



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO EN TRES SITUACIONES
DE MANEJO DE RESIDUOS POST-COSECHA, USANDO EL
MODELO RUSLE, EN EL PREDIO PANTANILLOS, VII REGIÓN.**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

SOFIA CAROLINA PINO SANHUEZA

Profesor Guía: Gabriel Mancilla Escobar. Ing. Forestal, MSc., Ph.D.

Santiago, Chile

2008

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO EN TRES SITUACIONES
DE MANEJO DE RESIDUOS POST-COSECHA, USANDO EL
MODELO RUSLE, EN EL PREDIO PANTANILLOS, VII REGIÓN.**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

SOFIA CAROLINA PINO SANHUEZA

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Gabriel Mancilla Escobar	7,0
Prof. Consejero Sr. Manuel Ibarra	6,0
Prof. Consejero Sr. Manuel Toral	6,0

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron en la realización de este trabajo que por fin llega a buen término.

- Principalmente a mi Profesor Guía Señor Gabriel Mancilla Escobar, quien con su constante apoyo, tiempo y dedicación, fue pilar fundamental en el desarrollo de este trabajo. Ha sido de las personas que escucha y presta atención a sus alumnos, así como también ha sabido guiar con sus consejos, lo cual lo convierte en profesor digno de imitar.
- A los profesores Consejeros por su participación en la realización de este trabajo.
- Al Señor Cristián Hernández, a la Señora Rosa y quienes trabajan en Pantanillos, por haberme brindado su colaboración en terreno con frío y lluvia. Al Señor Hernández por su disposición y porque su ayuda fue fundamental para que la toma de datos se llevara a cabo, y a la Señora Rosa por su cariño y preocupación.
- A la Tía pH (Cristina Sáez) por los conocimientos entregados en el laboratorio y todos los buenos momentos compartidos.
- También debo nombrar a Mauri y Elena a quienes hice pasar frío en Pantanillos, y Maui que ayudo con sus conocimientos técnicos.
- Por último a mis padres que siempre me brindaron su apoyo y cariño.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Concepto de erosión	4
3.2. Erosión hídrica	4
3.2.1. Mecánica de la erosión hídrica.....	5
3.2.2. Factores que determinan la erosión hídrica	6
3.3. Impacto y consecuencias de la erosión y sedimentación.....	7
3.4. La relación entre suelo y bosque	7
3.5. Manejo de residuos vegetales post-cosecha.....	7
3.5.1. Efectos de los desechos post-cosecha	8
3.5.2. Efectos de las que mas sobre el suelo.....	8
3.6. Erosión hídrica en Chile	9
3.7. Estimación y medición de la erosión hídrica	10
3.7.1. Mediciones localizadas: Parcelas de varillas o clavos de erosión.....	10
3.7.2. Modelos empíricos	11
4. MATERIAL Y MÉTODO	14
4.1. Material.....	14
4.1.1. Ubicación del estudio	14
4.1.2. Características del suelo	15
4.1.3. Clima	15
4.1.4. Topografía	15
4.1.5. Vegetación.....	16
4.2. Método.....	16
4.2.1. Características de las parcelas experimentales	16
4.2.2. Número y distribución de las parcelas experimentales.....	17
4.2.3. Diseño experimental y análisis estadístico	17

4.2.4.	Estimación de la erosión utilizando el método de clavos	18
4.2.5.	Muestras de suelo	19
4.2.6.	Estimación de la erosión utilizando RUSLE.....	20
4.2.6.1	Determinación del factor R	20
4.2.6.2	Determinación del factor K	21
4.2.6.3	Determinación del factor LS	21
4.2.6.4	Determinación del factor C	21
4.2.6.5	Determinación del factor P.....	23
4.2.7.	Obtención de la información	23
4.2.8.	Selección y cálculo de las intensidades	24
5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	25
5.1.	Resultados para el método de los clavos de erosión.....	25
5.1.1.	Determinación de diferencias de medias para la erosión (ton/ha/período) en el Predio Pantanillos.	27
5.2.	Estimación de las pérdidas de suelo utilizando la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE).	29
6.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
6.1.	Método de los clavos de erosión.....	31
6.2.	Método RUSLE	33
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
7.1.	Conclusiones	35
7.2.	Recomendaciones	36
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	37
	APENDICE I	42
	APENDICE II (a)	45
	APENDICE II (b).....	47
	APENDICE III	48
	APÉNDICE IV.....	49
	ANEXO I.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1: Valores mensuales de precipitación obtenida en Pantanillos durante el desarrollo de esta investigación.
- Cuadro 2. Análisis de varianza para la erosión media.
- Cuadro 3. Análisis de varianza para la sedimentación media.
- Cuadro 4. Análisis de varianza para la erosión neta.
- Cuadro 5. Análisis de varianza para el suelo movilizado.
- Cuadro 6. Resultados obtenidos durante el período de estudio mediante el uso de RUSLE y clavos de erosión.
- Cuadro 7. Valores para determinar el factor K.
- Cuadro 8. Valores para determinar el factor LS.
- Cuadro 9. Obtención del factor P.
- Cuadro 10. Efecto del suelo desnudo, raíces finas de árboles y reconsolidación, en suelos no cultivados.
- Cuadro 11. Subfactor Cobertura.
- Cuadro 12. Efecto de los escalones en la pendiente.
- Cuadro 13 a, b, c. Alturas medias de clavos de erosión, Predio Pantanillos.
- Cuadro 14. Resultados medios en ton/ha/período, según tratamiento, para el Predio Pantanillos.
- Cuadro 15. Parámetros de las precipitaciones erosivas consideradas para este estudio.
- Cuadro 16. Resultados de la erosión neta registrada y mediante el uso de proporciones.
- Cuadro 17. Contenido de humedad del suelo superficial para cada período.
- Cuadro 18. Densidad aparente del suelo superficial para cada período.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema de las varillas en el suelo, representando los procesos de erosión y sedimentación.
- Figura 2. Ubicación Predio Justo Pastor León (Pantanillos) y el área de estudio.
- Figura 3. Clavo de erosión en el tratamiento 1, (T1).
- Figura 4. Clavo de erosión en el tratamiento 2, (T2).
- Figura 5. Clavo de erosión en el tratamiento 3, (T3).
- Figura 6. Medición de clavos de erosión.
- Figura 7. Pluviógrafo.
- Figura 8. Registro en las bandas pluviográficas.
- Figura 9. Registro de agua caída en las bandas pluviográficas.
- Figura 10. Cuantificación de suelo para el tratamiento 1, (T1).
- Figura 11. Cuantificación de suelo para el tratamiento 2, (T2).
- Figura 12. Cuantificación de suelo para el tratamiento 3, (T3).
- Figura 13. Apreciación del efecto de la precipitación sobre los tratamientos estudiados en relación a la erosión media.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad cuantificar la erosión hídrica superficial mediante el método experimental de “*parcelas de erosión con clavos*” y mediante aplicación del modelo RUSLE, en tres situaciones de post-cosecha: Tratamiento con aplicación de quemas (T1); Tratamiento con aplicación de fajas de residuos contra la pendiente (T2) y Tratamiento de residuos esparcidos sin orden (T3), en el Centro Experimental Forestal Dr. Justo Pastor León (Predio “Pantanillos”), ubicado en la Comuna de Constitución, VII Región.

El método de parcelas de clavos consideró la instalación de tres parcelas en cada tratamiento, con dimensiones de 13 x 13 m, donde se colocaron 144 clavos de erosión que eran medidos luego de cada lluvia erosiva. Las parcelas fueron localizadas en rangos de pendiente de 1 a 3%.

Al final de cuatro meses de mediciones, con una precipitación total para el período de 912,5 mm, los resultados señalan que la erosión neta para el período fue de 46,8 ton/ha en el tratamiento con aplicación de quemas (T1), 19,4 ton/ha para el tratamiento con aplicación de fajas de residuos contra la pendiente (T2) y -9,1 ton/ha en T3, cuyo tratamiento es de residuos esparcidos sin orden, lo cual implicó más depósito de material que socavación del suelo.

La comparación estadística entre tratamientos, no arrojó diferencias significativas para los resultados medios de los procesos de erosión neta, suelo movilizado, erosión media y sedimentación media.

La aplicación de RUSLE permitió determinar cuáles son los factores de este modelo que se pueden adecuar y cuáles deben ser modificados para otorgarle mayor validez en el campo forestal. Para la estimación del factor de erosividad de la lluvia; se obtuvo un R con valor 113,45 (MJ*mm/ha/h/período). El valor de la erosión presentada por T1 alcanzó las 0,691 ton/ha/período, mientras que T2 obtuvo 0,0093 ton/ha/período y para T3 0,00053 ton/ha/período.

ABSTRACT

The aim of this research is to measure the surface erosion by water, by the experimental method of the erosion pins and by application of RUSLE in three post-mausting situations at Centro Experimental Forestal Dr. Justo Pastor León (Property "Pantanillos"), located at county of Constitución, VII Region.

The erosion pins method took into account the installation of three plots for each treatment, sizing 13x13 cm, where 144 erosion pins were located and measured after each erosive rainfall. The plots were located in a slope range of 1 to 3%.

After 4 months, with a total precipitation of 912.5 mm, the results indicated that the net erosion for the period was: 46.8ton/ha in the treatment with burned applications (T1); 19.4 ton/ha in the treatment with residue row piles placed against the slope (T2); -9.1 ton/ha in T3 residues.

The statistic comparison between treatments did not show significant differences for the average results of net erosion, soil movement, mean erosion and mean sedimentation.

The RUSLE application allowed determining which factors of this model could be adapted and which should be modified for better results in the forest field. To estimate the rainfall erosivity factor, we obtained an R valued in 113.45 (MJ*mm/ha/h/período). The erosion amounts were: T1, 0.691 ton/ha/período; T2, 0.0093 ton/ha/período; T3, 0.00053 ton/ha/período.

1. INTRODUCCIÓN

Además de la relevancia ecológica que presenta el sector forestal, se debe destacar la participación importante que este sector ha tenido durante los últimos años en las exportaciones totales del país, llegando durante el año 2002 a un peak de 12,7%, y hoy a un 6,6%. A pesar de esta caída, las exportaciones chilenas han ido en aumento llegando durante el año 2006 a US\$ 3.890 millones, con un incremento de 11,3% respecto del nivel registrado en el 2005 (INFOR, 2007a). Para el período enero-julio de 2007, el total acumulado llegó a US\$ 2.851 millones, siendo el monto exportado durante julio récord mensual en la historia de las exportaciones forestales chilenas, al alcanzar a US\$ 483,7 millones, superando en US\$ 57,7 millones (13,5%) a la cifra obtenida en julio de 2006 (INFOR, 2007b).

