



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

## **Retención de sedimentos por la vegetación de la zona de protección de cauce en la cuenca del predio Los Pinos.**

Patrocinante: Sr. Andrés Iroumé A.

Trabajo de Titulación presentado  
como parte de los requisitos para optar  
al Título de **Ingeniero Forestal**.

**FRANCISCO JAVIER MOLINA LEIVA**

VALDIVIA  
2008

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Patrocinante	Sr. Andrés Iroumé Arrau	<u>6,3</u>
Informante	Sr. Patricio Carey Briones	<u>6,5</u>
Informante	Sra. Paola Jofré Filgueira	<u>6,2</u>

El Patrocinante acredita que el presenta Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Sr. Andrés Iroumé A.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis padres, Sandra y Eduardo, por su confianza, constante apoyo y amor. A mí abuelito Raúl, muchas gracias por ser mi abuelito. A mí abuelita Nancy y a mí tía Anita Riddle, ellas me dieron la oportunidad de ser una mejor persona, dejándome el mejor legado, la educación.

También quiero agradecer a la tía Maruja por ser mi mamá en Valdivia, a mi cuñadita linda y a mi pololita preciosa, ella es un pilar muy importante dentro de mi vida, y espero que lo siga siendo hasta que la muerte nos separe.

Quiero agradecer al Profesor Andrés Iroumé por haberme recibido y hacerme participe de su investigación, dándome tema para mi trabajo de titulación y espacio dentro de su equipo. Muchas gracias a Hardin Palacios, Rodrigo Bravo, Luis Opazo, Boris Mancilla y Héctor Ulloa, sin ellos no habría podido llevar a cabo mi trabajo. Quiero agradecer de manera muy especial a la futura Dra. Paola Jofré, muchas gracias por todos los consejos que me diste, fuiste una guía para mí durante la realización de mi tesis y sinceramente sin tu ayuda no habría podido realizar este trabajo, te deseo mucha suerte en tu futuro tanto profesional como personal.

A mis amigos de infancia Fernando y Rudolf, muchas gracias perritos por todos los tragos que nos tomamos, los consejos y espero que todos los planes se cumplan, empezando por la parcela. A mí club de Toby: Francisco C., Hugo O., Omar E., Pablo A., Pablo P. y Tomás B., espero nunca perder su amistad, se dice por ahí “dime con quien andas y te diré quien eres” me han dicho que soy una buena persona, muchas gracias amigos por todo.

A mis compañeros Felipe V. (Paisa), Felipe B. (Orson), Gonzalo M. (Chalo), Magno C. (Felipe Flores), Mario R. (Marimbo) y Rafael A. por la risas en el Hall, los instantes de estudio y los buenos momentos que pasamos en la Universidad.

Al proyecto FONDECYT 1060119 “Uso de  $^7\text{Be}$  en la evaluación de eficiencia de prácticas de manejo en el control de erosión y flujo de sedimentos a cursos de agua durante el período siguiente a la cosecha a tala rasa de plantaciones forestales”, por el financiamiento de esta tesis.

Gracias Totales  
(Cerati G., 1997)

*A mis Padres, Abuelitos, Tíos  
Y a mí Tía Elsa (Q.E.P.D)*

## ÍNDICE DE MATERIAS

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1 La erosión</b>	<b>3</b>
2.1.1 <i>Erosión hídrica</i>	4
<b>2.2 Escorrentía superficial</b>	<b>5</b>
2.2.1 <i>Procesos que influyen en la escorrentía superficial</i>	6
<b>2.3 Medición de la escorrentía superficial</b>	<b>6</b>
2.3.1 <i>Parcelas de escorrentía</i>	6
2.3.2 <i>Clavos de erosión</i>	7
2.3.3 <i>Otros métodos</i>	8
<b>2.4 Zonas de protección de cauce</b>	<b>8</b>
2.4.1 <i>Importancia de la zona de protección de cauce</i>	9
2.4.2 <i>Ancho de las zonas de protección de cauce</i>	11
2.4.3 <i>Las zonas de protección de cauce en Chile</i>	12
2.4.4 <i>Escorrentía y transporte de sedimentos a través de la zona de protección de cauce</i>	13
<b>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Material</b>	<b>15</b>
3.1.1 <i>Área de estudio</i>	15
3.1.2 <i>Antecedentes generales</i>	15
<b>3.2 Método</b>	<b>16</b>
3.2.1 <i>Período de estudio</i>	16
3.2.2 <i>Precipitaciones</i>	16
3.2.3 <i>Análisis estadístico</i>	16
3.2.4 <i>Parcelas de escorrentía</i>	17
<b>Escorrentía</b>	<b>18</b>
<b>Sedimentación</b>	<b>19</b>
3.2.5 <i>Clavos de erosión</i>	21
3.2.6 <i>Caracterización de la vegetación en zona de protección de cauce</i>	23
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Precipitación y análisis de la vegetación</b>	<b>24</b>
4.1.1 <i>Distribución espacial de las precipitaciones</i>	24
4.1.2 <i>Análisis de la vegetación encontrada en la zona de protección de cauce</i>	25
<b>4.2 Parcelas de escorrentía</b>	<b>26</b>
4.2.1 <i>Comparación de escorrentía superficial entre las parcelas</i>	26
4.2.2 <i>Efecto de la zona de protección de cauce en la erosión neta</i>	31
<b>4.3 Clavos de erosión</b>	<b>35</b>
4.3.1 <i>Comparación de erosión neta entre las parcelas</i>	35
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	
1. Abstract and keywords	
2. Formulario de terreno para los clavos de erosión	
3. Cuadros estadísticos para las parcelas de escorrentía	
4. Cuadros estadísticos para los clavos de erosión	

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Anchos mínimos de la zona de protección de cauce para diferentes partes del mundo	12
Cuadro 2. . Períodos de muestreo durante la investigación.	16
Cuadro 3. Precipitaciones por período de medición en la cuenca Los Pinos.	25
.Cuadro 4. Porcentaje de escorrentía de las parcelas 2 y 3 con respecto a la parcela 1 (control).	28
.Cuadro 5. Erosión neta en las parcelas de escorrentía.	31
.Cuadro 6. Porcentaje de erosión neta en las parcelas 2 y 3 con respecto a la parcela 1 (control).	33
Cuadro 7. Erosión neta y porcentaje de E. neta de las parcelas 2 y 3 con respecto a la parcela 1 (control)	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Esquema de las parcelas control de escorrentía vista lateral (1A), y vista planta (1B) adaptado de Ibarra <i>et al.</i> (1996)	17
Figura 2. Parcela control, sin vegetación (1a y 1b)	18
Figura 3. Tambor de escorrentía	18
Figura 4. Data logger	19
Figura 5. Canaleta de recepción	19
Figura 6. Estanque retención	20
Figura 7. Depósito de sedimentación	20
Figura 8. Recipiente de recolección	21
Figura 9. Espaciamiento de los clavos de erosión en terreno	21
Figura 10. Método para estimar la erosión (A) y sedimentación (B) de los clavos	22
Figura 11. Medición en terreno, en el predio Los Pinos de los clavos de erosión	22
Figura 12. Distribución temporal de las precipitaciones en Isla Teja desde el año 1960 hasta el año 2008.	24
Figura 13. Representación espacial de la vegetación, tocones y clavos de erosión en las parcelas de escorrentía.	25
Figura 14. Escorrentía y precipitación acumulada, por parcela y período	26
Figura 15. Relación entre precipitación y escorrentía por período	27
Figura 16. Generación de Escorrentía en parcelas con distintas zona de protección de cauce para todos los eventos medidos	29
Figura 17. Generación de Escorrentía en parcelas con diferente zona de protección de cauce, para precipitaciones menores o iguales a 100 mm (a) y precipitaciones mayores a 100 mm (b)	30
Figura 18. Tendencia de erosión neta acumulada y precipitaciones para el período de estudio	32
Figura 19. Generación de erosión neta en parcelas con diferente zona de protección de cauce, para precipitaciones menores o iguales a 100 mm (a) y precipitaciones mayores a 100 mm (b).	34
Figura 20. Comparación entre la parcela 1 (control) y las parcelas 2 y 3 a los 10 m de largo.	36
Figura 21. Comparación entre la parcela 2 y 3 a los 11,7 m de largo.	37

## RESUMEN EJECUTIVO

En un sitio sometido a cosecha forestal a tala rasa durante el verano de 2005 – 2006 se utilizaron parcelas de escorrentía para evaluar la eficiencia de las zonas de protección de cauces (ZPC) en la reducción de la escorrentía y retención de sedimentos. Simultáneamente, se emplearon clavos de erosión para medir la distribución de la retención de sedimentos por la vegetación de la ZPC. Se instalaron tres parcelas y sus respectivas réplicas en el rodal PR-111 del predio Los Pinos, sitio El Monumento, Centro Experimental Forestal, Universidad Austral de Chile (39°44'S; 73°10'O) en una pendiente de 20%. El período total de medición se extendió entre el 9 de agosto de 2007 y el 31 de agosto del 2008 (389 días, con un total de 2740 mm de precipitación) y comprendió 13 períodos sucesivos de medición de aproximadamente un mes cada uno. En cada parcela de escurrimiento, la longitud de la zona de aporte de sedimentos se fijó en 10 m y se mantuvo sin cubierta vegetal aplicando periódicamente herbicida durante el período de observación. La parcela 1, de 10 m de longitud total a lo largo de la pendiente, se diseñó como parcela control, sin incluir ZPC. En las parcelas 2, y 3, se incluyó en el borde inferior una franja de ZPC de 3 y 6 m de ancho, respectivamente, de modo que sus longitudes a lo largo de la pendiente fueron de 13 y 16 m.

Durante el período total de observación se determinó en las parcelas 1, 2 y 3 una escorrentía de 84,7, 15,6 y 10,5 mm, respectivamente. Ello indica que la ZPC de 3 m (parcela 2) redujo la escorrentía en un 82% y que la de 6 m (parcela 3) en un 88%, respecto a la escorrentía medida en la parcela control (ausencia de ZPC).

Durante el período total de observación se registró en las parcelas de escorrentía 1, 2 y 3 una erosión neta de 2,1, 0,4 y 0,2 t/ha, respectivamente. Ello indica que en las ZPC de 3 y 6 m de ancho (parcela 2 y parcela 3) se retuvo el 81 y 90%, respectivamente, de los sedimentos movilizados con respecto a lo observado en la parcela control, sin ZPC. Utilizando el método de clavos de erosión en las parcelas 1, 2 y 3 se registraron pérdidas de suelo mayores a las medidas con el método de las parcelas de escorrentía, siendo éstas de 76, 28 y 20 t/ha, respectivamente. Las parcelas 2 y 3 retuvieron el 63 y 74% de los sedimentos generados en la parcela control, respectivamente. Se estima que con el método de clavos de erosión se obtuvo una sobreestimación de los resultados de pérdida de suelo.

El incremento en 3 m (desde 3 a 6 m) de ancho de la ZPC en la parcela 3 permite una disminución discreta de los sedimentos depositados en la ZPC. Según lo descrito en la literatura este decrecimiento responde a una ecuación cuadrática de dependencia entre sedimentos depositados en la ZPC y el ancho de ésta.

Palabras claves: zona de protección de cauce, escorrentía, erosión neta.



## 1. INTRODUCCIÓN

Las operaciones de cosecha forestal generan consecuencias in situ y ex situ, tales como erosión, compactación del suelo y producción de sedimentos, los que a su vez afectan la calidad de agua, la flora y fauna acuática. Los mayores impactos se producen al momento de realizar la cosecha final, ya que el suelo queda expuesto a las condiciones ambientales (precipitaciones, altas temperaturas o fuertes vientos) sin protección arbórea. Gayoso y Acuña (1999) afirman que las consecuencias de la cosecha a tala rasa se manifiestan durante la faena de cosecha final y duran hasta el establecimiento de una nueva cobertura en el lugar, la que otorga protección de las precipitaciones y fuertes vientos.

Morgan (1997) dice que la erosión es un proceso con dos fases. La primera corresponde al desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo, y la segunda a su posterior transporte por los agentes erosivos como las corrientes de agua y el viento. Los agentes de transporte actúan superficialmente y contribuyen a remover un espesor uniforme del suelo. Según Mancilla (2005) la intensidad de la erosión del suelo está fuertemente ligado con el sistema de cosecha, ya que si se realiza madereo terrestre (skidder) en invierno y sin planificación previa, se afecta al suelo porque se produce un contacto que compacta y modifica las propiedades físicas del suelo, mientras que en el madereo aéreo (torres de madereo) el contacto es mucho menor y las propiedades físicas del suelo no se ven afectadas significativamente.

estima que actualmente 47 millones de hectáreas están afectas a procesos erosivos de distinta intensidad, lo que equivale al 60% del territorio chileno<sup>1</sup>. Según Menke (1999) y Schulz (2000) en las cuencas de la Cordillera de la Costa de Chile, el transporte de sedimentos en suspensión proviene de material generado por procesos de erosión laminar y en regueros.

Para reducir el efecto de la erosión y producción de sedimentos, las empresas forestales están realizando diferentes prácticas de manejo. Forestal Arauco S.A., (1997) está implementando la mantención de franjas de vegetación a orillas de los cursos de aguas y el arrumado de los desechos de la cosecha en el sentido de las curvas de nivel.

La vegetación a orilla de cauces filtra los sedimentos producidos en las zonas en cosecha final y disminuye la llegada de los mismos a las aguas cercanas. Estas zonas son conocidas como zonas buffer, zonas de protección de cauce (ZPC) o vegetación ripariana. Según Gayoso y Acuña (1999), el ancho de la ZPC va entre 10 y 60 m a cada lado del cauce. La gran diferencia del ancho propuesto de las ZPC, se debe a la escasa investigación sobre este tema. Todavía no se ha logrado optimizar el ancho, siendo muy importante para el área a cosechar, ya que mientras más

---

<sup>1</sup> Informe País (2006)

ancho es la ZPC, la superficie de cosecha disminuye, y por otro lado, si ésta es muy angosta los sedimentos pueden pasar al cauce.

Gayoso y Acuña (1999) identifican cuatro clases de cauce, los que varían según el tamaño de la cuenca, la existencia de fauna acuática y el flujo normal del cauce. Aquellos cauces que poseen más de 2000 ha de cuenca, la existencia de peces y un flujo de agua normal durante todo el año son clasificados con clase uno, lo cual implica que la ZPC debe ser de al menos 60 m por lado. Mientras, la clase cuatro, donde la ZPC es de al menos 10 m, corresponde a cuencas menores de 20 ha, falta de peces y la existencia de un flujo superficial de agua sólo después de una lluvia.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la capacidad de la vegetación de la zona de protección de cauces en la retención de sedimentos generados por los procesos erosivos en laderas luego de la cosecha a tala rasa.

Los Objetivos específicos son:

- Medir y comparar la escorrentía superficial y la producción de sedimentos que se genera desde parcelas con diferente condición de cubierta de suelo (se considera una parcela en condición de suelo desnudo de 10 m de largo, una de 13 m con los primeros 10 m en condición de suelo desnudo y los tres metros finales con vegetación correspondiente a la zona de protección de cauce, y otra de 16 m con los primeros 10 m en condición de suelo desnudo y los seis metros finales bajo zona de protección de cauce. El estudio contempla una replica para cada caso).
- Determinar la erosión neta del suelo al interior de cada parcela mediante el uso de clavos de erosión.
- Determinar la distribución de los sedimentos dentro de la zona de protección de cauce.
- Determinar la eficiencia de la vegetación en la zona de protección de cauce en la retención de sedimentos originados por erosión desde las zonas de suelo sin cobertura.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1 La erosión**

Morgan (1997) afirma que la erosión es un proceso con dos fases, que incluye el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por los agentes erosivos, como las corrientes de agua y viento. Los agentes de transporte actúan superficialmente y contribuyen a remover un espesor relativamente uniforme del suelo.

