R. 1988. Modeling soil erosion and sediment yield. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Erosion Research Methods*. CRC Press, New York.
- GYSELS, G., POESEN, J. 2003. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates. *Earth Surface Processes and Land-Forms* 28: 371-384.
- HALLET, 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.
- KAY, B. D., ANGERS, D. A. 1999. Soil structure. In: Sumner, M. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton.
- LADO, M., PAZ, A., BEN-HUR, M. 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. 1988. Erodibility and erosivity. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Erosion Research Methods*. CRC Press, New York.
- LAM, K.C. 1978. Soil erosion, suspended sediment and solute production in three Hong Kong catchments. *Journal of Tropical Geography* 47: 51-62.
- LIPIEC, J., WÓJCIGA, A., HORN, R. 2009. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil and Tillage Research* 103: 170-177.
- LÓPEZ, A. 2005. Efecto del gradiente y el aspecto de la pendiente en la erosión hídrica de un suelo del secano interior de la zona central de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. 21 p.
- MACAYA, C., GALLARDO, M. 2007. *Manual de rehabilitación de suelos sometidos a extracción de áridos en zonas agrícolas*. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Santiago.
- McKYES, E. 2000. *Agricultural Engineering Soil Mechanics*. 4ª

- Ed, Elsevier, New York.
- MORGAN, R. 2005. Soil Erosion and Conservation 3<sup>rd</sup> Ed, National Soil Resources Institute, Cranfield University, UK.
- OLIVARES, A., JOHNSTON, M., CONTRERAS, X. 1998. Régimen pluviométrico del secano interior de la Región Metropolitana. *Avances en Producción Animal* 23 (1-2): 35-43.
- RUÍZ, G. 2005. Manual de especificaciones técnicas de buenas prácticas de manejo de suelos en laderas. Serie Técnica N°20. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Santiago.
- SAAVEDRA, M. M., SÁNCHEZ, S., ALCÁNTARA, C. 2005. Cultivo de especies autóctonas para revegetación. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Junta de Andalucía.
- SANDOVAL, M., DÖRNER, J., SEGUEL, O., CUEVAS, J., RIVERA, D. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción, Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales N°5, Chillán.
- SCHWAB, G., FANGMEIER, D., ELLIOT, W., FREVERT, R. 1993. Soil and Water Conservation Engineering. 4<sup>a</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- SILBURN, D. M., CARROLL, C., CIESIOLKA, C. A., DE VOIL, R. C., BURGER, P. 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, S. 2014. Efecto residual de medidas de control de erosión hídrica bajo una ladera cultivada con vid y suelo nativo, VI Región de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. 39 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, Handbook 18, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- STOCKING, M.A. 1988. Assessing vegetative cover and management effects. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Erosion Research Methods*. CRC Press, New York.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. *Agricultural Handbook* N° 537, Science and Education Administration, USDA, Washington, DC.
- YOULTON, C., ESPEJO, P., BIGGS, J., NORAMBUENA, M., RUIZ, G., CISTERNAS, M., NEAMAN, A., SALGADO, E. 2010. Cuantificación y control de la escorrentía y erosión en huertos de paltos cultivados en camellones a favor de pendientes escarpadas. In: *Proceedings 16<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Congreso*, Santiago, pp: 375-378.