Las cifras expuestas señalan la importancia del sector forestal en la economía chilena y por ello la importancia de realizar estudios conducentes a mantener y recuperar el recurso suelo para seguir mejorando la producción, evitar el éxodo rural y resaltar la relevancia ecológica de este recurso natural no renovable.

En cuanto al manejo de bosques, existe evidencia de que bajo ciertas técnicas de manejo intensivo, ocurre daño al suelo y una degradación ambiental. El problema es que la siempre creciente demanda de productos forestales puede solventarse solo a través del manejo forestal intensivo (Pritchett, 1991).

En Chile el desencadenamiento de los procesos erosivos se vio favorecido por los sistemas de explotación agrícola que destruyeron la vegetación protectora al despejar los terrenos inclinados del bosque que los cubría, por la subdivisión de la propiedad que obligó a trabajar las tierras en forma continuada, por el sistema de laboreo que seguía una dirección perpendicular a las curvas de nivel y por el talaje excesivo y la falta de rotación en los cultivos (Memoria Chilena, 2004). La erosión de suelos y la escorrentía tienen como consecuencia la deposición de partículas de suelo en lugares indeseados, con múltiples consecuencias negativas, resultando en gastos significativos para el Estado y la sociedad (Derpsch, 2004).

La importancia del control de la erosión no se reduce solamente al mantenimiento del potencial productivo y de la fertilidad de los suelos para generaciones futuras, sino que también es un medio eficiente para garantizar la continuidad de la mano de obra en el campo, evitando el éxodo rural. Un control eficiente de la erosión es por lo tanto, muy ventajoso bajo el aspecto ecológico y social, además de ser altamente significativo desde el punto de vista económico (Derpsch, 2004).

Este estudio pretende generar mayor información respecto a las consecuencias del manejo de residuos sobre el proceso de erosión, para lo cual se contrasta el uso de dos métodos de estimación de la erosión hídrica en suelos forestales, un método predictivo y otro experimental o de medición de campo. El primero se refiere a la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE) y el segundo a las parcelas con clavos de erosión. De especial interés es en esta investigación verificar el uso de RUSLE como una manera práctica y conveniente de estimar las pérdidas de suelo por erosión.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Evaluar el uso del modelo RUSLE como un estimador de las pérdidas potenciales de suelo en tres condiciones de manejo forestal post-cosecha.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las pérdidas de suelo reales en las tres situaciones de manejo forestal post-cosecha consideradas.
- Comparar los efectos de tres situaciones de manejo post-cosecha de residuos en términos de pérdidas de suelo.
- Comparar las pérdidas reales de suelo con las estimadas a través del modelo RUSLE.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Concepto de erosión

La palabra erosión proviene del latín *erodere* que significa roer, desprender o desgarrar. La erosión del suelo se refiere a la eliminación, transporte y pérdida neta del mismo (Constantinesco, 1976). Constituye la remoción física del suelo por la acción del impacto de caída de las gotas de lluvia, energía del flujo superficial y subterráneo, hielo, velocidad del viento y fuerza de la gravedad (FAO, 1997).

El fenómeno erosivo no sólo remueve el alimento de las plantas, sino que se lleva, a la vez, el cuerpo entero del suelo (Bennett, 1965). La erosión por agua origina a la vez clases de degradación bien características que son: erosión de manto, erosión de fertilidad, erosión de encharcamiento, erosión de zanjas, erosión de deslizamientos y erosión de depositación (Peralta, 1976).

El proceso físico de erosión incluye el desprendimiento y transporte de partículas insolubles, tales como arena, limo, arcilla y materia orgánica. El transporte puede ser lateral, sobre la superficie o vertical en el perfil del suelo a través de los espacios porosos vacíos y grietas. La remoción de material soluble bajo la forma de sustancias disueltas se denomina erosión química, la que puede ser causada por la escorrentía superficial o por el flujo subsuperficial (FAO, 1997).

3.2. Erosión hídrica

Los procesos de erosión hídrica están estrechamente relacionados con las rutas que sigue el agua en su paso a través de la cobertura vegetal y su movimiento sobre la superficie del suelo (Morgan, 1997). Este tipo de erosión es causada por la acción de las gotas de lluvia al impactar una superficie de terreno no debidamente protegida por vegetación. Esta acción separa partículas de los agregados del suelo, las que posteriormente son arrastradas por el escurrimiento superficial de las aguas. La importancia del efecto de las gotas radica en que son capaces de dispersar partículas a distancias de 150 cm del punto de impacto y levantarlas a alturas de 60 cm (Peña, 1992).

La energía disponible por el flujo precanalizado es insignificante si se compara con la que poseen las gotas de lluvia, que pueden caer con velocidades terminales de hasta 9 m/s. La velocidad del flujo precanalizado fluctúa entre 0,05 a 0,20 m/s, o valores ligeramente inferiores o superiores a este intervalo (Peña, 1992).

3.2.1. Mecánica de la erosión hídrica

Este proceso es complejo y está influido por la cantidad, intensidad y duración de la lluvia, naturaleza del flujo superficial, naturaleza del suelo y su pendiente, y el tipo de cubierta vegetal. No obstante, siempre el material debe primero ser suelto antes de ser transportado, y este movimiento es el resultado del impacto de la gota de lluvia, de la turbulencia producida por ellas y el agua de escurrimiento (Peralta, 1976).

Se necesita un enorme gasto de energía para romper los agregados y terrones del suelo y el proceso puede ser separado claramente en tres etapas:

- Las partículas se sueltan de la masa del suelo
- Las partículas son transportadas
- El material es depositado

Los agentes erosivos que entran en actividad en forma conjunta son las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial. La energía cinética que tiene la gota de agua determina la fuerza del impacto que debe ser absorbida en cada punto del suelo, mientras que el área horizontal de la gota determina la superficie del suelo que será afectada por el impacto, ya que la fuerza de las gotas se aplica uniformemente sobre toda la superficie donde cae, causando una eliminación también pareja de las partículas. Toda la energía cinética de las gotas, salvo una pequeña parte que se transforma en sonido y calor, se ejerce sobre las partículas de la superficie del suelo. Es por esto que el sistema principal para prevenir la erosión es tratar que esta energía se pierda antes que la gota alcance al suelo (Peralta, 1976). El desprendimiento de una partícula de la masa del suelo se produce cuando las fuerzas ejercidas por el flujo son superiores a las fuerzas que mantienen la partícula unida al resto (Morgan, 1997). Es decir cuando se sobrepasa el esfuerzo crítico de corte, o bien la fuerza por unidad de área requerida para vencer la resistencia de las partículas (o agregados) del suelo a ser removidas por el escurrimiento superficial (Mancilla, 2004).

El agua de escurrimiento se mueve en la superficie del suelo como una delgada lámina de agua, o en forma canalizada (Peralta, 1976). La efectividad del flujo superficial como agente erosivo depende de su extensión espacial y de su distribución sobre la ladera (Morgan, 1997).

La máxima erosión se produce cuando el escurrimiento contiene la suficiente cantidad de material abrasivo que le permite extraer la mayor cantidad de partículas del suelo (Peralta, 1976). Pero también la intensidad de desprendimiento disminuye con el aumento de la carga de sedimentos y cuando se alcanza la carga máxima (Morgan, 1997).

3.2.2. Factores que determinan la erosión hídrica

Los factores son parámetros naturales o artificiales que determinan la magnitud de la perturbación, tal como clima, topografía, suelo, vegetación y manejo (acción antrópica), (FAO, 1997).

Clima: Precipitación, evaporación, temperatura, viento y humedad relativa constituyen los elementos climáticos más importantes (Bennett, 1965). De estos elementos, el que tiene más importancia es la precipitación. Su acción se deja sentir por: la cantidad de agua caída, la época del año en que esta cae, su intensidad y la duración (FAO, 1997). Por lo tanto la erosividad de una tormenta es función de su intensidad y duración, y de la masa, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia (Morgan, 1997).

Suelo: El suelo se representa por su grado de erodabilidad, es decir la susceptibilidad del suelo a ser erosionado (FAO, 1997). La resistencia de un suelo depende, en parte, de su posición topográfica, pendiente y grado de alteración. La erodabilidad varía con la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la resistencia al esfuerzo cortante, la capacidad de infiltración y los contenidos minerales y orgánicos (Morgan, 1997).

Topografía: Las características topográficas que ejercen una marcada influencia sobre la erosión son; el grado de inclinación, longitud y forma de la pendiente, y tamaño y forma de la cuenca (FAO, 1997). La erosión aumenta con frecuencia cuando la longitud de la pendiente es mayor (Bennett, 1965). En determinadas condiciones la variación del largo de la pendiente puede causar mayor efecto sobre las pérdidas de suelo que los cambios en su grado de inclinación (Mancilla, 1995). En cuanto a la forma de la pendiente, esta también juega un rol importante, ya que terrenos con gradientes cóncavas o convexas no tienen similar comportamiento, aunque la pendiente promedio sea la misma (Mancilla, 1995).

Vegetación: El manto vegetal influye sobre la proporción del escurrimiento del agua de lluvia y del arrastre del suelo más que cualquier otro factor físico por separado (Bennett, 1965). La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia y del agua en movimiento. Cuando el suelo se encuentra cubierto con plantas o residuos, la masa vegetal absorbe la energía de las gotas que caen. El agua caída se escurre lentamente hasta la superficie del suelo donde infiltra con rapidez, pues la cobertura impide el taponamiento de los poros (Derpsch, 2004).

Acción antrópica: Las actividades antropogénicas se manifiestan a través del mal uso de los recursos naturales. Entre las actividades humanas relacionadas con la erosión se incluyen la agricultura, pastoreo, minería, silvicultura, recreación, urbanismo y vialidad, entre otras (FAO, 1997).

3.3. Impacto y consecuencias de la erosión y sedimentación

Tanto la erosión como la sedimentación ocasionan efectos ambientales y económicos en el sitio donde ocurre la pérdida de suelo y aguas abajo de la cuenca. La erosión reduce la productividad del suelo al disminuir la profundidad del perfil arable y consumir las reservas de nutrientes. La sedimentación afecta además la capacidad de almacenamiento de los embalses y colmata los canales de riego (FAO, 1997).