León (2001) define la erosión como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento. Esto implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo el suelo, y otro activo el agua, el viento, o su participación alterna. La vegetación por su parte actúa como un regulador de las relaciones entre ambos elementos.

Huber y Lopez (1993) aseguran que el impacto de la erosión en los recursos hídricos se manifiesta en el incremento de la carga de sedimentos sobre los cursos naturales, los cuales ofrecen condiciones desfavorables para el aprovechamiento de las aguas. De igual manera la erosión tiene como consecuencia alteraciones ecológicas que afectan a la flora y fauna del lugar.

Morgan (1997) asegura que los procesos de erosión hídrica están relacionados con la erosividad de la precipitación, la erodabilidad del suelo, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal.

Para Morgan (1997) la erosividad es la habilidad potencial de una lluvia para producir una cantidad determinada de erosión, pérdidas del suelo están íntimamente relacionadas con la energía cinética de las precipitaciones. Bejarano (2000) determinó que el factor más importante de la erosividad es la intensidad de las precipitaciones. Una precipitación anual total alta, recibida uniformemente, puede causar poca erosión, mientras que una escasa lluvia anual cayendo torrencialmente puede ocasionar un gran daño.

Según Bejarano (2000) la erodabilidad corresponde a las propiedades químicas y físico-mecánicas del suelo, que determinan la susceptibilidad de un estrato para ser erosionado. Estas propiedades son: textura, estructura, profundidad y permeabilidad. Además se pueden agregar otras variables como la génesis del suelo, pendiente, cubierta vegetal, materia orgánica, estado de fertilidad, exposición y acción antrópica.

Según la FAO (1997) durante una tormenta fuerte, decenas de gotas de lluvia golpean cada centímetro cuadrado de terreno, aflojando las partículas de la masa de suelo. Las partículas pueden saltar a más de 60 cm de alto y a 1,5 m de distancia. Si el suelo no tiene una cobertura vegetal las gotas pueden erosionar muchas toneladas de suelo por hectárea, siendo fácilmente transportadas por la escorrentía superficial.

Iroumé *et al.* (1989), encontraron que la erosión en pendientes de 30, 50 y 60%, generó una pérdida de suelo de 1,5, 1,9 y 4 t/ha/año respectivamente. Peña *et al.* (1993) encontraron en pendientes de 8% pérdida de suelo de 3,1 t/ha/año, sin embargo, estiman pérdidas que pueden alcanzar entre 55 y 120 t/ha/año en pendientes de 25 a 30%. Mientras que Rivas (2000), en el predio Los Pinos registró valores entre 1 y 9,2 t/ha en *Pinus spp* y en *Eucalipto spp* desde 2,5 hasta 37 t/ha.

Alegre (1991) y Morgan (1997) afirman que el efecto de la cubierta vegetal contribuye en la reducción de la erosión hídrica. Esta depende de la altura, continuidad de la vegetación y la densidad de cobertura del suelo. La presencia de vegetación además de interceptar parte de la precipitación, también disminuye la velocidad del escurrimiento superficial.

### 2.1.1 Erosión hídrica

Para Peralta (1976) la erosión hídrica se manifiesta en primer lugar mediante el ataque del agua al suelo superficial, disgregando la estructura de este por la acción del impacto de las gotas de lluvia, formando elementos susceptibles de ser transportados. Otro caso particular es cuando el agua ataca el suelo no sólo en la parte superficial, sino también a lo largo de todo el perfil, comprometiendo así a toda la estructura del terreno a ser potencialmente arrastrada por la escorrentía.

Para Rivas (2000) la erosión hídrica, es el proceso de desintegración y transporte de las partículas de suelo por la acción del agua, el cual se debe a un exceso de agua que no penetra o no puede penetrar el suelo. La desintegración es mayor al aumentar el tamaño de las partículas del suelo, en tanto el transporte aumenta al disminuir dicho tamaño.

Oñate (2006) define la erosión hídrica como el proceso físico mediante el cual el suelo es desprendido, arrastrado y depositado en otro lugar por la acción mecánica del agua. El impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial son agentes externos que disgregan las partículas de suelo y provocan su transporte. Una vez que la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial del suelo está satisfecha, comienza el escurrimiento, arrastrando las partículas sueltas por la energía cinética de las gotas de lluvia y lo que la fuerza del escurrimiento disgrega. La capacidad de transporte está directamente relacionada a la velocidad y turbulencia del flujo. Cuando la velocidad de escurrimiento disminuye la depositación se inicia. En forma selectiva, primero se depositan los agregados y la arena, luego a mayor distancia, el limo y la arcilla. Consecuentemente, la medición de la pérdida de suelos puede realizarse interceptando el flujo superficial, antes que llegue a un cauce natural.

Oñate (2006) asegura que la erosión hídrica es uno de los factores más importantes a considerar en la pérdida de suelos en cuencas hidrográficas y es la principal fuente de producción de sedimento.

León (2001) agrupa las formas de erosión hídrica según su gradualidad en su manifestación: erosión por salpicadura, erosión laminar, erosión en surcos o regueros y en cárcavas.

- Erosión por salpicadura: Es originada por la caída de las gotas de lluvia sobre el suelo. Su impacto está en función de la forma y tamaño de las gotas (erosividad), y de la resistencia del suelo a su poder erosivo (erodabilidad). El efecto de la salpicadura es especialmente dramático en condiciones climáticas tropicales donde se combinan fuertes precipitaciones y desfavorable protección del suelo. Se encontraron mínimas pérdidas de suelo por salpicadura en parcelas localizadas en Zaire y África, cuando la cubierta forestal estaba presente, alcanzando valores de 3,1 a 7,2 t/ha/año, en tanto que bajo cubierta vegetal de maíz los valores medios de pérdidas eran de 188 t/ha/año.
- Erosión laminar: Es la remoción de delgadas capas de suelo extendidas en forma uniforme en toda la superficie de este. Es poco apreciable por que la cantidad total de suelo removido en una precipitación es generalmente pequeña, cuando se detecta sólo queda una delgada capa de suelo. La erosión laminar es el efecto combinado de la acción del golpe que desprende las partículas de suelo y la escorrentía; su acción selectiva sobre las partículas genera pavimentos de erosión, los cuales se producen por la remoción y arrastre de las partículas más livianas (arcilla y materia orgánica) quedando sobre la superficie suelos pedregosos. De aquí se desprende su efecto sobre la fertilidad de los suelos y su productividad. Este tipo de erosión arrastra únicamente la capa superior del suelo y se propicia en suelos localizados en condiciones de fuerte pendiente, sin vegetación y con bajo contenido de materia orgánica.
- Erosión en surcos o regueros: El flujo laminar sobre la superficie del suelo ocurre principalmente cuando la superficie es lisa y con pendiente uniforme. Sin embargo en los cultivos esto no se produce, ya que las superficies presentan irregularidades que concentran los flujos de agua en corrientes con capacidad erosiva en función de la velocidad del agua.
- Erosión en cárcavas: Surge generalmente luego de la erosión laminar y la erosión en surcos, al aumentar el volumen de escorrentía o su velocidad. Suele ser producto del descuido en la aplicación de medidas protectoras cuando se tienen formas incipientes de erosión, pudiendo alcanzar estados de gran avance y desarrollo de difícil control.

## **2.2 Escorrentía superficial**

Según Marcano (1999) la escorrentía superficial se presenta cuando hay precipitación y termina poco después que esta ha terminado. Por otro lado el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando el suelo posee poroso medios, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

Monsalve (1999), define a la escorrentía superficial como el exceso de la precipitación, que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno, cuando el suelo se encuentra saturado.

### *2.2.1 Procesos que influyen en la escorrentía superficial*

Para Pérez *et al.* (2005), los sistemas forestales pueden reducir la escorrentía. La presencia de capas múltiples de dosel vegetal en los sistemas de cultivo y árboles perennes bajo sombra, puede reducir considerablemente la velocidad de caída de las gotas de lluvia y la severidad de su impacto. La retención natural o artificial de los residuos de los árboles sobre la superficie del suelo como mantillo es otro mecanismo efectivo que provee cobertura a la superficie del suelo protegiéndolo contra el escurrimiento superficial.

Según Martínez y Navarro (1996) y Silva (1994), la escorrentía superficial está íntimamente ligada con los aspectos de suelo, vegetación, orientación de la cuenca e intensidad de la lluvia. Linsey *et al.* (1977) agregan la gradiente hidráulica, los macroporos, y la pendiente como factores influyentes. Algunos de los factores son:

- Suelo: La escorrentía es mayor en suelos compactos y menor en suelos arenosos, la escorrentía es inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del suelo.
- Vegetación: Actúa de forma positiva reduciendo la escorrentía superficial al frenar la velocidad de la lámina de agua, aumentando el tiempo de infiltración, al incorporar materia orgánica mejora la estructura y textura y estabiliza los agregados frente al agua.
- Microfauna: Entrega oxígeno a los horizontes superficiales formando canales que aumentan la infiltración.
- Orientación: la exposición de las laderas es muy importante ya que se produce mayor escorrentía en las exposiciones soleadas que en las sombreadas. La razón está dada por la mayor oxigenación y descomposición de materia orgánica en las orientaciones más cálidas.
- Precipitación: en especial la intensidad influye en la generación de escorrentía. Siempre que la intensidad sea mayor a la capacidad de infiltración, se producirá un flujo superficial.

## **2.3 Medición de la escorrentía superficial**

### *2.3.1 Parcelas de escorrentía*

Según Peralta (1976) las parcelas de escorrentía constituyen el único sistema que permite medir con exactitud los montos de pérdida de suelo en un área determinada. El Ministerio del Medio Ambiente Español (2007), afirma que las parcelas permite el estudio dinámico de los procesos erosivos. Son esencialmente instrumentos de campo que registran la producción de escorrentía y sedimentos en una superficie de terreno delimitada, conociendo sus características edáficas, topográficas, estado de

la vegetación, sistemas de manejo aplicados y usos del suelo. A través de las parcelas experimentales se pueden realizar ensayos y el seguimiento puntual de diversos parámetros relacionados con el ciclo hidrológico y de la erosión, que resultan más complicados de cuantificar a escala de cuenca experimental. Se considera que las pérdidas de suelo son uniformes sobre toda la superficie de la parcela (independiente de sus dimensiones), por lo tanto representa el resultado global de todos los procesos erosivos. Las tasas de erosión se deducen del volumen de sedimentos registrado en esas superficies conocidas.

Hudson (1997) dice que las dimensiones de las parcelas de escorrentía dependen de la finalidad de la investigación. Un mayor tamaño de estas, tiende a representar de mejor manera los procesos erosivos ocurridos en la ladera.

Mancilla (2006) midió escorrentía y pérdida de suelo durante 6 meses (precipitación total de 1711 mm) en parcelas con 22% de pendiente bajo dos diferentes tipos de cobertura. Registró escorrentías promedio de 85 mm y pérdidas de suelo promedio de 1,1 t/ha en parcelas con residuos quemados. En parcelas sin residuos quemados la escorrentía promedio fue de 53 mm y pérdidas de suelo de 0,9 t/ha.

Zamora (2003) evaluó escorrentía y pérdida de suelo por un período de 6 meses (precipitación total de 2050 mm) en parcelas con 26% de pendiente en tres condiciones distintas. La parcela 1 sin zona de protección de cauce (parcela control), mientras que a las parcelas 2 y 3 se les conservó una franja de zona de protección de cauce de 3 y 6 m respectivamente. La parcela 1 (sin zona de protección de cauce) obtuvo una escorrentía de 91 mm y pérdidas de suelo de 0,3 t/ha. Por otro lado las parcelas 2 y 3 las escorrentías fueron de 63 y 49 mm con pérdidas de suelo 0,09 y 0,05 t/ha respectivamente.

### 2.3.2 Clavos de erosión

De acuerdo Moreno *et al.* (2002) y Pizarro y Cuitiño (1997) el método de clavos de erosión consiste en utilizar clavos de 30 cm de largo, que se colocan cuidadosamente a lo largo de un transecto a intervalos regulares, realizando las mediciones con una regla milimetrada cada cierto intervalos de tiempo. Mediante este método se puede cuantificar la redistribución del suelo, y a partir de ésta estimar la erosión neta. Por lo tanto permite recabar información respecto a la distribución espacial de la erosión, sedimentación y pérdida neta de sedimentos del área estudiada.

Mancilla (2006), en la misma investigación ya descrita pero usando clavos de erosión, obtuvo una pérdida de suelo promedio para parcelas con residuos quemados de 4,3 t/ha, mientras que en parcelas sin quema de residuos la pérdida de suelo fue de 2,9 t/ha. Por otra parte, Zamora (2003) obtuvo pérdidas de suelo en parcelas sin zonas de protección de cauce y con 3 m y 6 m de zonas de protección de cauce, de 0,21, 0,23 y 0,19 t/ha respectivamente.

Ulloa (2007) midió pérdidas de suelo durante 3 meses (precipitación total de 633 mm) en laderas con pendientes promedio de 34% con tres distintas distancias de ordenamiento entre rumas de desecho. A una distancia de 15 m entre las rumas obtuvo una pérdida de suelo de 0,6 t/ha, mientras que con 30 y 45 m de distancia entre las rumas las pérdidas fueron de 3,4 y 3,1 t/ha respectivamente.

### 2.3.3 Otros métodos

Existen otros métodos que permiten estimar el escurrimiento superficial mediante:

- Modelo empírico: Alcañiz (2008) dice que estos se destacan por su amplia utilización, de ellos el más usado ha sido la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE). Es sin duda, el modelo de caja negra que ha tenido más difusión. Fue propuesto por Wischmeir y Smith en 1978 y resulta útil para tomar decisiones sobre el uso y la conservación del suelo. Considera seis factores y estima la tasa de erosión en la situación actual del suelo. Ha sido actualizado y ampliado en diferentes versiones como la Revised Universal Soil Loss Equation o RUSLE.
- Método de Cook: La FAO (1997) dice que este método fue concebido inicialmente por un ingeniero del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, y requiere que se efectúe una valoración de algunos de los principales factores que influyen en la escorrentía: la cubierta vegetal, el tipo de suelo y el drenaje, y la pendiente del terreno. El método original de Cook incluía un cuarto factor constituido por el grado de almacenamiento del área dentro de la cuenca, pero los ensayos han demostrado que el método se puede simplificar ignorando este factor, sin que se produzca una pérdida importante en su eficacia.

## 2.4 Zona de protección de cauce

Texas Forest Service (1999) dice que la zona de protección de cauce (ZPC) corresponde a una franja de protección variable adyacente a un cauce, en el cual el suelo, la materia orgánica y la vegetación son manejadas siguiendo ciertas recomendaciones, de manera de proteger y mantener las características físicas, químicas y biológicas de las aguas del cauce.

Para Suárez (2001) la vegetación incluyendo árboles, arbustos, hierbas y pastos, representa la mejor protección contra la erosión. Sin embargo, no existe claridad suficiente sobre los procedimientos de diseño de esta cobertura vegetal, especialmente en lo referente al efecto de las raíces de pastos, hierbas y árboles. La remoción de la cobertura vegetal expone el suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, facilitando la erosión. La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se regenera, es visualmente atractiva y no requiere generalmente, de equipos pesados o complejos para su instalación. Sin embargo, hay ciertas limitaciones como la susceptibilidad a las quemas y sequías y la imposibilidad de resistir fuerzas de socavación o acción del oleaje, así como su lentitud de germinación y crecimiento.



Según Suárez (2001) la vegetación es un elemento muy efectivo en el control de la erosión. La dificultad se presenta cuando se ha eliminado la vegetación y se desea recuperar la situación inicial. Generalmente la vegetación original con su biodiversidad es una protección mucho más eficiente que la vegetación diseñada.

Castro *et al.* (1998) establecen que la vegetación de las zona de protección de cauce está constituida de numerosas especies pioneras de crecimiento rápido, la estructura y disposición de la vegetación está determinada principalmente por los factores hidrológicos ligados a un nivel freático elevado, a un régimen de caudal permanente o temporal de los procesos erosivos y de sedimentación.

#### 2.4.1 Importancia de la zona de protección de cauce

Según Suárez (2001) la vegetación controla la erosión a través de diferentes procesos:

- **Intercepción de las gotas de lluvia:** El follaje intercepta la lluvia impidiendo el impacto directo sobre el suelo y amortiguando la energía de las gotas. Dependiendo de la intensidad de la lluvia, de la cobertura y tipo de vegetación en un bosque, puede intercepta hasta un 60% del total de la lluvia anual. Una parte de la lluvia interceptada es retenida y evaporada, mientras que la otra alcanza finalmente la tierra por goteo o por flujo sobre las hojas y troncos. Es importante determinar el tiempo entre la lluvia y el goteo para analizar el efecto hidrológico de cada tipo de vegetación.
- **Retención del agua en el follaje:** Disminuye la tasa de escorrentía, reduciendo su poder erosivo. Esto depende del tipo de vegetación, sus características y la intensidad de la lluvia. Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, retrasan más el ciclo hidrológico por que retienen mayor tiempo las gotas de lluvia. En el caso de las lluvias muy intensas la retención de agua es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser hasta de un 30%, dependiendo de las características de la vegetación.
- **Evapotranspiración:** Las raíces absorben humedad del suelo, la cual es transmitida a la atmósfera por evapotranspiración. La evapotranspiración incluye el efecto combinado de evaporación de la humedad de la corteza terrestre por extracción, a través de las raíces y la transpiración por el follaje. Su efecto es una disminución de la humedad en el suelo. Cada tipo de vegetación en un determinado tipo de suelo, tiene un potencial de evapotranspiración y se obtiene generalmente, una humedad de equilibrio dependiendo de la disponibilidad de agua lluvia y nivel freático. El área de influencia depende de la extensión y profundidad del sistema radicular. Durante un día soleado un eucalipto puede extraer del suelo hasta 500 litros de agua y una cubierta de pastos hasta un litro por metro cuadrado.
- **Acumulación de agua:** El agua acumulada en el follaje retrasa el flujo y disminuye el potencial de precipitaciones torrenciales. La cantidad de lluvia acumulada por la vegetación depende especialmente de la densidad interna

del follaje. Generalmente el volumen de agua acumulada llega a un máximo y a partir de ese momento el follaje no tiene capacidad para acumular más agua. En lluvias intensas el porcentaje acumulado es relativamente pequeño comparado con el volumen total de la lluvia pero en lluvias cortas de poca intensidad este porcentaje puede ser alto.

- Drenaje por el follaje: Parcialmente la lluvia interceptada es transportada hasta el suelo por el follaje especialmente por las gramíneas. El drenaje disminuye la energía de impacto de la lluvia sobre el suelo, disminuyendo la erosión.
- Goteo por las hojas: Parte del agua lluvia interceptada por la vegetación cae nuevamente al suelo en forma de gotas desde las hojas. El agua se acumula parcialmente, se forman gotas de mayor tamaño y éstas caen debajo de las plantas, la cual puede durar un tiempo importante después de la lluvia. El tamaño de las gotas varía entre 4 y 7 mm siendo superior a la de una lluvia directa (0,5 a 5 mm). Al ser las gotas de mayor tamaño el impacto sobre el suelo es mayor pudiendo producir volúmenes importantes de erosión ocasionados por el goteo. La energía de las gotas depende de la altura de la vegetación y del tamaño de las gotas, el tamaño de la gota depende del tipo de especie vegetal, especialmente de las características de las hojas.
- Aumento de la infiltración: Al disminuir la velocidad del agua por acción de la vegetación se aumenta la retención del flujo y la infiltración. Cuando la precipitación alcanza el suelo y existe vegetación, las posibilidades de infiltración son mayores que cuando el suelo está desnudo. La materia orgánica, las raíces y el alto nivel de actividad biológica que se presenta junto a la vegetación ayuda a crear un sistema continuo de poros, por lo tanto una mayor conductividad, siendo tal vez la principal forma de disminución de la escorrentía durante una lluvia por acción de la vegetación.

Por otra parte Castro *et al.* (1998) identifican varias funciones para la vegetación que componen las zonas de protección de cauce:

- Estabilización de márgenes y orillas: La presencia de vegetación en los ríos da una mayor cohesión al suelo a través de su sistema de raíces, aumentando de manera importante la resistencia a la erosión.
- Prevención de inundaciones: Las raíces, ramas bajas y arbustos crean un entramado que favorece el depósito de los sedimentos arrastrados y disminuye la velocidad de la corriente, amortiguando la energía de arrastre de las grandes afluencias de agua, disminuyendo sus efectos. Por otro lado las ramas se encargan de retener los sedimentos más grandes que son arrastrados y que suelen ser los más dañinos en caso de desbordamiento.
- Refugio de flora y fauna: Por sus características particulares, el sotobosque acaba siendo colonizado por un conjunto de plantas y animales exclusivos de este hábitat, como es el caso de aves y otros vertebrados, ofreciendo condiciones de alimentación, refugio y temperatura mucho más favorables que cualquier otro lugar de las proximidades.
- Interés paisajístico: El contraste de los cauces que cuentan con el sotobosque más denso y presenta así un elemento destacado de variedad al paisaje y de

ruptura visual de los elementos monótonos, ruptura siempre armónica que revaloriza la percepción del conjunto del territorio.

- Control de la erosión: La zona de protección de cauce tiene la cualidad de ejercer una función de filtro sobre todo tipo de aportes que llegan al cauce desde las laderas adyacentes. La escorrentía de las laderas es retenida o utilizada en gran medida por la vegetación, la que también absorbe buena parte de los nitratos y otros nutrientes que vienen disueltos en las escorrentías. Además una parte importante de los sedimentos queda retenida, favoreciendo la calidad del cauce.

#### 2.4.2 Ancho de las zonas de protección de cauce

Phillips *et al.* (2000) plantean que a mayor ancho de la zona de protección de cauce (ZPC) mayor la protección dada a las funciones de esta. Sin embargo, el aumento del ancho y mayores restricciones de manejo compiten con consideraciones económicas, los objetivos de manejo del propietario y los derechos de propiedad. Mientras las Agencias de Gobierno y ONG empujan hacia mayores anchos, los privados lo hacen en dirección contraria.

Para Gayoso y Gayoso (2003) dos son las propuestas comunes para establecer el ancho mínimo para las franjas de protección:

- Reservar un ancho que depende de la pendiente o tipo de cuerpo de agua
- Establecer un ancho variable basado en las condiciones específicas del sitio: composición, edad y condición de la vegetación, geomorfología del sitio, especies de animales y plantas presentes en el sitio, hidrología de la cuenca, uso del terreno adyacente y fragilidad del sitio a la degradación.

La ventaja de un ancho fijo de ZPC radica en su fácil aplicación y de monitorear su cumplimiento. Además, la aplicación de un ancho fijo no requiere de conocimientos de ecología ni de asistencia técnica. La desventaja es que se basa en un conjunto restringido de condiciones del sitio que pueden no corresponder a la situación donde se aplica. El cumplimiento de la norma de un ancho fijo no asegura la protección de las funciones de la franja o en otros casos puede resultar excesiva.

El ancho variable tiene la ventaja de permitir decisiones flexibles de manejo basada en principios ecológicos, condiciones específicas del sitio, intensidad de uso del suelo adyacente o la necesidad para mantener y proteger funciones identificadas. Anchos variables son más recomendables para no dar excesiva protección donde no es requerida y permite ajustar a condiciones más frágiles.

La determinación apropiada de los anchos de la zona de protección de cauce debe responder a la función que se espera satisfacer. Por lo tanto, un primer criterio a considerar es la importancia del cauce en cuanto al uso del agua, tamaño y permanencia del cauce.

Usos como hábitat de peces y abastecimiento de agua para consumo humano o recreativo, debieran requerir mayores protecciones que cursos de agua que no prestan esas funciones. Cursos de agua permanentes debieran requerir mayor protección que los interrumpidos y temporales. Dentro de los cursos de agua permanentes la importancia puede ser establecida por el ancho del cauce, en el cuadro 1 se pueden ver ejemplos del ancho de las ZPC en algunos países del mundo.

Cuadro 1. Anchos mínimos de la zona de protección de cauce para diferentes partes del mundo

Lugar	Ancho mínimo de la zona de protección de cauce (ZPC)
Alemania	El tamaño del área de protección y restricciones de manejo son específicas del sitio
Finlandia	20 a 30 m
Tasmania	Clase 1 (uso doméstico y peces):40 m (reserva) Clase 2 (más de 100 ha de drenaje):30 m Clase 3 (entre 50 y 100 ha de drenaje) :20 m Clase 4 (interrumpidos): no hay zona de reserva, pero se limita el tránsito de maquinaria de una franja de 10m a cada lado del cauce
Nueva Escocia (CANADA)	Todos los cursos de agua marcados en el mapa 1:50000 deben tener una franja de protección de 20 m a cada lado. Además, el ancho se incrementará en 1 m por cada 2% de pendiente que exceda a 20% y menor de 60%
California (USA)	Clase 1 (uso doméstico y peces):22,5 a 45 m Clase 2 (peces): 15 a 30 m, variable según grado de pendiente del terreno adyacente Clase 3 y 4 (sin vida acuática presente): se determina por inspección
Louisiana (USA)	Perenne, cauce mayor de 6 m de ancho: 30 m Perenne, cauce menor de 6 m de ancho: 15 m Interrumpidos 10,5 m

Fuente Gayoso y Gayoso (2003)

### 2.4.3 Las zonas de protección de cauce en Chile

En Chile desde el año 1931 con la Ley de Bosque en el artículo 5 se prohíbe:

- La corta de árboles y arbustos nativos situados a menos de 400 m sobre los manantiales que nazcan en los cerros y aquellos situados a menos de 200 m de sus orillas desde el punto en que la vertiente tenga su origen hasta aquél en que llegue al plano.
- La corta o destrucción del arbolado situado a menos de 200 m de radio de los manantiales que nazcan en terrenos planos no regados.
- La corta o explotación de árboles y arbustos nativos situados en pendientes superiores a 45%.

No obstante, se podrá cortar en dichos sectores sólo por causas justificadas y previa aprobación del plan de manejo en conformidad al decreto ley N° 701, de 1974.

Respecto a este tema Gayoso y Gayoso (2003) dicen que la institucionalidad forestal ha ido incorporando a las normas de manejo modificaciones orientaciones al tratamiento de la zona de protección de cauces. Así, para el tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe establece que se excluirá de la intervención el área alrededor de los cursos de agua permanente: “Estos tendrán en cada orilla una faja de protección de 30 m de ancho, como mínimo. Los 30 m se medirán horizontalmente desde donde empieza la vegetación arbórea que bordea al curso. La ubicación de estos cursos y su clasificación en permanentes y no permanentes se basará en las cartas regulares escala 1: 50000 del I.G.M.”. Respecto de los cursos de agua no permanentes, estos tendrán una faja de protección de 15 m como mínimo. La norma para el tipo siempreverde fija en 10 a 20 m el ancho mínimo de las franjas de protección en cursos de agua no permanentes y entre 20 y 30 para los permanentes según la pendiente lateral varíe entre menos de 30 y más de 45%. Las normas aplicables al manejo de plantaciones de *Eucalyptus spp*, *Pinus radiata* y otras especies exóticas, señalan que cuando el área a intervenir colinde con cursos de agua permanentes y temporales, se conservará una franja de bosque de protección cuyo ancho será de 25 m a cada lado del curso de agua.

Por otra parte Forestal Arauco S.A. (1997) y Forestal Mininco S.A. (1995) afirman que la certificación forestal ha incorporado criterios adicionales y a veces referentes externos para asegurar la protección del agua. Así, las empresas forestales han establecido en sus procedimientos y códigos internos de buenas prácticas, diferentes medidas destinadas a la protección de los cursos de agua, aunque sin especificar siempre los anchos de protección.

#### *2.4.4 Escorrentía y transporte de sedimentos a través de la zona de protección de cauce*

Deletic (2001) encontró que la hierba alta tiene una elevada rugosidad debida a la denso de la vegetación y la presencia de residuos orgánicos que permite disminuir la velocidad del flujo superficial, extendiendo el tiempo de tránsito de las partículas, favoreciendo la infiltración del agua. Es decir, la hierba actúa como un filtro y trampa de sedimentos. La vegetación de la zona de protección de cauce cohesionan el suelo y a través de su sistema radicular aumenta considerablemente la resistencia a la erosión debido a la fuerza de la corriente. Estudios realizados por Castro *et al.* (1998) demostraron que del 29 al 93% de los sedimentos que llegan al primer tramo de la ZPC es retenida, debido a que la presencia de vegetación y de sus restos sobre el suelo disminuye considerablemente la velocidad de las aguas. Martínez y Navarro (1996) consideran que la cobertura vegetal en la zona de protección de cauce mejora la capacidad de retención e infiltración en las capas superficiales del suelo, por consiguiente colabora con la reducción de la escorrentía superficial.

Pearce *et al.* (1998) evaluaron la eficiencia de la zona de protección de cauce constituida por gramíneas con dos tratamientos distintos y un control e introdujeron

sedimentos en parcelas de 30 y 1,2 m<sup>2</sup>, donde se produjo una retención de sedimentos de un 98 y 94% respectivamente. Además concluyeron que las partículas pequeñas como la arcilla, son transportadas fácilmente entre las zonas de protección de cauce.

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Área de estudio

El presente trabajo se realizó en el predio Los Pinos, donde se ubica la cuenca experimental del mismo nombre. Esta área presenta diversas coberturas con plantaciones principalmente de especies exóticas y renovales de bosque nativo. El predio se ubica en la ribera sur del río Cayumapu a 15 km al norte de la ciudad de Valdivia, según IREN *et al.* (1978) el predio se encuentra ubicado a los 39° 44' S y 73° 10' O siendo de propiedad del Centro Experimental Forestal (CEFOR), dependiente de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

El rodal de estudio fue el PR – 111 (rodal monumento), con una superficie de 2,22 ha, el cual se encontraba cubierto por una plantación de *Pinus radiata* D. Don. Ulloa (2007) afirma que el rodal fue cosechado a tala rasa durante el verano de 2005 – 2006.

##### 3.1.2 Antecedentes generales

Según Gerding y Rivas (2006) el clima del área de estudio es templado lluvioso con influencia mediterránea, con precipitaciones anuales entre 2200- 2700 mm. Guerra *et al.* (2005) dicen que el 75% de la precipitación cae entre los meses de abril y septiembre. La humedad relativa media es de 78% durante el año. La temperatura media mensual alcanza a 16.9 °C en enero y 7.6 °C en julio, siendo el promedio anual alrededor de 12 °C.

El suelo pertenece a la serie Los Ulmos<sup>2</sup>. Corresponde según Büchner (2007).a suelos profundos, rojos arcillosos, originados a partir de cenizas volcánicas antiguas depositadas sobre el complejo metamórfico, formando terrenos intermedios a bajos, de lomajes ondulados, con pendientes entre 5 - 45%, ubicado en la Cordillera de la Costa. En cuanto a su morfología, son suelos de color pardo rojizo oscuro, en el matiz 5YR; de textura arcillosa y color rojo amarillento en el matiz 5YR en profundidad. Son suelos muy bien estructurados, poseen una alta porosidad total y por su buena estructura permiten una buena aireación y drenaje.

---

<sup>2</sup> Comunicación personal Schlatter, J (2008)

## 3.2 Método

### 3.2.1 Período de estudio

La toma de datos de esta investigación, se efectuó entre el 09 de agosto del 2007 hasta el 31 de agosto del 2008. El detalle de los períodos de muestreo se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Períodos de muestreo durante la investigación.