La erosión y la sedimentación reducen la potencialidad productiva del suelo y por ende también su valor económico (Fuentealba y Sepúlveda, 1991). Los efectos perjudiciales de la erosión del suelo pueden ser compensados mediante el alza de precios debido al aumento de costos de producción de las tierras afectadas, no obstante, esta solución puede ser sólo transitoria (Bennett, 1965).

3.4. La relación entre suelo y bosque

El suelo tiene gran influencia en la composición de los rodales forestales, ya que puede terminar siendo la discriminante en el límite de rango climático de una especie (Donoso, 1992). La presencia de bosques constituye la mejor protección natural contra la erosión. Las áreas forestales poseen una alta capacidad de retención del agua por interceptación y retención superficial en la hojarasca y alta capacidad de infiltración, que en conjunto hacen disminuir la escorrentía superficial (FAO, 1997). Por lo tanto, bajas tasas de escorrentía y el papel protector de la capa de residuos sobre la superficie del suelo, implican reducidos índices de erosión (Morgan, 1997). Además, el bosque otorga reforzamiento mecánico del perfil del suelo debido al sistema radicular de los árboles (FAO, 1997).

3.5. Manejo de residuos vegetales post-cosecha

La tasa de erosión post-cosecha tiene relación directa con la cobertura de residuos que queda en el piso del bosque, luego de realizar las faenas de tala y extracción del recurso maderero (Silva, 2002). El manejo de los residuos vegetales es una herramienta muy poderosa para el control de la erosión del suelo. El manejo depende de los objetivos; los residuos se pueden dejar en la superficie del suelo, pueden incorporarse al perfil, pueden quemarse o retirarse de los campos (FAO, 1997).

3.5.1. Efectos de los desechos post-cosecha

La presencia de residuos en la superficie protege al suelo de las lluvias más intensas del invierno, mientras puede establecerse un cultivo o plantación. Además, los residuos in-situ protegen los agregados superficiales, contribuyendo a mantener una estructura más abierta o porosa, favoreciendo el proceso de infiltración (Peña, 1992). La utilidad que se les da a estos residuos de la cosecha es depositarlos sobre el suelo, de modo que, a medida que se vayan descomponiendo, los nutrientes pasen a ser parcialmente incorporados al suelo y éste quede además con una capa protectora contra la erosión superficial (Silva, 2002).

La presencia de residuos en la superficie, disminuye efectivamente la salpicadura de partículas finas, evitando que sellen los macroporos y se formen costras superficiales, resultando con esto, en un aporte menor de agua al escurrimiento. Además, ejercen un efectivo control de la velocidad del flujo precanalizado, disminuyendo su capacidad de transportar sedimentos, ya que su oposición al agua tiende a distribuir la escorrentía de forma más uniforme sobre el terreno (Peña, 1992).

3.5.2. Efectos de las quemas sobre el suelo

Como alternativa de manejo de residuos, una práctica habitual en Chile es su eliminación mediante aplicación de quemas (Francke, 1991). El fuego, como herramienta de manejo, se utiliza principalmente para habilitar terrenos con fines agrícolas; ya sea en suelos vírgenes o segundas siembras de temporada; también para la regeneración natural de bosques o praderas; para el control de plagas y enfermedades; para minimizar el riesgo de incendios forestales, reduciendo el combustible, o para el control de incendios forestales como contrafuego. La llamada “quema controlada” es una de las prácticas más frecuentes en el mundo rural (Ahumada y Apablaza, 2005).

Existe entre los agricultores la creencia de que las cenizas, producto de la quema de rastrojos, son un fertilizante, cuya cantidad y calidad justifica su incineración (Crovetto 2003). Sin embargo, la realidad es que el aporte es escaso y, por el contrario, los suelos van perdiendo en forma sistemática su escasa materia orgánica y por ende su fertilidad en el largo plazo, provocando una mayor dependencia del uso de fertilizantes químicos.

En el ámbito forestal las quemas se emplean con la finalidad de preparar el sitio para ser replantado y, secundariamente, y en especial en el caso de Pino radiata, para facilitar la incorporación de la materia orgánica al suelo. Sin embargo, existen evidencias de que los suelos sujetos a quemas son muy susceptibles a los agentes erosivos (Francke, 1991). Por su parte, Julio (1998) destaca la pérdida de fertilidad de los suelos y a los procesos erosivos como daño de tipo indirecto provocado por efecto del fuego, y las señala como pérdidas de carácter intangibles, difíciles de identificar y evaluar incluso en el mediano plazo.

3.6. Erosión hídrica en Chile

Debido a la conformación geográfica, y al régimen pluviométrico que tiene Chile, la erosión hídrica es una de las formas más importantes de degradación del suelo. El hecho que un gran porcentaje de las lluvias ocurra en invierno, cuando el suelo está descubierto, unido a malas prácticas de manejo y de riego, hace que el agua junto al hombre se combinen negativamente para provocar importantes daños erosivos. Estos factores interactúan para dejar suelos saturados durante el período de precipitaciones, lo que provoca una gran cantidad de escurrimiento superficial y contribuye principalmente a la formación de zanjas y otras evidencias de erosión.

La magnitud del proceso erosivo en Chile fue estimada en un estudio realizado el año 1979 por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN). Este señaló que la superficie total erosionada abarcaba 34.7490.753 ha en el territorio continental del país, lo que representa el 45,7% de la superficie nacional. Este estudio excluyó algunas áreas como los ecosistemas montañosos, desiertos y archipiélagos y los suelos regados del país. Fuentealba y Sepúlveda (1991), señalan que de 34,7 millones de hectáreas estudiadas por IREN-CORFO, 75% de ellas presentan altos niveles de erosión, lo que permite concluir que en el mejor de los casos, un tercio de la superficie estudiada presenta problemas de erosión calificada de grave y muy grave, sin considerar los niveles de erosión moderada y leve. Para Soto (1999), citado por Santibáñez y Royo (2002), en la actualidad la erosión presenta características de extrema gravedad y afecta a una superficie de 47.300.000 ha, lo que equivale al 60% del territorio nacional, concentrándose mayormente en las zonas áridas y semiáridas entre las regiones I y VIII y en las zonas subhúmedas y secas de las regiones XI y XII. Para la región del Maule, cuya área estudiada fue de 1.538,0 ha, el porcentaje de superficie erosionada, según las distintas categorías corresponde a: 26,7% erosión grave; 22,0% erosión moderada y 1,2% erosión leve (Santibáñez *et al.*, 2006).

Los resultados sobre superficies erosionadas que se han señalado, indican que en Chile se hace urgente la necesidad de enfocarse a la conservación de suelos. En este contexto, el concepto de conservación de suelos forestales debe entenderse como el mantenimiento, en el largo plazo, de la productividad del suelo sometido a una condición de uso a través de las actividades de manejo forestal. Esto es obtener en una determinada superficie de terreno la máxima producción sostenible y, al mismo tiempo, mantener las pérdidas de suelo por debajo del umbral con que la velocidad natural de formación del suelo, compensa las pérdidas por erosión (Morgan, 1997; Gayoso y Alarcón, 2000).

Morgan (1997), define la pérdida tolerable de suelo como la tasa máxima de erosión permisible para que la fertilidad del suelo pueda mantenerse durante 20 ó 25 años. En este caso, una pérdida media anual de suelo de 11 ton/ha se considera generalmente aceptable aunque, en condiciones particularmente sensibles, como ocurre en los casos de suelos superficiales o altamente erosionables, se recomiendan valores tan bajos como 2 ton/ha.

3.7. Estimación y medición de la erosión hídrica

El conocimiento de la tasa de erosión en un sitio es fundamental para decidir el manejo y las medidas de conservación de suelos más adecuados; por ello, es importante obtener datos confiables acerca del proceso y la velocidad a la que se está perdiendo el suelo (Pando *et al.*, 2003).

3.7.1. Mediciones localizadas: Parcelas de varillas o clavos de erosión

Este es un sistema sencillo y de bajo costo que permite establecer una muestra de un gran número de puntos y obtener una estimación válida (Hudson, 1997). Consiste en introducir en el suelo una varilla medidora de manera que en su parte superior se puedan “leer” los cambios en el nivel de la superficie del suelo (Figura 1). Las varillas pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore, que sea fácil de obtener y de bajo costo. La varilla debe tener una extensión que se pueda introducir en el suelo para obtener un dato concreto: 300 mm es una longitud corriente, puede ser menor si se trata de un suelo poco profundo o mayor si se trata de un suelo suelto. Es preferible que tenga un diámetro de unos 5 mm o menos, ya que un espesor mayor puede interferir con la corriente de superficie y provocar su desgaste (Hudson, 1997).

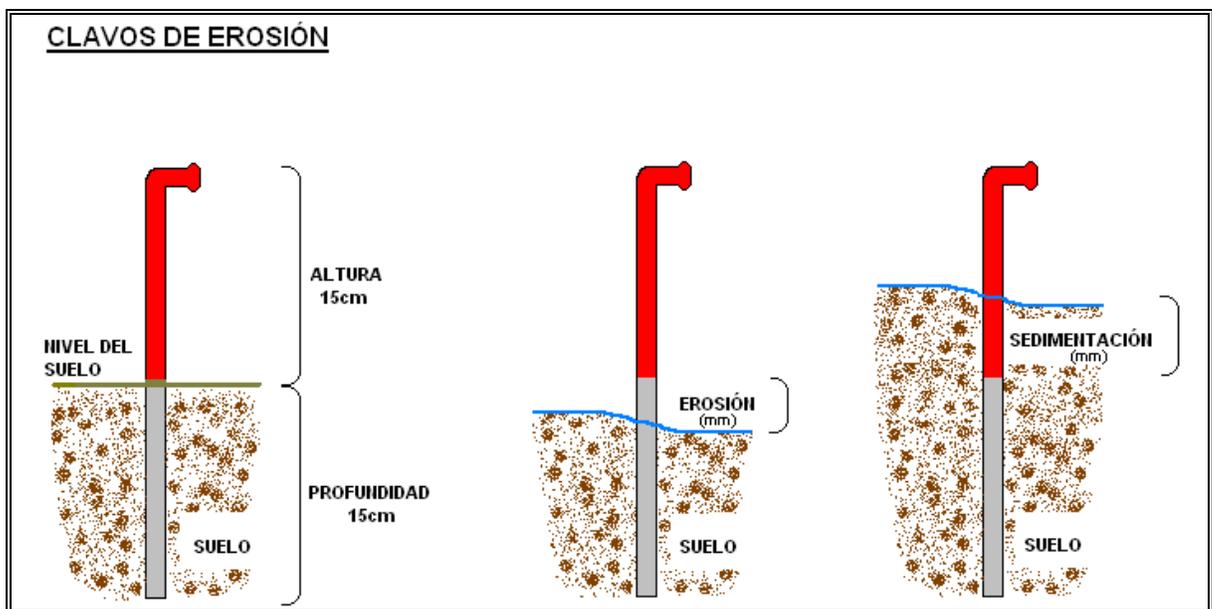


Figura 1. Esquema de las varillas en el suelo, representando los procesos de erosión y sedimentación.

3.7.2. Modelos empíricos

El ejemplo clásico de los modelos paramétricos empíricos lo constituye la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), desarrollada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (Farfán, 2002).

El modelo USLE fue desarrollado inicialmente como una herramienta para asistir a los conservacionistas en la planificación del uso agrícola de las tierras. Sin embargo las investigaciones realizadas y experiencias colectadas desde los años 70 han provisto de amplia información adicional y mejor tecnología, aportando a la actualización de la base de datos, el análisis de la información adicional y de los principios fundamentales que describen los procesos hidrológicos y de la erosión (FAO, 1997). La necesaria actualización que requería la incorporación de nuevos procesos, datos y de mejorar algunos puntos de discusión, llevó a la elaboración de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE), diseñada para predecir la erosión del suelo en pendientes, como guía para la planificación de la conservación a nivel de predios. Además, puede usarse para estimar la liberación de sedimentos de cuencas (FAO, 1994). RUSLE no determina si la pérdida de suelo es excesiva en un sitio, o si los sistemas de control de erosión han fallado. El usuario de RUSLE toma tales decisiones basado en numerosos criterios de pérdida de suelo y estimaciones de liberación de sedimento (Dissmeyer y Foster, 1980).

RUSLE es un método que utiliza seis factores para calcular la pérdida de suelo promedio para un período de tiempo definido: la erosividad de la lluvia y escorrentía, la susceptibilidad de erosión del suelo, la longitud de la pendiente, la magnitud de la pendiente, la cubierta y manejo de cultivos y residuos, y las prácticas de conservación (Renard *et al*, 1997). Su representación es la siguiente:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A= Es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para el factor de erodabilidad y el período abarcado para el factor de erosividad y escurrimiento. A es generalmente expresado en ton/ha/año (Renard *et al*, 1997).

R= Factor de erosividad media anual de la lluvia y del escurrimiento (MJ*mm/ha/h/año). La tasa de erosión agrega un factor significativo debido al escurrimiento por concentración de agua-lluvia o por derretimiento de nieve (Renard *et al*, 1997). El índice de erosión pluvial para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I₃₀), (FAO, 1994).

K= Factor de erodabilidad del suelo (ton*h/MJ/cm) (Renard *et al*, 1997). Tasa promedio de pérdida de suelo por unidad EI₃₀ para un suelo específico, medido en una

porción de terreno estándar (22,1 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua) (FAO, 1994).

L= Factor de longitud de pendiente. La proporción de pérdida de suelo para un campo con una longitud de pendiente específica, con respecto al largo de pendiente de la parcela estándar (22,1 m) (Renard *et al*, 1997).

S= Factor de magnitud de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelo de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella con pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos (FAO, 1994).

C= Factor de cubierta y manejo. Proporción de pérdida de suelo para una superficie con cobertura y manejo específico, con respecto a una superficie idéntica en barbecho continuo (FAO, 1994). Está disgregado de acuerdo a la periodicidad de la lluvia y razón de pérdida de suelo para ese período (SLR).

P= Factor de práctica de conservación. Proporción de pérdida de suelo en un campo con prácticas de conservación tales como cultivo en contorno, en fajas, o en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente (Renard *et al*, 1997).

En comparación con USLE, los avances presentados por RUSLE incluyen (FAO, 1994):

- La inclusión en el factor R de la erosividad de la escorrentía, considerada como la generada por el derretimiento de nieve y en general el flujo concentrado (Renard *et al*, 1997).
- El desarrollo de un término de erodabilidad del suelo estacionalmente variable (K) y métodos alternativos de estimación de K cuando el nomograma utilizado en USLE no es aplicable.
- Un nuevo método para calcular el factor cubierta-manejo (C), utilizando subfactores que incluyen uso previo de la tierra, cubierta de cultivos, cubierta vegetal del suelo (incluyendo fragmentos de roca en la superficie), y rugosidad del terreno.
- Nuevas formas de estimar los factores de largo y magnitud de la pendiente (LS) que consideran porcentajes de erosión en surcos e íter-surcos.
- La capacidad de ajustar el LS para pendientes de forma variable, reflejando la relación entre erosión por surcos a erosión laminar y formas variables de laderas (FAO, 1997); y
- Nuevos valores de prácticas de conservación (P) para praderas, rotación de cultivos en fajas alternadas, líneas en contorno y drenaje subsuperficial (FAO, 1997).

La planificación con consideración de la conservación de los suelos tiene utilidad a escalas desde prediales hasta regionales o nacionales. La principal ventaja de un modelo de simulación tal como RUSLE, es poder realizar la estimación de la tasa de erosión que ocurriría con un determinado uso y manejo del suelo, o variantes tecnológicas de un mismo uso (diferentes manejos), en el proceso de elaboración de los proyectos de explotación predial. A escalas menores que la predial, además de la planificación, RUSLE puede servir para evaluar el uso actual de los suelos y poner de manifiesto las combinaciones uso-suelo-topografía-lugar geográfico con niveles de erosión excesivos, para actuar sobre ellas (Clérici y García, 2001).

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. Material

4.1.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el Campo Experimental Dr. Justo Pastor León (Predio Pantanillos), perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile, localizado entre las coordenadas geográficas 35°43' y 35°47' de Latitud Sur; y 72°29' y 72°31' de Longitud Oeste. La ubicación político administrativa corresponde a la Comuna de Constitución, Provincia de Talca, VII Región del Maule.

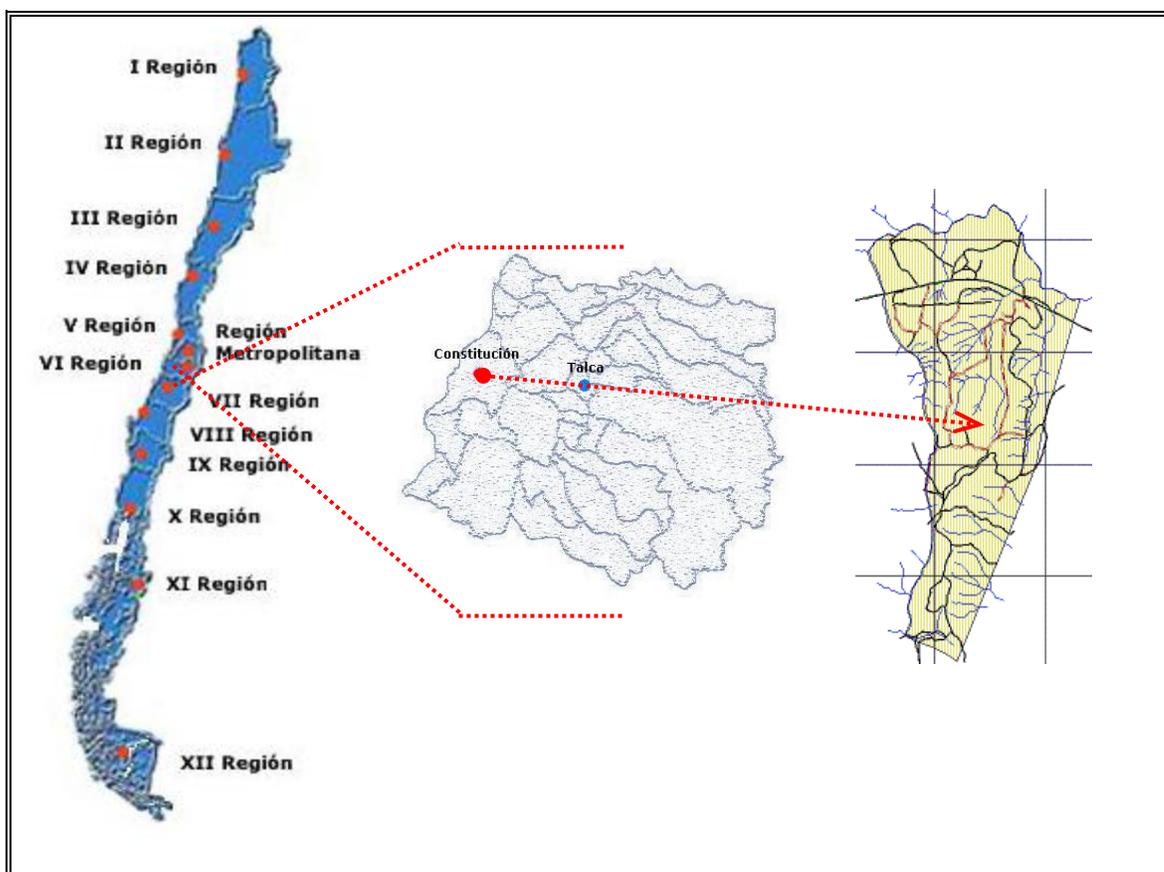


Figura 2. Ubicación Predio Justo Pastor León (Pantanillos) y el área de estudio.

La superficie del predio Pantanillos es de 380 ha, distribuyéndose su uso actual en plantaciones (233,6 ha), renovales de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser (74,4 ha), vegetación nativa de protección (62,7 ha), ensayos de introducción de especies (3,5 ha) y área de construcciones (5,5 ha).

4.1.2. Características del suelo

El predio está inserto en la serie de suelo Constitución que es un complejo metamórfico granítico y según su capacidad de uso está catalogada como de Aptitud Preferentemente Forestal (Clase VII). En Pantanillos antiguamente existía bosque nativo, el cual fue cosechado y quemado para habilitar tierras agrícolas y obtener carbón. Estos suelos poseen una textura franco limosa, un pH levemente ácido y un color pardo claro. Existen sectores en que es posible apreciar erosión severa de manto, con zanjas frecuentes en sectores bajos y derrumbes en sectores con poca vegetación.

4.1.3. Clima

Debido a la menor elevación que alcanzan en esta Región ambas cordilleras, estas no son suficientes para definir climas claramente diferentes en las zonas que ocupan. Así en la VII Región se ha identificado un solo tipo climático, que corresponde al templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses (DGAC, 2006).