Período	Fecha		N° días
	inicial	final	
N° 1	9 agosto 2007	12 septiembre 2007	35
2	13 septiembre 2007	8 octubre 2007	26
3	9 octubre 2007	31 octubre 2007	23
4	1 noviembre 2007	3 diciembre 2007	33
5	4 diciembre 2007	4 enero 2008	32
6	5 enero 2008	3 marzo 2008	59
7	4 marzo 2008	17 marzo 2008	14
8	18 abril 2008	7 abril 2008	21
9	8 abril 2008	25 abril 2008	18
10	26-abril 2008	29 mayo 2008	34
11	30 mayo 2008	7 junio 2008	39
12	08 junio 2008	29 julio 2008	22
13	30 julio 2008	31 agosto 2008	33
<b>Total</b>			<b>389</b>

### 3.2.2 Precipitaciones

Los datos se obtuvieron de un pluviógrafo instalado en el predio Los Pinos, sector monumento (rodal PR – 111). Para obtener las precipitaciones de cada periodo, los datos del pluviógrafo se agruparon en función del periodo de medición de las parcelas de escorrentía y clavos de erosión.

### 3.2.3 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el programa estadístico STATGRAPHICS Plus versión 5.1, realizándose una prueba de contraste de hipótesis utilizando la prueba t de Student, para saber si los datos obtenidos eran similares o no entre las parcelas y además para compáralos con otros estudios realizados anteriormente. La prueba antes mencionada se realizo con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ) para así tener una alta confiabilidad en la comparación de los datos.



### 3.2.4 Parcelas de escorrentía

Para cuantificar la escorrentía superficial y la erosión se instalaron tres parcelas de escorrentía, cada una con una réplica. Todas las parcelas se encontraban en exposición noroeste (NO) en laderas con pendiente de 20%. Las parcelas fueron ubicadas en la parte baja de la ladera y los residuos de la cosecha fueron retirados y apilados a los costados de éstas.

Las dimensiones de las parcelas y tipo de cobertura de suelo son:

- Parcela 1 (o tratamiento) control (1a y 1b): 3 m de ancho y 10 m de largo, con suelo desnudo.
- Parcela 2 (2a y 2b): 3 m de ancho y 13 m de largo, los 10 primeros metros con suelo desnudo y los 3 m finales con cobertura vegetal (zona de protección de cauce).
- Parcela 3 (3a y 3b): 3 m de ancho y 16 m de largo, los 10 primeros metros con suelo desnudo y los 6 m finales con cobertura vegetal (zona de protección de cauce).

El esquema general de las parcelas se ve en la figura 1

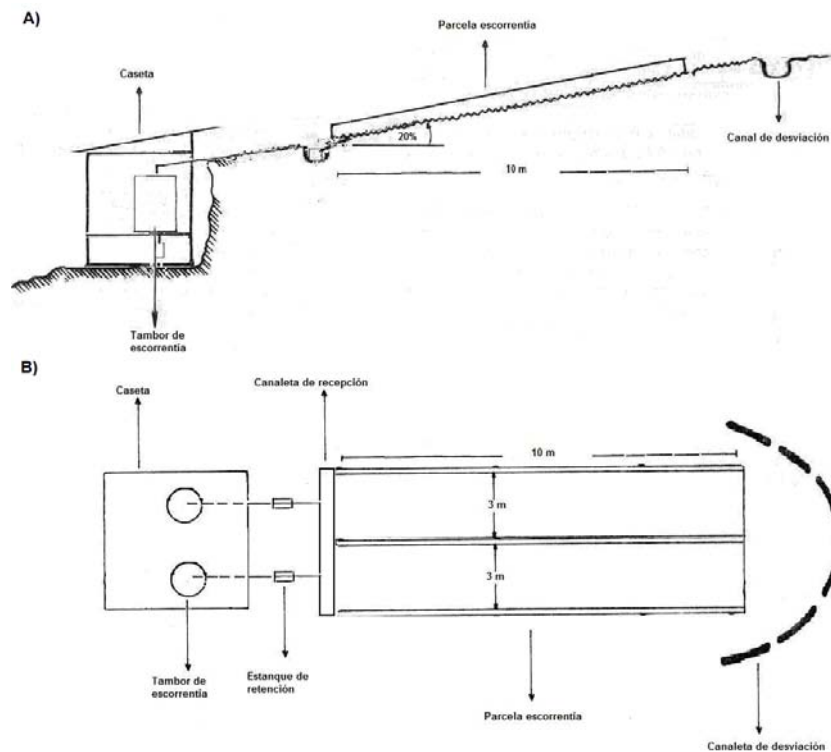


Figura 1. Esquema de las parcelas control de escorrentía vista lateral (1A), y vista planta (1B) adaptado de Ibarra *et al.* (1996)

Cada parcela se delimitó a los costados y en la parte superior con latones de 30 cm de ancho y 0.8 mm de espesor, enterrados en forma vertical hasta 15 cm de profundidad, con motivo de confinar el escurrimiento e impedir el ingreso de agua del área adyacente. Además se construyó una canaleta de desviación en la parte alta de cada parcela, con el propósito de evitar la llegada del escurrimiento superficial externo a las parcelas (ver figura 1).

La figura 2 muestra una imagen de la parcela control.

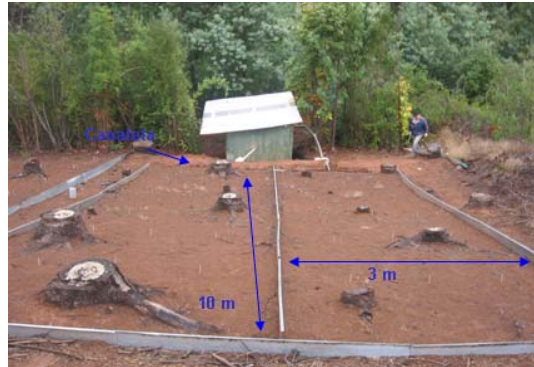


Figura 2. Parcela control, sin vegetación (1a y 1b)

En la parte baja de la ladera se instaló una caseta para cada parcela de escorrentía y su réplica, en cuyo interior se encontraban los instrumentos que registraron la escorrentía superficial (tambor de escorrentía y data logger)

### **Escorrentía**

La escorrentía se registró en un tambor de fibra de vidrio (ver figura 3) que colecta el agua de escorrentía superficial de cada parcela.



Figura 3. Tambor de escorrentía

La variación del nivel de agua en el tambor de escorrentía, se registró y almacenó en un sistema mecánico-electrónico (data logger, ver figura 4), en forma continua con mediciones cada 3 segundos.



Figura 4. Data logger

El sistema opera de modo que cuando el nivel de agua en el tambor de escorrentía alcanzaba una altura determinada, este se descargaba automáticamente.

### **Sedimentos**

El material erosionado desde las parcelas y sedimentado en las canaletas de recepción (figura 5) y estanque de retención (figura 6) fueron recuperados al final de cada período de medición y rotulados por parcela y fecha. Luego en el laboratorio de análisis del Instituto de Geociencias de la Universidad Austral de Chile se secaron en bandejas de aluminio a una temperatura de 105 °C por tres días (72 h) para así obtener el peso anhidro del material y posteriormente fueron pesados en una balanza de precisión (la presión de la balanza es cada 5 g).



Figura 5. Canaleta de recepción



Figura 6. Estanque retención

Las muestras recolectadas del depósito de sedimentación (figura 7) fueron filtradas en el laboratorio de análisis del Instituto de Geociencias de la Universidad Austral de Chile. Se utilizó un filtro con granulometría de  $0,3 \mu\text{m}$ , el que se pesó para obtener su peso seco. En seguida, se colocó en la filtradora, donde se vació la muestra del depósito de sedimentación (con esto el filtro capta todos los sedimentos con una granulometría mayor a  $0,3 \mu\text{m}$ ). Posteriormente se procedió a secar el filtro y el material retenido por 24 h a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  con el objetivo de obtener el peso seco del filtro y la muestra. Por diferencia de peso con el filtro se obtuvo la cantidad de sedimentos que llega al depósito de sedimentación.



Figura 7. Depósito de sedimentación

El peso obtenido en las muestras sólidas, capturadas en las canaletas de recepción, estanque de retención y depósito de sedimentación, corresponden al peso del suelo orgánico y mineral.

La pequeña cantidad de agua desviada al recipiente de recolección (ver figura 8), previa descarga del depósito principal, es una muestra representativa de la concentración de los sedimentos en suspensión. Estas muestras fueron retiradas junto con los demás sedimentos, para ser filtradas y secadas de la misma manera que el material del depósito de sedimentación.



Figura 8. Recipiente de recolección

La cantidad de suelo erosionado obtenida en las parcelas de erosión, es la suma de los pesos secos de los materiales sólidos y en suspensión colectados.

### 3.2.5 Clavos de erosión

Se instalaron clavos dentro de las parcelas de escorrentía en grupos de tres, con el objetivo de tener una mejor representación del lugar y obtener un promedio del punto de muestreo. Cada grupo (tres clavos de erosión) se instaló de manera sistemática, formando una grilla (con un espaciamiento entre columnas de 0,75 m y entre filas de 1,6 m) como se puede ver en la figura 9.

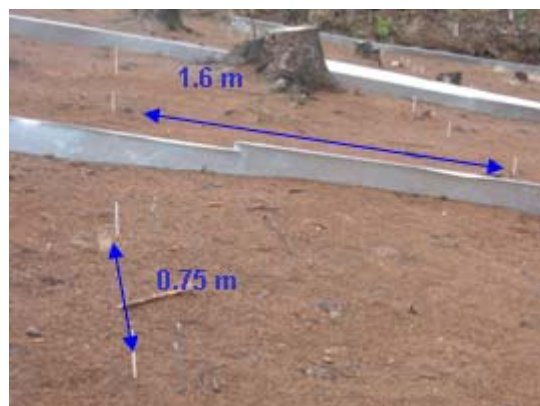
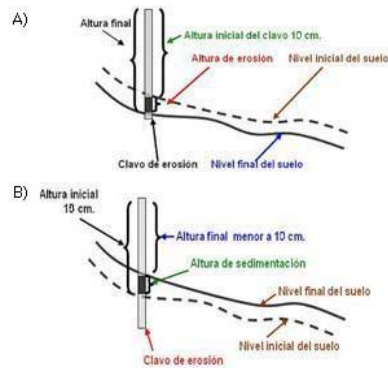


Figura 9. Espaciamiento de los clavos de erosión en terreno.

Los resultados obtenidos en cada parcela se promediaron con su réplica, para así tener una mayor certeza de los datos para su posterior análisis.

Para estimar el suelo erosionado o sedimentado se siguió el método utilizado por Pizarro y Cuitiño (1999) para la evaluación de la erosión superficial en la zona central de Chile. Se midió el largo expuesto del clavo al inicio ( $L_{inicial}$ ) y final ( $L_{final}$ ) de cada

período de observación. Si la diferencia es negativa en el punto ha ocurrido erosión (figura 10A), mientras que si es positiva ha ocurrido sedimentación (figura 10B).



Fuente: Pizarro y Cutiño, 1999

Figura 10. Método para estimar la erosión (A) y sedimentación (B) de los clavos

La figura 11 muestra cómo se midieron los clavos de erosión en terreno, utilizando una escuadra graduada en milímetros.



Figura 11. Medición en terreno, en el predio Los Pinos de los clavos de erosión

Para poder estimar la erosión o sedimentación media (t/ha) en cada punto se utilizó la siguiente fórmula:

$$X = (Y \cdot Da) / 100 \quad (1)$$

Donde:

X: Erosión o sedimentación media (t/ha)

Y: Diferencia del promedio de los tres clavos entre la medición anterior y actual (mm)

Da: Densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>)

Para obtener la erosión neta de cada parcela se calculó la erosión y sedimentación media, correspondiendo al promedio de la cantidad de todos los puntos erosionados

o sedimentados (según corresponda) de cada parcela. La fracción del área erosionada o sedimentada, se calculó mediante el porcentaje de erosión o sedimentación (según corresponda) de cada parcela. Para el cálculo de la erosión neta se ocupó la siguiente fórmula:

$$En = ((Em*(Fra. Ero/100))-((Sm*(Frac. Sed/100))) \quad (2)$$

Donde:

En: Erosión neta (t/ha)

Em: Erosión media (t/ha)

Fra. Ero: Fracción área erosionada (%)

Sm: Sedimentación media (t/ha)

Frac. Sed: Fracción área sedimentada (%)

Para este método se realizaron mediciones periódicas cada mes (formularios en Anexo 2), desde 09 de agosto del 2007 hasta el 31 de agosto del 2008.

### *3.2.6 Caracterización de la vegetación en zona de protección de cauce*

Para observar la distribución espacial se realizó un perfil horizontal de las especies arbóreas y arbustivas de la zona de protección, esto es una proyección horizontal de las copas de cada una de las especies encontradas. Se midieron las distancias desde el fuste hasta el final de la copa en cuatro sentidos norte, sur, este y oeste, para así representar el área de la copa por individuo.

Para el espesor del mantillo se obtuvieron seis muestras por parcela (dos al comienzo, dos en la mitad y dos al final de la zona de protección de cauce), con el objetivo de tener un valor representativo del lugar, posteriormente se promediaron para obtener un espesor único del mantillo por parcela.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Precipitación y análisis de la vegetación

#### 4.1.1 Distribución espacial de las precipitaciones

La figura 12, muestra el registro de precipitaciones por períodos desde el 09 de agosto hasta el 31 de agosto del siguiente año en la estación meteorológica de Isla Teja además del promedio de esta y la precipitación en el área de estudio (predio Los Pinos).

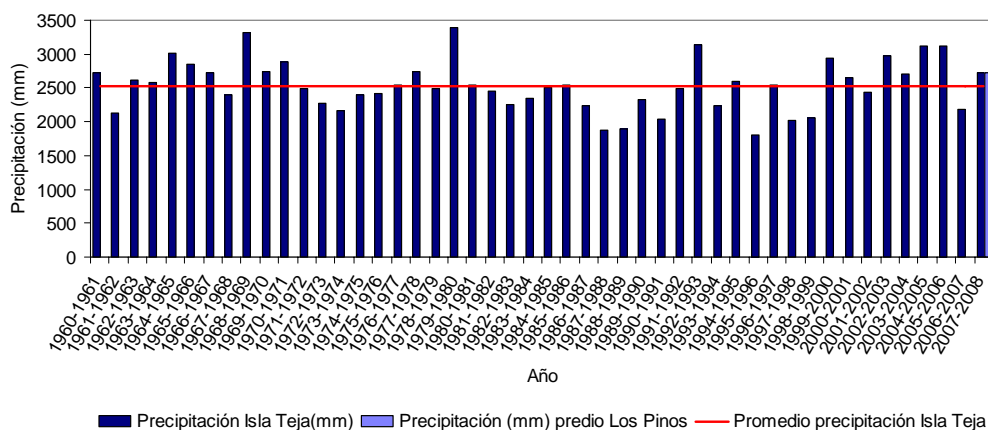


Figura 12. Distribución temporal de las precipitaciones en Isla Teja desde el año 1960 hasta el año 2008.

Se observa que la precipitación del período de estudio (09 de agosto del 2007 hasta el 31 de agosto del 2008) fue 2739 mm en el predio Los Pinos, mientras que en Isla Teja durante el mismo período precipitó una cantidad bastante similar (2724 mm).

Como se puede ver en la figura 12, las mayores precipitaciones registradas en Isla Teja ocurrieron durante el período 1968-1969, 1979-1980 y 1992-1993 con 3313, 3388 y 3139 mm respectivamente. Las menores precipitaciones fueron de 1813, 1867 y 1891 mm durante los períodos 1995-1996, 1987-1988 y 1988-1989 respectivamente.