El régimen hídrico observa una precipitación media anual de 708 mm. Las temperaturas varían, en promedio, entre una máxima de enero de 24,0 °C y una mínima de julio de 6,3 °C (Santibáñez, 1993). La oscilación térmica diaria es desigual, la diferencia media entre las máximas y las mínimas es inferior a 11 °C en Constitución (DGAC, 2006).

En esta región, las precipitaciones son casi exclusivamente de origen frontal y más abundantes en invierno. El total de las precipitaciones entre mayo y agosto alcanza al 70% a 75% del total anual, lo que indica que en estas latitudes las precipitaciones que no son invernales revisten cierta importancia. Entre octubre y marzo ocurre la estación seca, que se prolonga de 4 a 6 meses, y en las cuales llueve menos de 40 mm mensuales (DGAC, 2006).

4.1.4. Topografía

Está conformada por dos cordones de la Cordillera de la Costa, ambos de orientación Norte-Sur. Su topografía es variada y posee terrenos planos en sectores altos de los cordones, así como en los sectores bajos que rodean a la entrada principal del predio y al Norte de la carretera San Javier-Constitución que lo atraviesa. Las pendientes fluctúan entre 0% y más de 40% y en algunos sectores próximos a los límites Oeste y Este, superan al 100%. Dominan las exposiciones este, oeste y norte (Márquez, 1992).

4.1.5. Vegetación

La vegetación existente está marcada por la presencia de renovales de *Nothofagus glauca* (hualo) y plantaciones de Pino radiata. Sin embargo, existen también sectores plantados con Eucalipto. La vegetación nativa de protección está situada en los sectores de riberas de ríos, cursos de agua, fondos de quebradas y/o sectores de fuertes pendientes. La vegetación nativa de la zona corresponde al Bosque Caducifolio Maulino con una asociación hualo-maquicillo (Gajardo, 1994).

4.2. Método

El método consistió en instalar parcelas de clavos de erosión en un sector fijado de Pantanillos, con tres situaciones de manejo post-cosecha forestal, para determinar la erosión hídrica y proceder a compararlas con los valores obtenidos utilizando el modelo RUSLE.

4.2.1. Características de las parcelas experimentales

Las unidades experimentales consistieron en parcelas de varillas o clavos de erosión. Estas parcelas corresponden a un método de medición directa de los cambios en el nivel del suelo a través del tiempo. Es un método sencillo y de bajo costo, lo que permite establecer una muestra de un gran número de puntos y obtener una estimación válida (FAO, 1997).

Para delimitar las áreas donde se instalaron las parcelas, se utilizaron fotografías aéreas, huincha de distancia, hipsómetro y brújula. Posteriormente, se verificaron en terreno las áreas preseleccionadas. Cada parcela tenía 169 m² (13m x 13m). Las parcelas fueron georreferenciadas mediante un GPS en sus bordes, para luego ser representadas cartográficamente a través de Arcview GIS 3.2. Dentro de cada parcela, los clavos o varillas fueron ubicados a 1 m de distancia entre ellos, tanto en sentido lateral como longitudinal, con lo cual cada parcela quedó compuesta por un total de 169 clavos de medición. Sin embargo, del total de clavos de cada parcela se descartaron aquellos de los bordes, por lo que sólo se consideraron para el análisis posterior los 121 clavos ubicados al centro de cada parcela. Este procedimiento se realizó con la finalidad de evitar o disminuir el efecto borde al que podrían verse expuestos los clavos exteriores de cada parcela.

Como varillas fueron empleados rayos cromados de bicicleta, de 30 cm de longitud, de los cuales 15 cm quedaban enterrados en el suelo, similares a los utilizados por Concha (2004). Este material es el más adecuado para este tipo de trabajo, por ser de bajo costo, rígidos y delgados.



Figura 3. Clavo de erosión en el tratamiento 1, (T1).



Figura 4. Clavo de erosión en el tratamiento 2, (T2).



Figura 5. Clavo de erosión en el tratamiento 3, (T3).

4.2.2. Número y distribución de las parcelas experimentales

El presente trabajo consideró el estudio de tres tratamientos, que representan tres alternativas de manejo post-cosecha, T1, T2 y T3, donde:

T1= aplicación de quemas a los desechos.

T2= desechos apilados en fajas a favor de la curva de nivel, sin quema.

T3= desechos esparcidos en el suelo, sin ordenamiento ni quema.

A fin de monitorear las correspondientes tasas de erosión hídrica, se instalaron 3 parcelas (o repeticiones) por tratamiento, es decir, 9 parcelas en total. Las parcelas tuvieron una ubicación fija durante todo el tiempo de medición.

4.2.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloque completamente aleatorizado con modelo de efecto fijo. El factor de estudio correspondió a la estimación de pérdidas de suelo post-cosecha, en los siguientes tres niveles: T1= aplicación de quemas a los desechos; T2= desechos apilados en fajas a favor de la curva de nivel, sin quema; T3= desechos esparcidos en el suelo, sin ordenamiento ni quema. En cada uno de estos niveles, la distribución de las unidades experimentales fue aleatoria. Por su parte las variables de respuesta evaluadas fueron la Erosión (E), Sedimentación (S), Suelo Movilizado (SM) y Erosión Neta (EN). Mediante el análisis de varianza (ANDEVA) se determinó si existían diferencias significativas entre las

medias de los tres niveles para cada una de las variables respuestas. De existir diferencias significativas, la prueba de intervalos múltiples de Duncan fue empleada para determinar los niveles que generaban diferencias. Todos los análisis fueron realizados a un nivel de significancia estadística del 5% ($\alpha=0,05$).

4.2.4. Estimación de la erosión utilizando el método de clavos

La toma de datos en las parcelas fue por un período de 4 meses, considerando los meses de mayor precipitación en la zona (comienzo de junio hasta finales de septiembre del 2006). Los intervalos de medición estuvieron relacionados con la cantidad de precipitación considerada como erosiva; 12,7 mm en un lapso de 6 horas. En cada intervalo se obtuvo, mediante pie de metro, la medida de suelo perdido y/o suelo sedimentado, en milímetros.



Figura 6. Medición de clavos de erosión.

Para cuantificar el suelo erosionado o sedimentado en ton/ha, se utilizó la siguiente expresión matemática, empleada por Cuitiño (1999), y Concha (2004):

$$X \text{ (ton/ ha)} = Y * Da * 10$$

Donde:

X: suelo erosionado o sedimentado (ton/ha)

Y: altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm)

Da: densidad aparente del suelo (ton/m^3)

Posteriormente se cuantificó la altura media de la lámina (mm) de suelo que efectivamente se pierde, según Cuitiño (1999):

$$EN = E - S$$

Donde:

EN: erosión neta media (mm o ton/ha)

E: erosión normal media (mm o ton/ha)

S: sedimentación media (mm o ton/ha)

Como método anexo al cálculo de estimación de erosión empleando la fórmula de Cuitiño (1999), se determinó la realización de una nueva forma de calcular la erosión neta (EN), basado en proporciones con respecto a las parcelas experimentales, ya que este método podría ser más representativo en términos de área. Esto es basado en proporciones de la superficie real erosionada o bien sedimentada, según sea el caso, se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$EN = ((EM * nE) - (SM * nS)) / 121$$

Donde:

EN: Erosión neta

EM: erosión media (ton/ha)

SM: sedimentación media (ton/ha)

nE: número de clavos erosionados en cada parcela

nS: número de clavos sedimentados en cada parcela

121: total de clavos de cada parcela

4.2.5. Muestras de suelo

Se tomaron tres muestras de suelo por tratamiento para determinar la textura (arcilla, limo, arena), el porcentaje de arenas finas, y el porcentaje de materia orgánica. Además, a fin de explicar las posibles diferencias entre los tratamientos, se determinó la densidad aparente y el contenido de humedad del suelo superficial mediante una muestra por parcela, en cada intervalo de medición.

4.2.6. Estimación de la erosión utilizando RUSLE

4.2.6.1 Determinación del factor R

La información pluviográfica obtenida en el lugar de estudio fue usada para calcular el parámetro R de la RUSLE, utilizando la siguiente expresión matemática recomendada por Renard *et al*, (1997).

$$R = \left[\sum_{k=1}^m (E * I_{30})_k \right]$$

Donde:

E: energía cinética total de la tormenta (MJ*mm/ha/mm)

I₃₀: intensidad máxima del aguacero en 30 minutos (mm/h)

k: índice del número de tormentas en el período de mediciones considerado

m: número total de tormentas en el período de mediciones considerado

R: erosividad de las lluvias del período de mediciones considerado (MJ*mm/ha/h)

$$(E)(I_{30}) = \left(\sum_{k=1}^m e_r \Delta V_r \right) I_{30}$$

Donde:

e_r: energía por milímetro de agua caída, para cada período resultante de dividir la totalidad de la lluvia caída en intervalos de cierta intensidad, por el período de tiempo correspondiente al intervalo (MJ/ha/mm).

ΔV_r: lluvia caída para el respectivo intervalo (mm).

$$e_r = 0,119 + 0,0873 \log_{10}(i_m) \quad i_m \leq 76 \text{ mm/h}$$

Donde:

i_m: intensidad de la lluvia (mm/h)

$$R = \sum EI_{30} (10^{-1})$$

4.2.6.2 Determinación del factor K

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} (12-MO) M^{1.14} + 3,25 (s-2) + 2,5 (p-3)] / 100$$

Donde:

MO: porcentaje de materia orgánica

M: (% de limo + arena muy fina) * (100 - % de arcilla)

s: corresponde al código de estructura del suelo

p: corresponde al código de permeabilidad del suelo

Nota: los valores para determinar el factor K, se presentan en el cuadro 7 (Apéndice I).

4.2.6.3 Determinación del factor LS

$$LS = (y/22,1)^{0,6} * (s/9)^{1,4}$$

Donde:

y: longitud de la pendiente, en metros

s: porcentaje de la pendiente

Nota: los valores para determinar el factor LS, se presentan en el cuadro 8 (Apéndice I).

4.2.6.4 Determinación del factor C

$$C = (SLR_1 * EI_1 + SLR_2 * EI_2 + \dots SLR_n * EI_n) / EI_t$$

$$SLR = PLU * CC * SC * SR * SM$$

Donde:

PLU: subfactor de uso previo del terreno, cuyo rango está entre 0 y 1.

CC: subfactor de cubierta del dosel, cuyo rango está entre 0 y 1.