El promedio de las precipitaciones durante los últimos 48 años en Isla Teja (en los períodos entre 09 de agosto y 31 de agosto del siguiente año) es de 2535 mm (ver figura 12). Por lo tanto en el predio Los Pinos durante el período de estudio, se registró una precipitación normal en comparación a los resultados obtenidos en la estación meteorológica Isla Teja.

El cuadro 3 muestra el registro de las precipitaciones en cada período de muestreo.



Cuadro 3. Precipitaciones por período de medición en la cuenca Los Pinos.

	Período	Fecha		N° días	Precipitación	Intensidad
	N°	inicial	final		(mm)	(mm/día)
	1	09-ago	12-sep	35	259,6	7,4
	2	13-sep	08-oct	26	56,4	2,2
	3	09-oct	31-oct	23	138,6	6,0
	4	01-nov	03-dic	33	38,2	1,2
	5	04-dic	04-ene	32	48,9	1,5
	6	05-ene	03-mar	59	56,4	1,0
	7	04-mar	17-mar	14	19,3	1,4
	8	18-abr	07-abr	21	25,8	1,2
	9	08-abr	25-abr	18	54,4	3,0
	10	26-abr	29-may	34	533,5	15,7
	11	30-may	07-jun	39	324,2	8,3
	12	08-jun	29-jul	22	480,7	21,9
	13	30-jul	31-ago	33	703,4	21,3
<b>Total</b>				<b>389</b>	<b>2739,5</b>	
<b>Promedio</b>						<b>7,0</b>

En los meses de mayo, julio y agosto de 2008, se produjo una caída de agua total mensual de 534, 481 y 703 mm, respectivamente, con una intensidad diaria de 16, 22 y 21 mm. En los meses de diciembre a abril, la intensidad decae considerablemente llegando a ser menos de 2 mm/día, lo cual corresponde al 8% de las precipitaciones registradas en el período de medición.

#### 4.1.2 Análisis de la vegetación encontrada en la zona de protección de cauce

En la figura 13, se puede observar la distribución espacial de los tocones y clavos de erosión dentro de cada parcela. Además se ve la cobertura y la distribución espacial de las especies que están presentes en las zonas de protección de cauce en las parcelas 2 y 3.

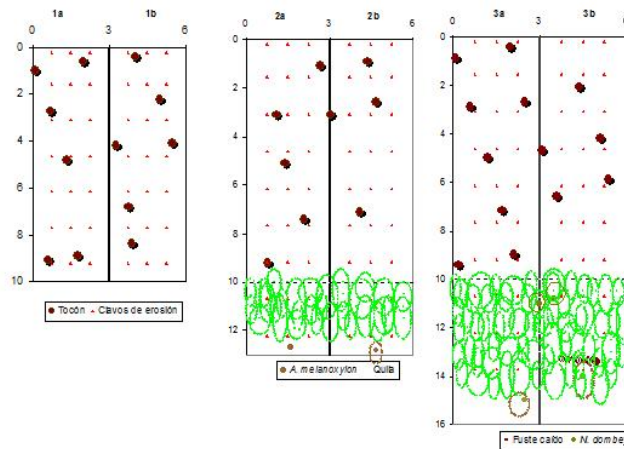


Figura 13. Representación espacial de la vegetación, tocones y clavos de erosión en las parcelas de escorrentía.

En esta figura se puede ver que los clavos se encuentran ordenados sistemáticamente dentro de las parcelas y zonas de protección de cauce, también muestra la irregularidad de la distribución de los tocones dentro de las mismas.

*Chusquea quila* es la especie dominante en las zonas de protección de cauce con una altura promedio de 2 m La cobertura de las copas de *Ch. quila* en las parcelas 2a y 2b dentro de la zona de protección de cauce correspondiendo a un 66,6% de esta, como se puede ver figura 13. Para la parcela 3a y 3b la cobertura de las copas de la especie antes mencionada se encuentra presente en los tres primeros metros de la zona de protección de cauce, lo cual corresponde a un 50% de esta zona.

Otra especie que se encuentra en las zonas de protección de cauce es *Acacia melanoxylon* la que tiene una altura de 5 m promedio y poseen una cobertura en las parcelas 2a y 2b de 5% en ambas y en las parcelas 3a y 3b de 6 y 5% respectivamente. También esta presente *Nothofagus dombeyi* con una altura promedio de 1,5 m y una cobertura en las parcelas 3a y 3b de 6 y 5% respectivamente.

Las zonas de protección de cauce poseen en promedio un mantillo de 4 cm de espesor en las parcelas 2a y 2b. Mientras que en las parcelas 3a y 3b el espesor de matillo es de 3 cm promedio. Para ambas parcelas y sus replicas, el mantillo esta compuesto principalmente por hojas y ramas de *Ch. quila*, *N. dombeyi* y *A. melanoxylon*.

## 4.2 Parcelas de escorrentía

### 4.2.1 Comparación de escorrentía superficial entre las parcelas

Los registros de escorrentía superficial acumulada para cada período de medición y en cada parcela (promedio entre la parcela 1a con 1b, 2a con 2b y 3a con 3b) se muestran en la figura 14.

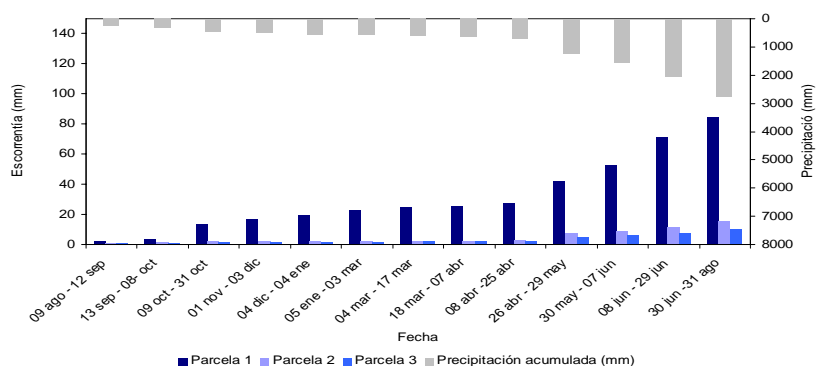


Figura 14. Escorrentía y precipitación acumulada, por parcela y periodo.

Para la parcela 1 (control, sin cubierta vegetal), la escorrentía total en el período de estudio fue de 85 mm, el coeficiente de escorrentía (porcentaje de la escorrentía expresada en porcentaje de la precipitación) fue del 3%. Las mayores escorrentías ocurrieron en los períodos de mayor precipitación (ver Figura 14). Es así como en los períodos 10 (26 abril al 29 mayo), 11 (30 mayo al 7 junio), 12 (8 junio al 29 junio) y 13 (30 junio al 31 agosto) la escorrentía fue 58 mm, correspondiendo al 68% de la escorrentía total registrados durante el estudio. El coeficiente de escorrentía (porcentaje de la escorrentía expresada en porcentaje de la precipitación) para estos cuatro períodos fue del 2%.

En el caso de las parcelas 2 y 3, la escorrentía total en el período de estudio fue de 16 y 11 mm, el porcentaje de escorrentía en estas dos parcelas fue de 0,6 y 0,4% respectivamente. Tal como en la parcela 1, las mayores escorrentías ocurrieron en los períodos 10 (26 abril al 29 mayo), 11 (30 mayo al 7 junio), 12 (8 junio al 29 junio) y 13 (30 junio al 31 agosto), con un total de 13 mm en la parcela 2 y 8 mm en la parcela 3. El coeficiente de escorrentía (porcentaje de la escorrentía expresada en porcentaje de la precipitación) para estos cuatro períodos en las parcelas 2 y 3 fue del 0,5 y 0,3% respectivamente.

Los resultados muestran que los valores de la escorrentía entre parcelas disminuyen en la medida que aumenta la participación de la zona de protección de cauce. Las escorrentías registradas en la parcela 1 presentan diferencias estadísticamente significativas con las medidas en las parcelas 2 y 3 (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadros 4 y 5). Sin embargo, las escorrentías entre las parcelas 2 y 3 son estadísticamente similares (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadros 6).

Las relaciones entre escorrentía y precipitación para cada período de estudio y parcela, se grafican en la figura 15.

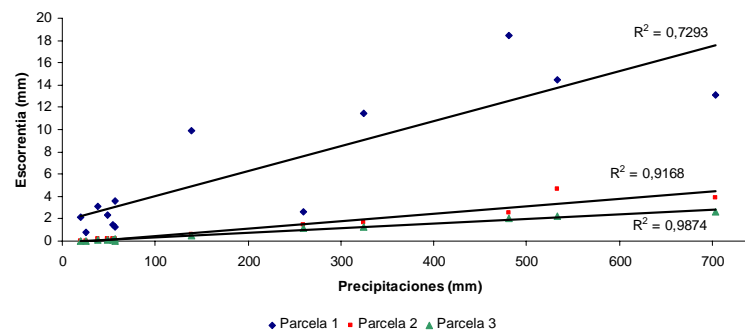


Figura 15. Relación entre precipitación y escorrentía por período.

Para las tres parcelas, se aprecia una relación lineal positiva entre precipitación y escorrentía por período. Los coeficientes de correlación ( $R^2$ ) son todos estadísticamente significativos (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadros 7, 8 y 9). La correlación entre la precipitación y el

escurrimiento superficial resultó mayor en la parcela 3 con 6 m de zona de protección de cauce ( $R^2$  de 0,98) y menor en la parcela 1 o control ( $R^2$  de 0,73).

Se observa que en las tres parcelas la tendencia de la escorrentía aumenta de forma directamente proporcional a la precipitación, esto se refleja en los valores del  $R^2$ .

Al comparar los valores de escorrentía entre parcelas, esta tiende a disminuir en la medida que aumenta la participación de la zona de protección de cauce. Deletic (2001), lo atribuye a la rugosidad de la zona de protección cauce, la que disminuye la velocidad del flujo superficial y favorece la infiltración del agua. Por otra parte Pérez *et al.* (2005) afirman que la escorrentía superficial se ve disminuida a causa de la vegetación y mantillo, aumentando la rugosidad del suelo con lo cual favorece la infiltración del agua. Gayoso *et al.* (2000) plantean que la vegetación de las zonas de protección de cauce en la provincia de Valdivia intercepta el 35 % de las precipitaciones disminuyendo la escorrentía superficial. Los resultados de este estudio, donde la escorrentía disminuye en las parcelas 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) se atribuyen a lo discutido por los autores antes mencionados.

La escorrentía en las parcelas 2 (promedio de las parcelas 2a y 2b) y 3 (promedio de las parcelas 3a y 3b), expresada en porcentaje de la registrada en la parcela 1 (promedio entre las parcelas 1a y 1b), se observa en el cuadro 4. En este cuadro, para cada período siempre la escorrentía en la parcela 1 asume un valor 100%.

Cuadro 4. Porcentaje de escorrentía de las parcelas 2 y 3 con respecto a la parcela 1 (control).

	Precipitación (mm)	Per. N	Fecha		N° días	Escorrentía					
			inicial	final		Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3	
						mm	%	mm	%	mm	%
	259,6	1	09-ago	12-sep	35	2,62	100	1,48	56,6	1,20	45,9
	56,4	2	13-sep	08-oct	26	1,22	100	0,24	19,6	0,18	15,1
	138,6	3	09-oct	31-oct	23	9,89	100	0,54	5,5	0,45	4,5
	38,2	4	01-nov	03-dic	33	3,15	100	0,15	4,9	0,12	3,9
	48,9	5	04-dic	04-ene	32	2,36	100	0,18	7,5	0,14	6,0
	56,4	6	05-ene	03-mar	59	3,55	100	0,06	1,6	0,02	0,6
	19,3	7	04-mar	17-mar	14	2,12	100	0,02	0,9	0,01	0,4
	25,8	8	18-abr	07-abr	21	0,76	100	0,04	4,9	0,03	3,9
	54,4	9	08-abr	25-abr	18	1,46	100	0,18	12,1	0,14	9,9
	533,5	10	26-abr	29-may	34	14,48	100	4,67	32,3	2,26	15,6
	324,2	11	30-may	07-jun	39	11,49	100	1,60	13,9	1,30	11,44
	480,7	12	08-jun	29-jul	22	18,48	100	2,52	13,6	2,05	11,1
	703,4	13	30-jul	31-ago	33	13,09	100	3,91	29,9	2,63	20,1
<b>Total</b>	<b>2739,5</b>				<b>389</b>	<b>84,7</b>	<b>100</b>	<b>15,6</b>		<b>10,5</b>	
<b>Promedio</b>							<b>100</b>		<b>18</b>		<b>12</b>

Para el período de estudio, la escorrentía en las parcelas 2 y 3 fue de 18 y 12%, respectivamente, de la registrada en la parcela 1 (ver cuadro 4). Esto significa que 3 y 6 metros de zona de protección de cauce redujeron en 82 y 88% la escorrentía proveniente de laderas sin cobertura vegetal (la escorrentía generada por la parcela 1).

Los resultados del cuadro 4 se grafican para una mejor visualización en la figura 16.

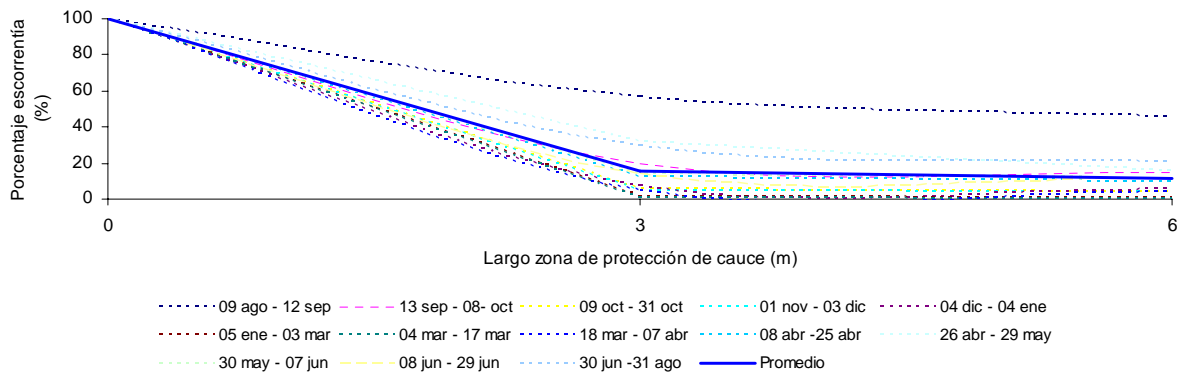


Figura 16. Generación de Escorrentía en parcelas con distintas zonas de protección de cauce para todos los eventos medidos.

La menor reducción de la escorrentía en las parcelas 2 y 3 con respecto a la de la parcela 1 corresponde al primer período de medición (09 agosto al 12 de septiembre del 2007). Esto se puede atribuir a la alta precipitación ocurrida antes del inicio del estudio, ya que la lluvia entre el 09 de junio y el 08 de agosto del 2007 fue de 669 mm (11 mm/día). Esto sin duda produjo una alta saturación de agua en el suelo al inicio del muestreo, lo que redujo la infiltración y favoreció el escurrimiento superficial.

Se complementa el análisis anterior separando los períodos con precipitación mayor o inferior a 100 mm (esto corresponde a períodos cuya precipitación media diaria es superior o inferior a 13 mm/día). Este análisis se presenta en la siguiente figura.

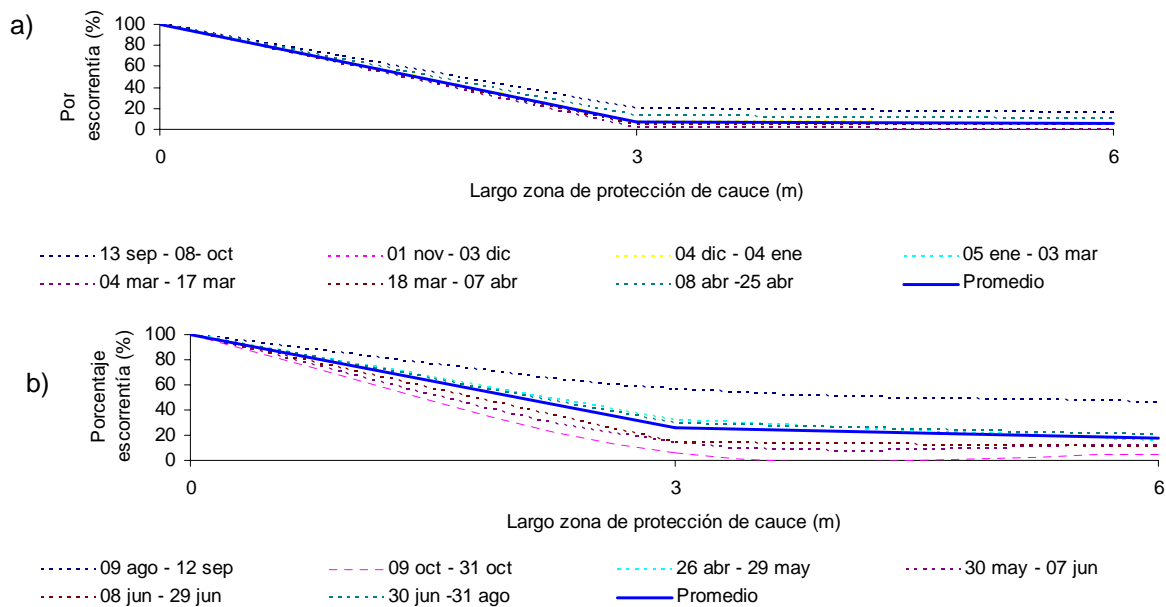


Figura 17. Generación de Escorrentía en parcelas con distintas zonas de protección de cauce, para precipitaciones menores o iguales a 100 mm (a) y precipitaciones mayores a 100 mm (b)

Existen siete períodos con precipitaciones menores o iguales a 100 mm (menores a 13 mm/día), figura 17a. Las precipitaciones de estos períodos varían entre 19 y 56 mm. Se aprecia que con 3 m de zona de protección de cauce llega un 7% de la escorrentía registrada en la parcela 1 (control, sin cobertura vegetal). A los 6 m la escorrentía que pasa es de 6%, es decir atrapa un 94% de la escorrentía que llega a la zona de protección de cauce.

Por otra parte en la figura 17b, que grafica la escorrentía de las precipitaciones mayores a 100 mm (mayor a 13 mm/día). Correspondiendo a seis períodos de medición donde se registró el 89% de las precipitaciones ocurridas durante el tiempo del estudio.

En los períodos de mayor precipitación, un 25% de la escorrentía que llega al inicio de la zona de protección de cauce atraviesa los primeros 3 m de ZPC, mientras que a los 6 m de la zona de protección de cauce pasa el 18% de la escorrentía, reteniendo el 82% de la escorrentía que entra a la zona de protección de cauce.

Existen diferencias significativas (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadros 10 y 11) de las escorrentías a los 3 y 6 m entre los períodos menores o iguales a 100 mm (menores o iguales a 13 mm/día) y los mayores a 100 mm (mayor a 13 mm/día). A menores precipitaciones, la capacidad de filtrar es mayor y viceversa. Esto confirma a Pizarro y Cutiño (1999) quienes plantean que cuando el suelo está saturado y la intensidad de precipitación es alta, la escorrentía es mayor, y lo contrario sucede en suelos secos o en situaciones de precipitaciones de baja intensidad.

La escorrentía de la parcela control no presentó diferencia significativa (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadro 12, 13 y 14) con los estudios realizados por Zamora (2003) y Mancilla (2006) en parcelas sin cobertura vegetal. El primero obtuvo 91 mm de escorrentía y mientras que el segundo encontró escorrentías de 60 y 46 mm.

Zamora (2003) en parcelas con zona de protección de cauce de 3 y 6 m, obtuvo una retención de escorrentías de 58 y 69%. Por otra parte Hengchaovanich (1999) y Castro *et al.* (1998) encontraron una retención de 73 y 68% de escorrentía respectivamente, siendo todos estos porcentajes menores a los obtenidos en este estudio.

#### 4.2.2 Efecto de la zona de protección de cauce en la erosión neta

La cantidad de suelo erosionado en las parcelas de escorrentía se observa en el cuadro 5.

Cuadro 5. Erosión neta en las parcelas de escorrentía.

	Precipitación (mm)	Per N	Fecha		N° días	Erosión neta		
			Inicial	final		Parcela 1*	Parcela 2*	Parcela 3*
						t/ha	t/ha	t/ha
	259,6	1	09-ago	12-sep	35	0,16	0,07	0,03
	56,4	2	13-sep	08-oct	26	0,08	0,02	0,00
	138,6	3	09-oct	31-oct	23	0,39	0,02	0,01
	38,2	4	01-nov	03-dic	33	0,08	0,01	0,01
	48,9	5	04-dic	04-ene	32	0,02	0,02	0,01
	56,4	6	05-ene	03-mar	59	0,06	0,01	0,00
	19,3	7	04-mar	17-mar	14	0,06	0,00	0,00
	25,8	8	18-abr	07-abr	21	0,04	0,01	0,01
	54,4	9	08-abr	25-abr	18	0,05	0,04	0,01
	533,5	10	26-abr	29- may	34	0,17	0,08	0,06
	324,2	11	30-may	07-jun	39	0,48	0,04	0,02
	480,7	12	08-jun	29-jul	22	0,22	0,04	0,02
	703,4	13	30-jul	31-ago	33	0,29	0,03	0,02
<b>Total</b>	<b>2739,5</b>				<b>389</b>	<b>2,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>
<b>Promedio</b>						<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>

\*corresponde al promedio de cada parcela con su replica

En la parcela 1 (control, sin cobertura vegetal), la erosión neta total en el período de estudio fue de 2,1 t/ha. Las mayores pérdidas de suelo ocurrieron en los períodos con mayores precipitaciones (períodos 10, 11, 12 y 13) siendo un 55% de la pérdida total de suelo registrado durante el estudio.

En las parcelas 2 y 3 la erosión neta fue de 0,4 y 0,2 t/ha. La pérdida de suelo en la parcela 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) es 50 % menor a lo obtenido en

la parcela 2 (con 3 m de zona de protección de cauce). Al igual que en la parcela 1, las mayores pérdidas de suelo se produjeron en los períodos 10, 11, 12 y 13 correspondiendo al 48 y 60% de la totalidad del suelo erosionado en las parcelas 2 y 3 respectivamente.

La mayor pérdida de suelo en la parcela 1 (control) ocurrió en el período 11 con 0,5 t/ha, donde la precipitación fue de 324 mm. En la parcela 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) y la parcela 3 (con 6 m de zona de protección de cauce), la mayor pérdida de suelo ocurrió en el período 10 (en ambas parcelas) con 0,08 y 0,06 t/ha respectivamente.

La erosión medida en la parcela 1 es estadísticamente diferente (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadros 15 y 16) con las registradas en las parcelas 2 y 3. Sin embargo, estas son similares entre si (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadro 17)

En la figura 18 se observa la relación entre la erosión neta y las precipitaciones acumuladas.

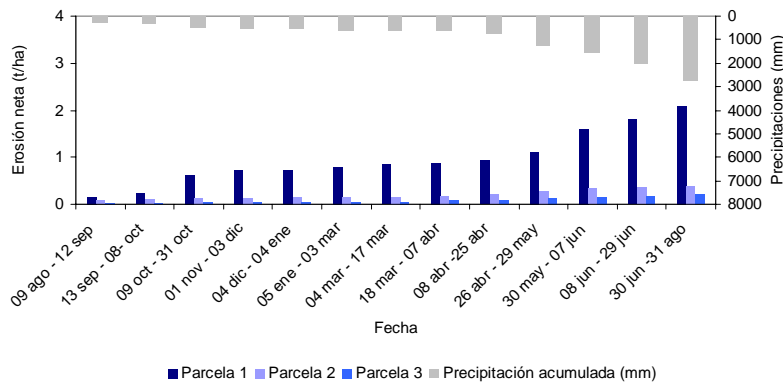


Figura 18. Tendencia de erosión neta acumulada y precipitaciones para el período de estudio

En la figura 18, se ve que existe una relación directamente proporcional entre las precipitaciones y la erosión neta. Se observa gráficamente la diferencia entre las parcelas 1 (control, sin zona de protección de cauce), 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce), siendo la parcela control 5 y 11 veces mayor que las parcelas 2 y 3 respectivamente.

El cuadro 6 presenta la erosión neta en las tres parcelas de escorrentía. La cantidad de erosión neta de la parcela 1 (control, sin vegetación) corresponde al 100% del suelo erosionado, los porcentajes de las parcelas 2 (promedio de las parcelas 2a y 2b) y 3 (promedio de las parcelas 3a y 3b) se presentan en función de la parcela control.



Cuadro 6. Porcentaje de erosión neta en las parcelas 2 y 3 con respecto a la parcela 1 (control).

	Precipitación (mm)	Per N	Fecha		N° días	Erosión neta (t/ha)					
			inicial	final		Parcela 1*		Parcela 2*		Parcela 3*	
						t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%
		1	09-ago	12-sep	35	0,16	100	0,08	50,0	0,03	18,8
	56,4	2	13-sep	08-oct	26	0,08	100	0,02	25,0	0,00	0,0
	138,6	3	09-oct	31-oct	23	0,39	100	0,02	5,1	0,01	2,6
	38,2	4	01-nov	03-dic	33	0,08	100	0,01	12,5	0,01	12,5
	48,9	5	04-dic	04-ene	32	0,02	100	0,02	100	0,01	50,0
	56,4	6	05-ene	03-mar	59	0,06	100	0,01	16,7	0,00	0,0
	19,3	7	04-mar	17-mar	14	0,06	100	0,00	0,0	0,00	0,0
	25,8	8	18-abr	07-abr	21	0,04	100	0,01	25,0	0,01	25,0
	54,4	9	08-abr	25-abr	18	0,05	100	0,04	80,0	0,01	20,0
	533,5	10	26-abr	29-may	34	0,17	100	0,08	47,1	0,06	32,3
	324,2	11	30-may	07-jun	39	0,48	100	0,04	8,3	0,02	4,2
	480,7	12	08-jun	29-jul	22	0,22	100	0,04	18,2	0,02	9,1
	703,4	13	30-jul	31-ago	33	0,29	100	0,03	10,3	0,02	6,9
<b>Total</b>	<b>2739,51</b>				<b>389</b>	<b>2,1</b>	<b>100</b>	<b>0,4</b>	<b>19</b>	<b>0,2</b>	<b>10</b>

\*corresponde al promedio de cada parcela con su replica

Se observa que en las zonas de protección de cauce de 3 y 6 m, la erosión neta es el 19 y 10% de la registrada en la parcela 1. Esto significa que con 3 y 6 m se atrapa el 81 y 90% del suelo que llega a la zona de protección de cauce respectivamente.

Los resultados del cuadro 6 se presentan de manera gráfica en la figura 19. De la misma forma como se hizo en la escorrentía, se grafican los resultados para los períodos con precipitación mayor y menor a 100 mm (correspondiendo a períodos cuya precipitación son superiores o inferiores a 13 mm/día).

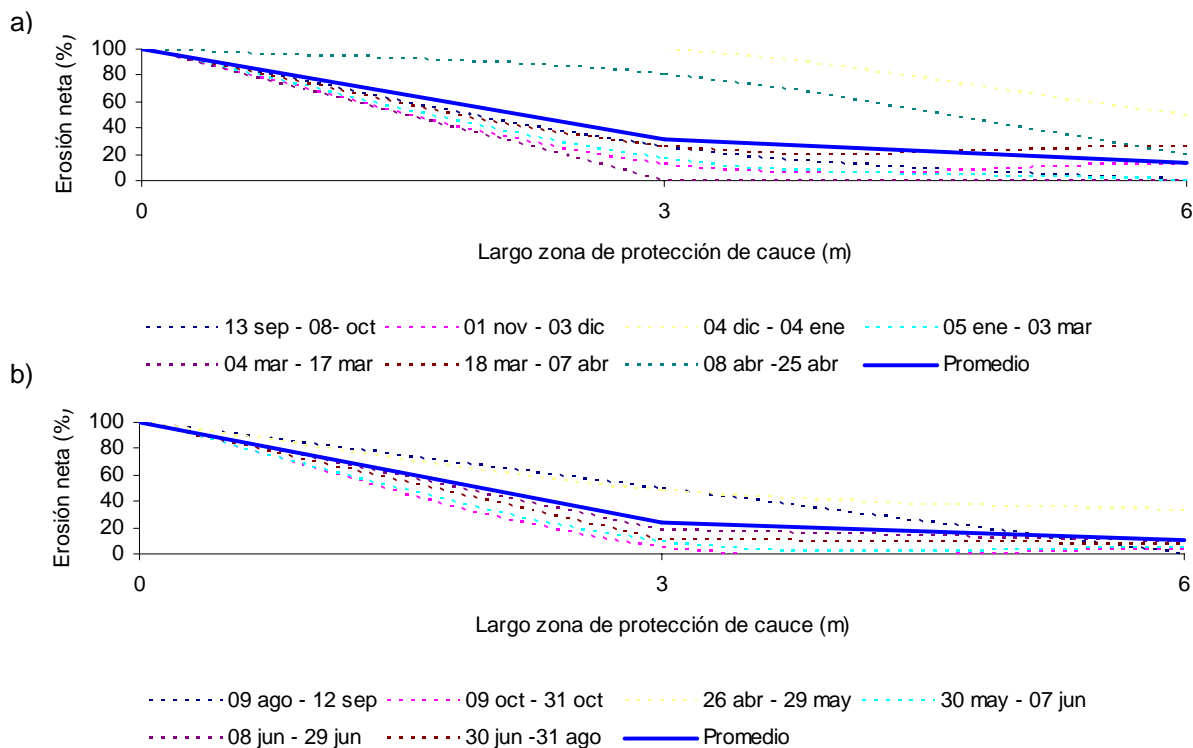


Figura 19: Generación de erosión neta en parcelas con diferente zona de protección de cauce, para precipitaciones menores o iguales a 100 mm (a) y precipitaciones mayores a 100 mm (b)

Se encuentran siete períodos con precipitaciones menores o iguales a 100 mm (< 13 mm/día), figura 19a. A los 3 m la erosión promedio es de 37% del suelo que ingresa a la zona de protección de cauce, mientras que a los 6 m es de 15%. El suelo retenido dentro de la zona de protección de cauce hasta los 6 m de largo es de 85% del total que ingresa.

En la figura 19b se presentan seis períodos con precipitaciones mayores a 100 mm (>13 mm/día), los que corresponden al 89 % del total de las precipitaciones ocurridas durante el período de estudio. En los primeros 3 m se erosionan 23% del suelo que entra a la zona de protección de cauce y a los 6 m el suelo erosionado corresponde a 11%. A los 6 m de largo el 89% del suelo que entra a la zona de protección de cauce es retenido por la vegetación.

Iroumé *et al.* (1989), encontraron que la erosión en pendientes de 50%, generó una pérdida de suelo anual de 1,8 t/ha, siendo similar a lo registrado en la parcela control, con una 20% de pendiente.

Zamora (2003) obtuvo una erosión neta total de 0,09 y 0,05 t/ha en parcelas con 3 y 6 m de zona de protección de cauce respectivamente. Estos resultados en comparación con este estudio no presentan diferencias significativas (prueba t de Student de hipótesis de media,  $p < 0,05$ , ver anexo 3, cuadro, 18 y 19).