SC: subfactor de cubierta superficial

SR: subfactor de rugosidad

SM: subfactor de humedad del suelo

$$PLU = C_f * C_b * \exp[(-c_{ur} * B_{ur}) + (c_{us} * B_{us} / C_f ^ (c_{uf}))]$$

Donde:

C_f: factor de superficie-tierra-consolidación

C_b: representa la efectividad relativa de residuo subsuperficial en la consolidación

B_{ur} : densidad de masa de las raíces vivas y muertas, encontradas en la pulgada superior del suelo

B_{us} : densidad de masa de residuo de la superficie incorporado en la pulgada superior del suelo

c_{uf} : representa el impacto de consolidación del suelo en la efectividad de residuo incorporado

c_{ur} y c_{us} son coeficientes de calibración que indican los impactos del residuo subsuperficial

$$CC = 1 - F_c * \exp(-0,1 * H)$$

Donde:

F_c : fragmento de superficie del suelo cubierto por el dosel

H : distancia que recorren las gotas de lluvia después de golpear el dosel

$$SC = \exp[-b * S_p * (0,24/R_u)^{0.08}]$$

Donde:

b : coeficiente empírico, indica la efectividad de la cobertura superficial para reducir la erosión del suelo. La relación entre varios valores de b y R_u está representada en gráficos.

S_p : porcentaje de área de la cobertura superficial del suelo.

R_u : rugosidad de la superficie como define la ecuación que se presenta posteriormente

$$R_u = 0,24 + [D_r (R_i - 0,24)]$$

Donde:

R_i : se define como la rugosidad inicial

D_r : coeficiente de menor dimensión de la rugosidad de deterioro

$$D_r = \exp[1/2(-0,14 * P_t) + 1/2(-0,012 * EI_t)]$$

Donde:

P_t : pulgadas totales de lluvia desde la más reciente operación que perturbase la superficie completa

EI_t : corresponde al EI total desde la más reciente operación que perturbase la superficie completa.

El rango para D_r va de un valor 1,0 para la superficie que no ha experimentado la lluvia, hasta un valor que se acerca a 0,0 para la superficie que ha experimentado una lluvia extensa y ha perdido la mayoría de su rugosidad.

$$SR = \exp [-0,66 (R_u - 0,24)]$$

Para SM, subfactor de humedad del suelo, no existe ecuación que lo determine. Sólo se sabe que depende de la capacidad de campo, es decir, cuando el perfil del suelo está cerca de la capacidad de campo, SM es 1 y cuando el perfil está a punto de secarse, el valor de SM es 0. Este subfactor está representado en un gráfico.

4.2.6.5 Determinación del factor P

La determinación del factor P (Cuadro 9) está dada por la pendiente, y su tabulación respectiva se presenta a continuación.

Cuadro 9. Obtención del factor P.

Valor de P y largo límite de la pendiente para contorno (o curva de nivel)		
Porcentaje de pendiente	Valor P	Longitud máxima (1) Pies
1 a 2	0,6	400
3 a 5	0,5	300
6 a 8	0,5	200
9 a 12	0,6	120
13 a 16	0,7	80
17 a 20	0,8	60
21 a 25	0,9	50

El límite puede ser incrementado en 25% si la cubierta de residuos después de establecer el cultivo excede normalmente el 50%.

Fuente: adaptación de Dissmeyer, G y Foster, G. USDA (1980).

Si el contorno ha sido hecho con residuos, se debe multiplicar el factor por 0,8.

4.2.7. Obtención de la información

La información pluviográfica necesaria para calcular R, fue obtenida de un pluviógrafo instalado para estos efectos en el Predio Justo Pastor León. El instrumento corresponde a un pluviógrafo Hill. Lambrecht GmbH, modelo 3400 Göttingen (Figura 6), con capacidad de 10 mm de precipitación antes del vaciado y marcador de tinta. Las bandas o cintas pluviográficas estaban diseñadas para un intervalo de una semana, subdivididas en tramos de 2 horas (Figura 7). De esta manera se contó con las bandas pluviográficas y los datos pluviométricos con los registros de las precipitaciones horarias y diarias para Pantanillos.



Figura 7. Pluviógrafo.

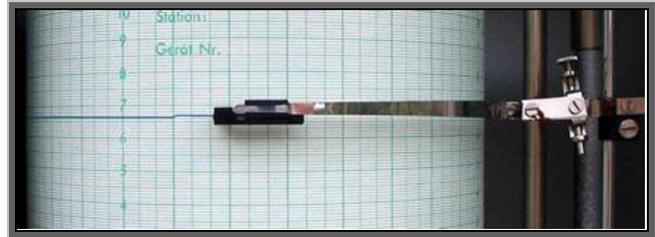


Figura 8. Registro en las bandas pluviográficas.

4.2.8. Selección y cálculo de las intensidades

Mediante el análisis de las bandas pluviográficas, se determinó los montos temporales de precipitación, desplazándose en intervalos de tiempo relativos a la distancia entre dos peak consecutivos. Luego se tomó cada uno de estos valores y se dividieron por su duración respectiva, obteniéndose las intensidades en mm/hora.

Para el cálculo del factor R de este estudio, se consideraron los siguientes criterios:

- Una vez detenidas las precipitaciones y transcurrido un lapso de 6 horas sin precipitar, la siguiente precipitación se considera como otro evento (Figura 8).
- Para calcular el factor R, se utilizaron los montos de precipitación iguales o superiores a 12,7 mm.
- Luego se determinó la intensidad en 30 minutos.

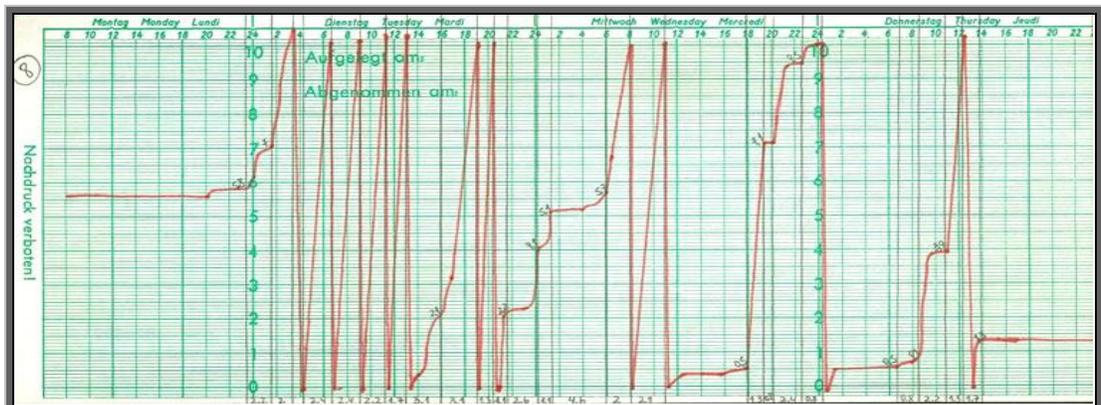


Figura 9. Registro de agua caída en las bandas pluviográficas.

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Resultados para el método de los clavos de erosión

Luego de realizar mediciones en terreno durante 4 meses, en tres tratamientos post-cosecha, en una ladera con pendiente entre 1% y 3%, con una precipitación total medida de 912,5 mm para el período (Cuadro 1), se obtuvieron los resultados que se presentan en las figuras 9 a 11 (Los valores por período se encuentran en el apéndice IIa).

Cuadro 1: Valores mensuales de precipitación obtenida en Pantanillos durante el desarrollo de esta investigación. (Más detalles en apéndice III).

JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	TOTAL
70,9mm	549,6mm	239,8mm	52,2mm	912,5mm

Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento 1 (T1), correspondiente a quema de desechos, presentó una textura franco arcillosa. La altura de erosión media neta del suelo (EN) fue de 4,14 mm, en tanto que el suelo medio movilizado (SM) alcanzó los 31,02 mm. La lámina de suelo perdido tuvo una altura media de 17,58 mm, pero al mismo tiempo ingresó una lámina de altura media de 13,44 mm. Estas cifras indican que el proceso dominante fue la erosión (Figura 10).

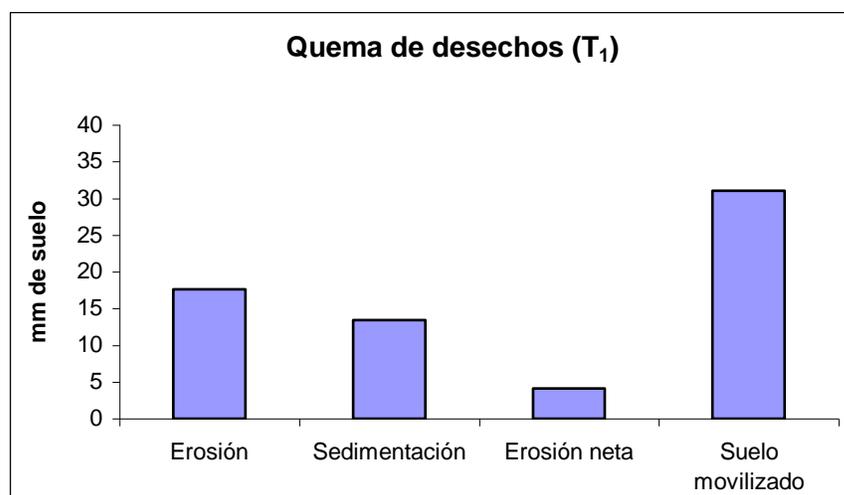


Figura 10. Cuantificación de suelo para el tratamiento 1, (T1).

El tratamiento 2 (T2), correspondiente a desechos apilados en fajas a favor de la curva de nivel, sin quema, presentó una textura franco arcillosa. La altura de erosión media neta del suelo (EN), fue de 1,81 mm, en tanto que el suelo medio movilizado (SM) alcanzó los 30,49 mm. La lámina de suelo que se perdió tuvo una altura media de 16,15 mm, pero al mismo tiempo ingresó una lámina de altura media de 14,34 mm. Estas cifras indican que el proceso dominante fue la erosión (Figura 11).

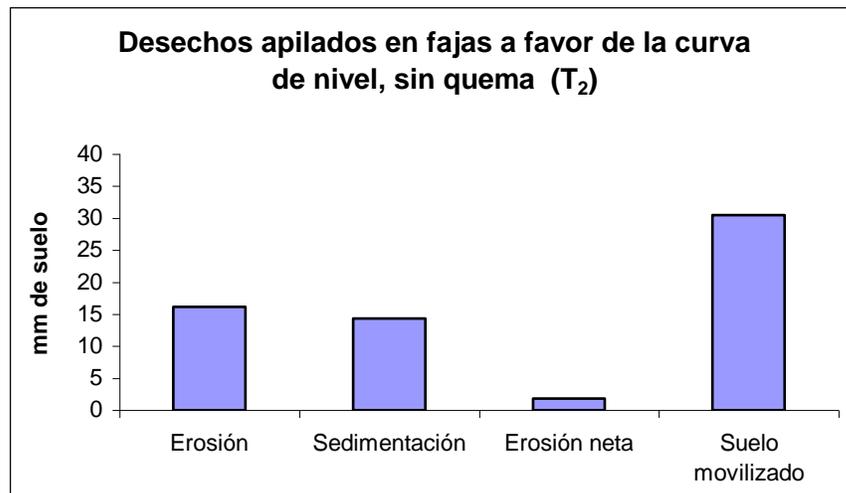


Figura 11. Cuantificación de suelo para el tratamiento 2, (T2).

El tratamiento 3 (T3), correspondiente a desechos esparcidos en el suelo, sin ordenamiento ni quema, presentó una textura de arcilla densa. La altura de erosión media neta del suelo (EN), fue de -1,01 mm, debido a la mayor cantidad de sedimentación, cuya altura media fue de 17,67 mm, superando la lámina de suelo eliminada cuya altura media fue de 16,66 mm. En tanto, el suelo medio movilizado (SM) alcanzó los 34,33 mm. De esta manera, el proceso predominante fue la sedimentación (Figura 12).

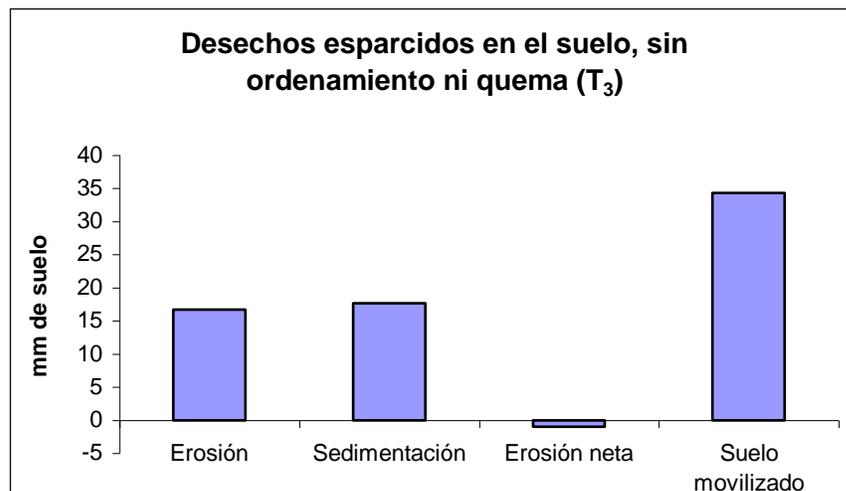


Figura 12. Cuantificación de suelo para el tratamiento 3, (T3).

Utilizando los valores de densidad aparente en seco, determinados para cada tratamiento y realizando los cálculos respectivos según las formulas presentadas en la sección 4.2.3, los resultados señalan que la erosión neta media en el Predio Pantanillos alcanzó en el período, 46,8 ton/ha en T1; 19,3 ton/ha en T2 y -9,1 ton/ha en T3. Cabe destacar que los valores de erosión neta media corresponden a la diferencia entre erosión media y sedimentación media. Esto permite establecer un balance entre pérdidas y entradas de suelo en un sector determinado, permitiendo realizar estimaciones más reales de las pérdidas de suelo producidas en el lugar. También es necesario señalar los montos obtenidos para suelo movilizado, los cuales corresponden a 297,9 ton/ha; 309 ton/ha y 347,7 ton/ha respectivamente. Los resultados obtenidos para sedimentación, erosión y suelo movilizado, son presentados en el Apéndice IIb.

Con respecto al método de proporciones, los resultados obtenidos no presentan gran variación en relación a los valores antes mencionados, obteniéndose erosión neta (EN) de: 42,7 ton/ha en T1; 23,9 ton/ha en T2 y 2,8 ton/ha en T3 (más detalle en Apéndice IV).

5.1.1. Determinación de diferencias de medias para la erosión (ton/ha/período) en el Predio Pantanillos.

Mediante el análisis de varianza (ANDEVA), se determinó si existió o no diferencias significativas entre las medias de las parcelas, para los tres tratamientos. De esta forma se analizó los procesos de erosión media (E); sedimentación media (S); erosión neta media (EN) y suelo movilizado (SM).

La hipótesis analizada mediante ANDEVA correspondió a:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$
$$H_1 : \text{uno o más pares de medias son diferentes.}$$

Se rechaza la hipótesis nula H_0 si;

$$F_0 > F_{\text{crit}} \text{ con } (r-1) \text{ y } (n-1)*(r-1) \text{ g.l.}$$

Donde:

n: Número de bloques

r: Número de tratamientos

Erosión media (E):

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la erosión, expresada en ton/ha/período (Cuadro 2), los resultados muestran, con probabilidad de error no superior al 5%, que no hay evidencia experimental suficiente para rechazar la hipótesis nula con relación a las medias de la erosión, para los distintos tratamientos de post-cosecha.

Cuadro 2. Análisis de varianza para la erosión media.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Probabilidad
Bloques	1.872,02	7	267,43	0,06	0,94
Tratamientos	4,24	2	2,12		
Error	494,04	14	35,28		
Total	2.370,31	23			

Sedimentación media (S):

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la sedimentación, expresada en ton/ha/período (Cuadro 3), los resultados muestran, con probabilidad de error no superior al 5%, que no hay evidencia experimental suficiente para rechazar la hipótesis nula con relación a las medias de la sedimentación, para los distintos tratamientos de post-cosecha.

Cuadro 3. Análisis de varianza para la sedimentación media.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Probabilidad
Bloques	446,00	7	63,71	3,49	0,06
Tratamientos	178,91	2	89,45		
Error	358,24	14	25,59		
Total	983,15	23			

Erosión neta (EN):

De acuerdo al análisis de varianza realizado para la erosión neta expresada en ton/ha/período (Cuadro 4), los resultados muestran con probabilidad de error no superior al 5%, que no hay evidencia experimental suficiente para rechazar la hipótesis nula con relación a las medias de la erosión neta, para los distintos tratamientos de post-cosecha.

Cuadro 4. Análisis de varianza para la erosión neta.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Probabilidad
Bloques	951,87	7	135,98	0,78	0,48
Tratamientos	95,64	2	47,82		
Error	862,68	14	61,62		
Total	1.910,19	23			

Suelo movilizado (SM):

De acuerdo al análisis de varianza realizado para suelo movilizado expresado en ton/ha/periodo (Cuadro 5), los resultados muestran, con probabilidad de error no superior al 5%, que no hay evidencia experimental suficiente para rechazar la hipótesis nula con relación a las medias de suelo movilizado, para los distintos tratamientos de post-cosecha.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el suelo movilizado.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Probabilidad
Bloques	2441,47	7	348,78	1,34	0,29
Tratamientos	171,07	2	85,54		
Error	894,22	14	63,87		
Total	3.506,76	23			

5.2. Estimación de las pérdidas de suelo utilizando la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE).

A continuación (Cuadro 6), se presentan los valores determinados para cada factor de RUSLE y USLE, por tratamiento (mayor detalle en Apéndice I):

Cuadro 6. Resultados obtenidos durante el período de estudio mediante el uso de RUSLE y clavos de erosión.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE RUSLE							
Factor RUSLE	R	K	LS	P	C (USLE)	A (ton/ha)	Monto experimental mediante clavos
Tratamiento							
T1	113,45	0,2023	0,115	1	0,2620	0,691	46,79
T2	113,45	0,1991	0,062	0,48	0,0138	0,0093	19,35
T3	113,45	0,1881	0,062	1	0,000401	0,00053	(-) 9,06

De los factores en cuestión, los que han otorgado mayor complejidad para su cálculo son C y P, debido a que al igual que en USLE, el modelo RUSLE no presenta una valoración claramente establecida para bosques. Eso sí, incluye más opciones que USLE para estos factores, aunque estas no se asemejan completamente a las tres situaciones de manejo forestal post-cosecha consideradas en esta investigación. Para obtener el valor de C, se analizó cada uno de los cinco subfactores de SLR (proporción de suelo perdido para condiciones dadas), los cuales se detallan en el apéndice I. No obstante, algunos de los subfactores no pudieron ser fijados, por lo cual se prefirió trabajar C mediante el método USLE.

El factor C (USLE), deriva de un método para predecir erosión en suelos forestales. Este método utiliza 7 subfactores aplicables al suelo no cultivado, que son: suelo desnudo, cobertura, reconsolidación del suelo, alto contenido orgánico, raíces finas, depresiones de almacenamiento (se acumula el agua) y escalones (referido a zonas de salto y poza del flujo hídrico), (Dissmeyer y Foster, 1998). En el apéndice I, se encuentran los cuadros de donde se obtienen estos valores. En cuanto a R, se detalla su cálculo para cada lluvia en el apéndice III.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Método de los clavos de erosión

Tal como otras investigaciones en esta área (Cuitiño, 1999; Concha, 2004), la metodología utilizada para cuantificar la erosión hídrica, considera las pérdidas de suelo que se producen en la superficie de las parcelas y además las entradas de suelo mediante el transporte de materiales desde otros sectores por efecto del escurrimiento superficial, el cual sedimenta en las partes más bajas debido a cambios de velocidad o a cambios en la pendiente. Debido a esta situación se define erosión neta como la diferencia entre las entradas y salidas de suelo que ocurren en las parcelas, extrapolado a ton/ha.