Los resultados obtenidos confirman a Siepel *et al.* (2001) y Pearce *et al.* (1998), los que manifiestan que la zona de protección de cauce generalmente reduce la cantidad de sedimentos, aumentando la retención. Una densidad más alta y un espaciado más uniforme de la vegetación, probablemente formen un filtro más eficaz, contribuyendo de esta forma a mejores tasas de retención.

### 4.3 Clavos de erosión

#### 4.3.1 Comparación de erosión neta entre las parcelas

El cuadro 7 presenta la erosión neta de los clavos de erosión para las tres parcelas de escorrentía. La cantidad de erosión neta de la parcela 1 (control, sin vegetación) corresponde al 100% del suelo erosionado, los porcentajes de las parcelas 2 (promedio de las parcelas 2a y 2b) y 3 (promedio de las parcelas 3a y 3b) se presentan en función de la parcela control.

Cuadro 7. Erosión neta y porcentaje de E. neta de las parcelas 2 y 3 con respecto a la parcela 1 (control).

	Precipitación (mm)	Per N	Fecha		N° días	Erosión neta (t/ha)					
			inicio	final		Parcela 1*		Parcela 2*		Parcela 3*	
						t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%
	259,6	1	09-ago	12-sep	35	11,8	100	4,5	38,1	9,0	76,3
	56,4	2	13-sep	08-oct	26	8,1	100	0,8	9,9	0,1	1,2
	138,6	3	09-oct	31-oct	23	13,1	100	7,7	58,8	1,7	13,0
	38,2	4	01-nov	03-dic	33	0,1	100	0,1	100,0	0,1	100,0
	48,9	5	04-dic	04-ene	32	0,1	100	0,1	100,0	0,1	100,0
	56,4	6	05-ene	03-mar	59	5,2	100	1,2	23,1	0,1	1,9
	19,3	7	04-mar	17-mar	14	1	100	0,5	50,0	0,1	10,0
	25,8	8	18-abr	07-abr	21	0,1	100	0,1	100,0	0,1	100,0
	54,4	9	08-abr	25-abr	18	0,1	100	0,1	100,0	0,1	100,0
	533,5	10	26-abr	29-may	34	6,9	100	4,1	59,4	1,1	15,9
	324,2	11	30-may	07-jun	39	16,9	100	4,3	25,4	6,3	37,3
	480,7	12	08-jun	29-jul	22	5,3	100	1,8	34,0	0,6	11,3
	703,4	13	30-jul	31-ago	33	7,3	100	2,9	39,7	0,9	12,3
<b>Total</b>	<b>2739,5</b>				<b>389</b>	<b>76</b>		<b>28</b>		<b>20</b>	
<b>Prom.</b>						<b>100</b>		<b>56,8</b>		<b>44,6</b>	

\*corresponde al promedio de cada parcela con su replica

La erosión neta total en la parcela 1 (control, sin vegetación) fue de 76 t/ha. Los períodos 1, 3 y 11 suman una erosión neta de 42 t/ha el cual corresponde al 55% del total de suelo erosionado.

La erosión neta total de la parcela 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) fue de 28 t/ha. En los períodos 1, 3, 10 y 11 la erosión neta fue de 21 t/ha correspondiendo al 73% del total erosionado para esta parcela. El suelo erosionado para la parcela 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) fue de 20 t/ha durante el tiempo de

estudio. En los mismos período de la parcela 2, el suelo erosionado fue de 18 t/ha correspondiendo al 90% del total de suelo erosionado en esta parcela.

Las parcelas 2 y 3 retienen un 63 y 74% respectivamente del suelo erosionado. La parcela 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) retiene 11% más que la parcela 2 (con 3 m de zona de protección de cauce).

La erosión neta registrada en la parcela 1 presenta diferencia estadísticamente significativas con las medidas en las parcelas 2 y 3 (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 4, cuadros 20 y 21). Sin embargo, la erosión neta entre las parcelas 2 y 3 son estadísticamente similares (prueba t de Student de hipótesis de las medias,  $p < 0,05$ , ver anexo 4, cuadro 22). Estos resultados confirma a Castro *et al.* (1998) el cual dice que la zona de protección de cauce retiene los sedimentos favoreciendo la calidad del cauce.

Si comparamos la erosión neta total de cada parcela del cuadro 5 (erosión neta en las parcelas de escorrentía) con el cuadro 7 (erosión neta y porcentaje de erosión neta de las parcelas 2 y 3 con respecto a la parcela 1) es evidente que existe diferencias entre los valores registrados con las parcelas de escorrentía y los clavos de erosión. La erosión neta total de la parcela de escorrentía control y de los clavos de erosión para la misma parcela es de 2 y 76 t/ha respectivamente, siendo la segunda 38 veces superior que la primera. Esto mismo pasa en las parcelas 2 y 3 donde los clavos de erosión son 71 y 102 veces superiores a la erosión neta registrada en las parcelas de escorrentía respectivamente. La comparación de estos datos se pueden observar en el anexo 4 cuadro 27.

En la figura 20 se ve la comparación de la erosión neta entre la parcela 1 (control) con las parcelas 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) a los 10 m de largo.

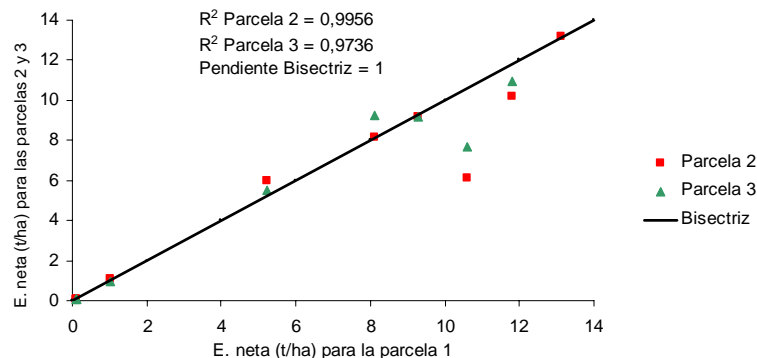


Figura 20. Comparación entre la parcela 1 (control) y las parcelas 2 y 3 a los 10 m de largo.

La correlación que se obtuvo para la parcela 1 (control) y 2 (con zona de protección de cauce de 3 m) fue de 99,6%. Las parcelas 1 y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) poseen una correlación de 97,4%. Estadísticamente no existe diferencia

significativa (prueba t Student de hipótesis de media,  $p < 0,05$ , ver anexo 4, cuadro 23, 24 y 25) en la erosión neta a los 10 m de largo para las parcelas 1 (control), 2 y 3 (con 3 y 6 m de zona de protección de cauce respectivamente), por lo tanto se puede decir que en las tres parcelas se ha producido una erosión similar dentro de la zona desprovista de vegetación.

En la figura 21 se observa la comparación de la erosión neta entre las parcelas 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) a los 11,7 m de largo.

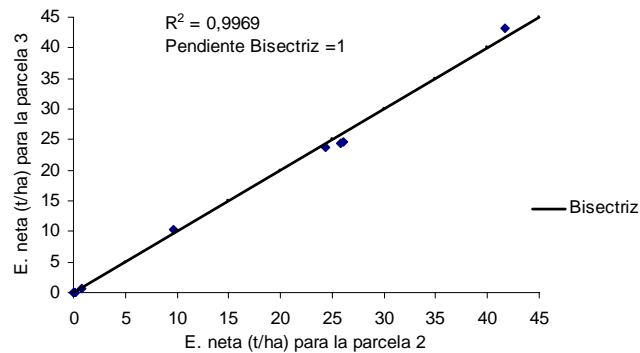


Figura 21. Comparación entre la parcela 2 y 3 a los 11,7 m de largo.

En las parcelas 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce respectivamente) a los 11,7 m una correlación de 99,7%.

Estadísticamente la erosión neta entre las parcelas 2 y 3 a los 11,7 m de largo no presentan diferencias significativas, (prueba t Student de hipótesis de media,  $p < 0,05$ , ver anexo 4, cuadro 26), esto quiere decir que en ambas parcelas se han comportado de similar manera hasta los 11,7 m de largo.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio permitió calcular la escorrentía superficial y la producción de sedimentos desde parcelas de escorrentía, bajo tres condiciones de cobertura vegetal.

Para las parcelas de escorrentía estudiadas, se concluye que la vegetación de orilla de cauce tiene una importante capacidad para reducir los escurrimientos y filtrar los sedimentos provenientes desde terrenos de suelo desnudo. La escorrentía superficial se redujo en 82 y 88%, mientras que se retuvo un 81 y 90% de los sedimentos producidos con 3 y 6 m de ZPC, respectivamente. Las zonas de protección de cauce de 6 m retienen una mayor cantidad de suelo erosionado y escorrentía superficial que una con 3 m de largo para las condiciones de este estudio.

Para los clavos de erosión, la erosión neta se redujo en un 63 y 74% al tener 3 y 6 m de ZPC respectivamente, obteniendo la misma tendencia que las parcelas de escorrentía. El orden de magnitud de los procesos erosivos medidos con las parcelas de escorrentía es diferente a los obtenidos con los clavos de erosión, registrando el segundo método una mayor pérdida de suelo.

No fue posible determinar la distribución de los sedimentos dentro de las zonas de protección de cauce, ya que las densidades de clavos de erosión utilizadas fueron bajas.

Como recomendaciones, se sugiere:

- Aumentar la densidad de clavos de erosión (con un espaciamiento de 0,4 entre filas x 0,3 m entre columnas) con el objetivo de obtener una mejor representación de la ladera y de los procesos de sedimentación en las ZPC.
- Estudiar la eficiencia de anchos de ZPC, pendiente y longitud del área de aporte de sedimentos diferentes a las utilizadas en este estudio. Así, podrá aportarse información adicional para una optimización del ancho de las ZPC.
- Estudiar la capacidad de filtrar sedimentos de diferentes composiciones de vegetación en las ZPC.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Alcalañiz, J. 2008. Erosión: Evaluación del riesgo erosivo y prácticas de protección del suelo. Capítulo 4 In: Parra, A.; Rodríguez, R. Evaluación y preservación de riesgos ambientales de Centroamérica. Girona (España). pp. 125-146.
- Alegre, J. 1991. Manejo y conservación de suelos y su importancia en sistemas agroforestales. INTERNET: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/rla128/inia/inia-i4/inia-i4-03.htm> Mayo 21, 2007.
- Bejarano, M. 2000. Comparación del modelo de erosión de suelo a través de la ecuación de Morgan y el mapeo de erosión. Caso de estudio, Subcuenca Khara Jalanta, Bolivia. INTERNET <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/40.pdf>. Junio 15, 2007.
- Büchner, C. 2007. Respuesta inicial de una plantación de *Nothogafus dombeyi* (MIRB) OERST a distintas dosis de fertilizante, en la Precordillera de la Costa de Valdivia. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 55p
- Castro, A.; Carrión, B.; González S.; Santamaría C. X. 1998. Ríos, ribeiras e chairas de asolagamento. Razóns para conservarlos. Técnicas para restauralos. INTERNET <http://www.arrakis.es/~alcrrique/paginan2.htm#Vexetación> Junio 12, 2007.
- Deletic, A. 2001. Modelling of water and sediment transport over grassed areas. Journal of Hydrology 248(2001): 168-182
- FAO. 1997. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelo. Boletín de tierras y aguas N° 8, FAO. Roma. 90 p.
- Forestal Arauco S.A., 1997. Normas de mejores prácticas forestales, un avance hacia el desarrollo sostenible. 30p.
- Forestal Mininco S.A., 1995. Manual de las mejores prácticas forestales. 45p.
- Gayoso, J.; Acuña, M. 1999. Guía de campo: Mejores prácticas de Manejo Forestal. Universidad Austral de Chile. 118p.
- Gayoso, J.; Gayoso, S. 2003. Diseño de zonas ribereñas, Requerimiento de un ancho mínimo. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, 12p.
- Gayoso, J.; Schlegel, B.; Acuña, M. 2000. Guía de conservación de agua. Programa de Producción Forestal y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 50 p.

- Gerding, V.; Rivas, Y. 2006. Desarrollo de plantaciones experimentales jóvenes de *Fitzroya cupreeoides* establecidas en el arboreto de la Universidad Austral de Chile, Valdivia. *Revista Bosque* 27(2): 155-162.
- Guerra, J.; Gayoso, J.; Schlatter, J.; Nespolo, R., 2005. Análisis de la biomasa de raíces en diferentes tipos de bosques. *Avances en la evaluación de Pinus radiata* en Chile, Valdivia. *Revista Bosque* 26(1): 5-21.
- Hengchaovanich, D. 1999. El pasto vetiver en la estabilización de pendientes y el control de la erosión. INTERNET: <http://www.vetiver.com/LAVNelpasto.htm> Junio 19, 2007.
- Huber, A. Lopez, D. 1993. Cambios en el balance hídrico provocados por tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don), Valdivia, Chile. *Revista Bosque* 14(2): 14-18.
- Hudson, N. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. FAO. Roma. 147 p.
- Ibarra, Manuel.; Mancilla, G.; Peralta, M. 1996. Evaluación de la erosión hídrica bajo tres tipos de cubierta arbórea en la cordillera de Nahuelbuta. Departamento de Silvicultura, Facultad de Cs Agrarias y Forestales, U. de Chile, Santiago. 14p
- Instituto de Investigación de Recursos Naturales (Chile). 1978. Estudios de los suelos de la provincia de Valdivia. Convenio Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales (IREN) - Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) - Universidad Austral de Chile (UACH). Santiago, (Chile). 178 p.
- Iroumé, A.; Gayoso, J.; Infante. 1989. Erosión hídrica y alteración del sitio en cosecha a tala rasa. *Ecol. Biol. Sol* 26 (2): 171-180
- León P., J.D. 2001. Estudio y control de la erosión hídrica. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia: Medellín. 224 p.
- Linsey, R.; M. Kohler; J. Paulus. 1977. Hidrología para ingenieros. Traducido por Deeb, A. Ordoñez, J. Castillo, F. 2ª ed. Colombia. Mc Grawhill. 386 p.
- Mancilla, B. 2006. Erosión en parcelas experimentales y redistribución del suelo mediante la concentración de <sup>7</sup>Be. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 98p.
- Mancilla, G. 2005. El uso de modelos de erosión para la planificación de actividades forestales. INTERNET: [http://www.forestal.uchile.cl/ambiente\\_forestal/modelos\\_erosion.pdf](http://www.forestal.uchile.cl/ambiente_forestal/modelos_erosion.pdf) Agosto 20, 2007.



- Marcano, J. 1999. Nociones de Ecología. INTERNET: <http://www.jmarcano.com/nociones> Junio 22, 2007.
- Martínez A.; Navarro, J. 1996. Hidrología Forestal. El Ciclo Hidrológico. Serie: Manuales y Textos Universitarios, Ciencias 18, Universidad de Valladolid, 286 p.
- Menke, C. 1999. Transporte de sedimentos en una cuenca de la X Región. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Fac. de Cs. Forestales. 73 p.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2007. Las parcelas experimentales de la red de estaciones experimentales de seguimiento y evaluación de la erosión y la desertificación (RESEL).
- Monsalve, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. 2ed. Colombia. Alfaomega. 382 p.
- Morgan, R. 1997. Erosión y conservación del suelo. Trad. por Urbano P.; Urbano J. 1<sup>ra</sup> Edición. España. Ediciones Mundi – Prensa. 343 p.
- Moreno, M.; Gutiérrez, M.; Maldonado, A.; Jurado, E. 2002. Evaluación de los procesos de desertificación en una cuenca hidrológica del NE de México. Ciencia UANL/Vol V, (4): 519-524
- Oñate, F. 2006. Diseño y validación de un dispositivo para el monitoreo de la erosión hídrica en cuencas hidrográficas. Área de Hidrología UCG-SIG, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
- Pearce, R.; Frasier, G.; Trlica, M.; Leininger, W.; Stednick, J.; Smith, J. 1998. Sediment filtration in a montane riparian zone under simulated rainfall. Journal of Range Management 51(3): 301-308
- Peña, L.; Carrasco, M.; Figueroa, C.; Oyarzún, B.; Lo Cascio, B. 1993. Pérdidas por erosión hídrica en suelos agrícolas y forestales de la cuenca del río Biobío. Proyecto EULA- Chile. Serie: Propuestas de ordenamiento. 105p.
- Peralta, M. 1976. Uso, Clasificación y Conservación de suelos. Santiago. SAG. 337 p.
- Pérez, J.; Valdés, E.; Hernández, M.; Ordaz, V. 2005. Lluvia, escurrimiento y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Agrociencia. 39(4): 409-418
- Phillips, M., LI. Swift y C. Blinn. 2000. Best Management Practices for Riparian Areas. In: Riparian management in forests of the continental Eastern United States Boca Raton, FL: Lewis Publishers, CRC Press . (16) 273-286.

- Pizarro, R.; Cuitiño, H. 1999. Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la pre-cordillera andina y valle central de la VIII Región. VI Jornadas del CONAPHI-Chile. Santiago (Chile) 25-28 Mayo 1999. pp. 33-43
- Pizarro, C.; Cuitiño, H. 1997. Evaluación experimental de la erosión por parcelas de clavos en la VII Región de Chile. 13 p.
- Rivas, J. 2000. Erosión hídrica y parámetros físico-químicos del escurrimiento superficial en plantaciones forestales. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 85p.
- Schulz, K. 2000. Caudales y sedimentos en suspensión para el periodo de verano en cuencas experimentales de la Décima Región, Chile. Tesis Ing. For. Valdivia (Chile). UACH, Fac. Cs. Forestales. 65p.
- Siepel, A.; Steenhuis, T.; Rose, C.; Parlange, I.; McIsaac, G. 2001. A simplified hillslopes erosion model with vegetation elements for practical applications. Journal of Hydrology 258: 111-121
- Silva, O. 1994. Evaluación del escurrimiento y la erosión en condiciones de sabana y bosque claro de altas pendientes. Caso Macapo, Estado Cojedes. INTERNET: <http://www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v022/v022a050.html> Mayo 23, 2007.
- Suárez, J. 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales. División Editorial y de publicaciones Universidad Industrial de Santander. 555 p.
- Texas Forest Service. 1999. Best Management Practices: Streamside management Zones. 5p.
- Ulloa, H. 2007. Evaluación del control y erosión asociada al arrumado de residuos en tala rasa. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 37p.
- Wischmeier, W. H.; D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide for Conservation Planning. Washington, United States Department of Agriculture. 69 p. Agriculture Handbook 537
- Zamora, N. 2003. Estimación de la tasa de retención de sedimentos en la zona de protección de cauce de una cuenca de la X<sup>ma</sup> Región. Tesis Magíster en Ciencias, Mención Recursos Forestales. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 59p.

## **ANEXOS**

Anexo 1  
*Abstract and keywords*

## ABSTRACT

In a forest site clearcut during the summer of 2005 - 2006 run-off plots were used to evaluate the efficiency of the buffer stream protection zones (ZPC) to reduce overland flow and sediment transport. Simultaneously, erosion pins were used to measure the distribution of the sediment retention by the vegetation at the ZPC. Three plots and their respective replica were installed in the PR-111 stand at the Los Pinos forest farm, Monument site, Forest Research Center, Universidad Austral de Chile (39°44' S; 73°10' W) in a 20% slope area. The total period of measurement extended between August 9 2007 and August 31 2008 (389 d, with a total precipitation of 2740 mm), including 12 successive measurement periods each of approximately one month. In each run-off plot, the length of the uncovered sediment contribution zone was 10 m and was maintained without vegetal cover through periodic herbicide applications. Plot 1, with a length of 10 m throughout the slope was designed as control plot, without including ZPC. In plots 2 and 3, a strip of 3 and 6 m wide ZPC, respectively, was included in the lower end so that their lengths throughout the slope were 13 and 16 m.

During the total period of observation an overland flow of 84.7, 15.6 and 10.5 mm was determined in plots 1, 2 and 3, respectively. This indicates that the 3 m ZPC (plot 2) reduced run-off in 82% and that the one of 6 m (plot 3) in 88%, with respect to the run-off measured at the control plot without ZPC. During the total period of observation, in run-off plots 1, 2 and 3 a net erosion of 2,1, 0,4 and 0,2 t/ha, respectively, was measured. This indicates that in the 3 and 6 m wide ZPC (plots 2 and 3) the 81 and 90%, respectively, of sediments mobilized from the control situation (without ZPC) were trapped. Using the erosion pin method soil losses of 76, 28 and 20 t/ha were measured in plots 1, 2 and 3. This is higher than those measured at the run-off plots. Plots 2 and 3 retained the 63 and 74% of sediments originated from the control plot. The erosion pin method is assumed to overestimate soil erosion.

The increase in 3 m (from 3 to 6 m) of the ZPC of width in plot 3 allows a discreet diminution of sediments deposited in the ZPC. According to the literature this decrease responds to a quadratic equation among amount of deposited sediment in the ZPC and its width.

Keywords: stream protection zones, overland flow, net erosion.

## Anexo 2

Formulario de terreno para los clavos de erosión

Cuadro 1. Formulario de registro de las alturas de los clavos de erosión para la parcela de 10 m

Dist. (m)	Sub-parcela A			Sub-parcela B		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
0.0	1.1					
	1.2					
	1.3					
1.6	2.1					
	2.2					
	2.3					
3.2	3.1					
	3.2					
	3.3					
4.8	4.1					
	4.2					
	4.3					
6.4	5.1					
	5.2					
	5.3					
8.0	6.1					
	6.2					
	6.3					
9.6	7.1					
	7.2					
	7.3					

Cuadro 2. Formulario de registro de las alturas de los clavos de erosión para la parcela de 10 m con 3 m de zona de protección de cauce.

Dist. (m)	Sub-parcela A			Sub-parcela B		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
0.0	1.1					
	1.2					
	1.3					
1.6	2.1					
	2.2					
	2.3					
3.2	3.1					
	3.2					
	3.3					
4.8	4.1					
	4.2					
	4.3					
6.4	5.1					
	5.2					
	5.3					
8.0	6.1					
	6.2					
	6.3					
9.6	7.1					
	7.2					
	7.3					
11.2	8.1					
	8.2					
	8.3					
12.8	9.1					
	9.2					
	9.3					



Cuadro 3. Formulario de registro de las alturas de los clavos de erosión para la parcela de 10 m con 6 m de zona de protección de cauce.

Dist. (m)	Sub-parcela A			Sub-parcela B		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
0.0	1.1					
	1.2					
	1.3					
1.6	2.1					
	2.2					
	2.3					
3.2	3.1					
	3.2					
	3.3					
4.8	4.1					
	4.2					
	4.3					
6.4	5.1					
	5.2					
	5.3					
8.0	6.1					
	6.2					
	6.3					
9.6	7.1					
	7.2					
	7.3					
11.2	8.1					
	8.2					
	8.3					
12.8	9.1					
	9.2					
	9.3					
14.4	10.1					
	10.2					
	10.3					

### Anexo 3

Cuadros estadísticos para las parcelas de escorrentía

Cuadro 4. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías de las parcelas 1 y 2

Media P1	Media P2	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P2	Dev. sta P1	Dev. sta. P2
6,51	1,20	3,04	24	0,007	13	13	6,09	1,60

Cuadro 5. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías de las parcelas 1 y 3

Media P1	Media P3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P3	Dev. sta P1	Dev. sta. P3
6,51	0,81	3,33	24	0,003	13	13	6,09	0,96

Cuadro 6. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías de las parcelas 2 y 3

Media P2	Media P3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P2	Valor N P3	Dev. sta P2	Dev. sta. P3
1,20	0,81	0,74	24	0,47	13	13	1,58	0,96

Cuadro 7. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías observados y estimados en la parcela 1

Media Obs.	Media Est.	t- calculado	grados libertad	p	Valor N Obs.	Valor N Est.	Dev. sta Obs.	Dev. sta. Est.
6,5	4,3	2,7	24	0,051	13	13	6,1	0,2

Cuadro 8. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías observados y estimados en la parcela 2

Media Obs.	Media Est.	t- calculado	grados libertad	p	Valor N Obs.	Valor N Est.	Dev. sta Obs.	Dev. sta. Est.
1,2	0,2	2,1	24	0,05	13	13	1,6	0,01

Cuadro 9. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías observados y estimados en la parcela 3

Media Obs.	Media Est.	t- calculado	grados libertad	p	Valor N Obs.	Valor N Est.	Dev. sta Obs.	Dev. sta. Est.
0,18	0,07	2,8	24	0,06	13	13	1,0	0,005

Cuadro 10. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) a los 3 m de zona de protección de cauce entre las precipitaciones menor o iguales a 100 mm (menor o igual a 13 mm/d) y las precipitaciones mayores a 100 mm (mayor a 13 mm/d)

Media < 13 mm/d	Media > 13 mm/d	t- calculado	grados libertad	p	Valor N < 13 mm/d	Valor N > 13 mm/d	Dev. sta < 13 mm/d	Dev. sta. > 13 mm/d
7,3	25,3	-2,4	11	0,03	7	6	6,6	18,5

Cuadro 11. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) a los 6 m de zona de protección de cauce entre las precipitaciones menor o iguales a 100 mm (menor o igual a 13 mm/d) y las precipitaciones mayores a 100 mm (mator a 13 mm/d)

Media < 13 mm/d	Media > 13 mm/d	t- calculado	grados libertad	p	Valor N < 13 mm/d	Valor N > 13 mm/d	Dev. sta < 13 mm/d	Dev. sta. > 13 mm/d
5,6	18,1	-2,3	11	0,04	7	6	5,2	14,6

Cuadro 12. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 1 control, sin vegetación y 1 testigo, sin vegetación (Zamora, 2003)

Media P1	Media P1Z	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P1Z	Dev. sta P1	Dev. sta. P1Z
6,51	11,35	-1,06	19	0,30	13	8	6,09	14,71

Cuadro 13. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 1 control, sin vegetación y 3 con residuos sin quema (Mancilla 2006)

Media P1	Media P3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P3	Dev. sta P1	Dev. sta. P3
6,51	11,8	-14,1	16	0,18	13	5	6,09	9,52

Cuadro 14. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 1 control, sin vegetación y 4 con residuos sin quema (Mancilla 2006)

Media P1	Media P4	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P4	Dev. sta P1	Dev. sta. P4
6,51	9,2	-0,8	16	0,43	13	5	6,09	7,19

Cuadro 15. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 1 control, sin vegetación y 2 con 3 m de zona de protección de cauce.

Media P1	Media P2	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P2	Dev. sta P1	Dev. sta. P2
0.17	0.04	2.80	22	0.01	12	12	0.17	0.04

Cuadro 16. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 1 control, sin vegetación y 3 con 6 m de zona de protección de cauce.

Media P1	Media P3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P3	Dev. sta P1	Dev. sta. P3
0.17	0.02	3.13	22	0.005	12	12	0.17	0.03

Cuadro 17. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 2 con 3 m de zona de protección de cauce y 3 con 6 m de zona de protección de cauce.

Media P2	Media P3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P2	Valor N P3	Dev. sta P2	Dev. sta. P3
0.04	0.02	1.22	22	0.23	12	12	0.04	0.03

Cuadro 18. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 2 con 3 m de zona de protección de cauce y 2 con 3 m de zona de protección de cauce (Zamora, 2003)

Media 2	Media 2Z	t- calculado	grados libertad	p	Valor N 2	Valor N 2Z	Dev. sta 2	Dev. sta 2Z
0.04	0.01	1.79	17	0.09	12	7	0.04	0.01

Cuadro 19. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 3 con 6 m de zona de protección de cauce y 3 con 6 m de zona de protección de cauce (Zamora, 2003)

Media 3	Media 3Z	t- calculado	grados libertad	p	Valor N 3	Valor N 3Z	Dev. sta 3	Dev. sta. 3Z
0.02	0.01	1.10	17	0.29	12	7	0.03	0.01

## Anexo 4

Cuadros estadísticos para los clavos de erosión

Cuadro 20. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías de las parcelas 1 y 2

Media P1	Media P2	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P2	Dev. sta P1	Dev. sta. P2
5,8	2,2	2,2	24	0,04	13	13	5,6	2,4

Cuadro 21. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías de las parcelas 1 y 3

Media P1	Media P3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P1	Valor N P3	Dev. sta P1	Dev. sta. P3
5,8	1,6	2,5	24	0,02	13	13	5,6	2,8

Cuadro 22. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para valores de escorrentías de las parcelas 2 y 3

Media P2	Media P3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N P2	Valor N P3	Dev. sta P2	Dev. sta. P3
2,2	1,6	0,6	24	0,6	13	13	2,4	2,8

Cuadro 23. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) las parcelas 1 (control, sin vegetación) y 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) a los 10 m de largo

Media 1	Media 2	t- calculado	grados libertad	p	Valor N 1	Valor N 2	Dev. sta 1	Dev. sta. 2
6.34	5.36	0.44	22	0.66	12	12	5.99	4.86

Cuadro 24. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 1 (control, sin vegetación) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) a los 10m de largo

Media 1	Media 3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N 1	Valor N 3	Dev. sta 1	Dev. sta. 3
6.34	5.61	0.32	22	0.75	12	12	5.99	5.13

Cuadro 25. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 2 (con 3 m de zona de protección de cauce) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) a los 10m de largo

Media 2	Media 3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N 2	Valor N 3	Dev. sta 2	Dev. sta. 3
5.36	5.61	-0.12	22	0.90	12	12	4.86	5.13

Cuadro 26. Análisis de comparación de medias con la prueba t student ( $p < 0,05$ ) para las parcelas 2 con 3 m de zona de protección de cauce) y 3 (con 6 m de zona de protección de cauce) a los 11.7m de largo

Media 2	Media 3	t- calculado	grados libertad	p	Valor N 2	Valor N 3	Dev. sta 2	Dev. sta. 3
10.7	10.6	0.017	22	0.98	12	12	14.8	14.7

Cuadro 27. Comparación entre parcelas de escorrentía y clavos de erosión para la erosión neta.

	Precipitación	Per	Fecha		N°	Erosión neta (t/ha)					
						Par. de escorrentía			Clavos de erosión		
						(mm)	N	inicio	final	días	P1
	259,6	1	09-ago	12-sep	35	0,16	0,08	0,03	11,8	4,5	9,0
	56,4	2	13-sep	08-oct	26	0,08	0,02	0,00	8,1	0,8	0,1
	138,6	3	09-oct	31-oct	23	0,39	0,02	0,01	13,1	7,7	1,7
	38,2	4	01-nov	03-dic	33	0,08	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1
	48,9	5	04-dic	04-ene	32	0,02	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
	56,4	6	05-ene	03-mar	59	0,06	0,01	0,00	5,2	1,2	0,1
	19,3	7	04-mar	17-mar	14	0,06	0,00	0,00	1	0,5	0,1
	25,8	8	18-abr	07-abr	21	0,04	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1
	54,4	9	08-abr	25-abr	18	0,05	0,04	0,01	0,1	0,1	0,1
	533,5	10	26-abr	29-may	34	0,17	0,08	0,06	6,9	4,1	1,1
	324,2	11	30-may	07-jun	39	0,48	0,04	0,02	16,9	4,3	6,3
	480,7	12	08-jun	29-jul	22	0,22	0,04	0,02	5,3	1,8	0,6
	703,4	13	30-jul	31-ago	33	0,29	0,03	0,02	7,3	2,9	0,9
<b>Total</b>	<b>2739,51</b>				<b>389</b>	<b>2,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>76</b>	<b>28</b>	<b>20</b>
<b>Promedio</b>						<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>6,34</b>	<b>2,35</b>	<b>1,66</b>