Los resultados obtenidos en esta investigación para la erosión neta, corresponden a: 46,8 ton/ha/período; 19,4 ton/ha/período y (-) 9,1 ton/ha/período, para los tratamientos post-cosecha aplicación de quemas a los residuos, residuos ordenados en fajas y residuos esparcidos en el lugar sin orden, respectivamente. Los valores reflejaron la situación esperada, ya que responden a las condiciones de cobertura de residuos, vale decir, el tratamiento sin cobertura es el que presentó los niveles más altos de erosión neta, el tratamiento de fajas con cobertura media, tuvo resultados intermedios, mientras que el tratamiento con desechos dispersos resultó en los montos más reducidos. Estas cifras distan bastante de las obtenidas por Gajardo (1996) con 2,57 ton/ha de pérdida de suelo en áreas de 30% de pendiente y aplicación de quemas en un renoval de Roble y las de Endlicher (1988), citado por Gajardo (1996) con una cantidad de 3,7 ton/ha, aunque utilizando parcelas tipo USLE. No obstante, los resultados son consistentes, aunque no similares, con los obtenidos por Concha (2004), el que señala 3,9 ton/ha/período en su parcela testigo (la cual contiene vegetación inalterada y por ende alta cobertura de residuos); 4,0 ton/ha/período para la situación de daño leve (producto de quemas) y 5,9 ton/ha/período para la situación de daño severo, donde la totalidad de las parcelas estaban sin vegetación. Además están dentro del rango de resultados obtenido por Cuitiño (1999), quien señala pérdidas de 31,2 ton/ha y 26,4 ton/ha de erosión neta, en situaciones de suelo desnudo para dos predios ubicados en la Séptima Región.

Mancilla (1995), en un estudio realizado en el predio "Los Barros", VII Región, entre otros aspectos determinó que los niveles de erosión bajo diversas cubiertas arbóreas son mínimos y más específicamente señala que el suelo bajo bosque natural es el que presenta la mayor estabilidad, con valores de 0,16 ton/ha/año para plantación de Pino radiata de 13 años, 0,09 ton/ha/año para plantación de pino de 23 años y 0,07 ton/ha/año para un renoval de roble. Desde este punto de vista los valores de erosión neta obtenidos en este estudio en Pantanillos, están muy sobre los valores antes mencionados, considerando, claro está, que en el trabajo de Mancilla (1995) existía también cubierta arbórea.

Los resultados permiten deducir que el tratamiento post-cosecha menos adecuado corresponde a la aplicación de quemas, causando un 142% más erosión neta que los residuos ordenados en fajas. El caso de la erosión neta negativa en T3 se debe a que hubo más sedimentación que erosión, lo cual no significa que dicho tratamiento haya sido mejor, debido a que sufrió 169,2 ton/ha de erosión, cantidad un tanto mayor a la del tratamiento de fajas (164,2 ton/ha).

Para un análisis más detallado es conveniente revisar los montos por período, ya que el sólo detalle de los totales no es suficiente para dar una opinión certera acerca de cuál tratamiento es el que otorga un mayor protección al suelo. En este sentido, al examinar por período se puede observar claramente que en los meses más lluviosos registrados, es decir, julio (período 2 y 3, Figura 13) y agosto (período 4, 5 y 6, Figura 13), el tratamiento que presentó menor erosión media en cada mes fue la aplicación de quemas. En efecto, este tratamiento alcanzó en julio un valor de 38,34 ton/ha y en agosto 52,61 ton/ha. El tratamiento de fajas alcanzó valores de 45,70 y 59,56 ton/ha, respectivamente y el tratamiento de residuos esparcidos sin ordenamiento presentó los mayores montos, alcanzando 49,75 y 59,45 ton/ha para los meses correspondientes. En este sentido, los tratamientos T1 y T2 aumentaron sus pérdidas de suelo a pesar de la disminución de las precipitaciones, de manera ligeramente superior que T3. Esto es, las parcelas totalmente cubiertas (T3) mostraron un aumento leve de 9,7 ton/ha en agosto con respecto a julio, mientras que T2 lo hizo en 13,86 ton/ha y T1 en 14,27 ton/ha. Aunque T1 tuvo el mayor incremento, hay que destacar que en general fue el tratamiento que presentó menor erosión media por período, debido probablemente a que al momento de la primera medición ya había pasado un tiempo importante desde la quema y algunas lluvias, habían ya afectado la zona. Al respecto, existe evidencia de que, inmediatamente después de una quema se acelera la pérdida de suelos, lo que según Francke (1991), conlleva a la reducción de productividad del sitio. Esto es corroborado con lo mostrado en la primera medición efectuada, en la cual los montos de erosión fueron, de manera considerable, mucho más altos en T1.

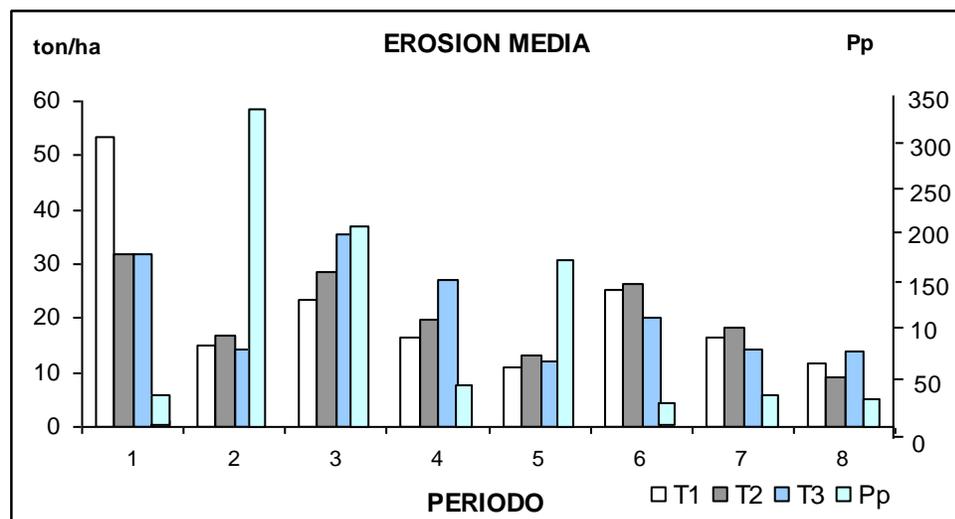


Figura 13. Apreciación del efecto de la precipitación sobre los tratamientos estudiados en relación a la erosión media.

Es posible observar que, en relación a los resultados medios acumulados (Apéndice IIb), T2 presentó valores de EN menores que T3. Esta situación no era esperable, debido al alto nivel de cobertura vegetal que las parcelas correspondientes a T3 sustentaban (parcelas totalmente cubiertas). Aunque esta diferencia es menor, se debe destacar que el tratamiento que cuyos valores de sedimentación fue más alto, por lo tanto detuvo más suelo, fue T3 con un valor -9,06, cuyo signo negativo significa que en la parcela se capturó mucho más suelo del que se perdió. Por su parte, T1 fue el tratamiento que presentó los más altos valores de EN, para el promedio de todas sus parcelas, situación que sin duda fue producto de la escasez de cobertura vegetal, producto de la quema. Los valores de EN presentados por T1, son señal clara de que este tratamiento es el que detiene menos sedimento y por ende el que protege menos contra la pérdida de suelo.

6.2. Método RUSLE

Los factores de la RUSLE que otorgan mayor complejidad en su aplicación al campo forestal, son C y P, porque necesitan ser adecuados a las actividades forestales. Está además el factor R, de compleja determinación debido a su cálculo extenso.

El factor R, cuyo valor para esta investigación fue de 113,4 ton/ha/periodo, se asemeja a los valores obtenidos en Talca por Farfán (2002), que fluctúan para un periodo de 12 años entre 52 y 403,9 ton/ha dependiendo de la cantidad de precipitaciones.

El factor C es el que más ha sido modificado en relación a USLE. Efectivamente, para su cálculo se han agregado varias fórmulas, las cuales necesitan mucha información sobre el suelo en donde se está trabajando, también sobre los tipos de cultivo y sus prácticas de laboreo. Debido a que RUSLE y todos sus factores están determinados primordialmente para cultivos agrícolas, resulta casi imposible obtener una buena representación de C. Esto, debido a que no se cuenta con toda la información relacionada al ámbito forestal y aquellos valores que están tabulados o expresados en gráficos, no otorgan la validez suficiente para compararlos con suelos de bosques o, para este caso, con residuos del mismo. Entonces, para intentar obtener C mediante RUSLE, se analizó cada uno de los cinco subfactores de SLR (Apéndice I), los cuales se detallan a continuación:

El subfactor PLU; necesita información sobre masa radicular y masa de desechos. En cuanto a masa radicular podrían usarse algunas estimaciones bibliográficas como por ejemplo: Kramer (1974) quien señala que aproximadamente el 18% de la materia seca se encuentra en las raíces, Snowdon et al (2005) señalan montos de 20% para el género Pinus y para Pinus radiata de 18 años de edad comprende alrededor del 10% del peso total de los árboles (Guerra et al, 2005). Igualmente, podrían utilizarse antecedentes bibliográficos de masa radicular. No obstante, dicha información es bastante escasa en vegetación arbórea, por lo cual la obtención de PLU no pudo ser lograda.

El subfactor CC; puede ser calculado ya que requiere la superficie cubierta por el dosel y la altura de éste, que para el caso del estudio fue de 5, 10 y 100% de cobertura de dosel para T1, T2 y T3, respectivamente (usándose como cobertura, los desechos).

El subfactor SC; sólo cuenta con los datos del porcentaje de área cubierta por residuos de la cosecha, que son respectivamente para cada tratamiento: S_{p1} , S_{p2} y S_{p3} .

$S_{p1}=0\%$; corresponde a la superficie sin cobertura por efecto de la quema, dentro de la parcela, en el tratamiento T1.

$S_{p2}=50\%$; corresponde a la superficie cubierta por fajas dentro de la parcela, en el tratamiento T2.

$S_{p3}=100\%$; corresponde a la superficie cubierta por los desechos esparcidos dentro de la parcela, en el tratamiento T3.

El subfactor SR; ofrece tablas con las operaciones de campo para obtener la información sobre rugosidad, pero ninguna de estas operaciones se aplica en el campo forestal, ni en esta investigación. También necesita información de períodos anteriores.

El subfactor SM; está representado en un gráfico creado para el hemisferio norte. En cuanto a este subfactor, podría recolectarse la información de capacidad de campo y construir un gráfico para el hemisferio sur, con valores más representativos del suelo forestal, según la región.

Para el factor P, tampoco hay una aplicación que se pueda usar directamente en bosques. Sólo se puede emplear en este caso tabulaciones para labranza en contorno, que sería aplicable al tratamiento con fajas y su valor sería $0,6*0,8$ (Apéndice I). Para los dos tratamientos restantes el valor de P sería 1, ya que en dichos casos no se aplicó ninguna práctica de conservación de las señaladas por USLE o RUSLE.

De esta manera, algunos subfactores de C en RUSLE fueron imposibles de determinar con un nivel aceptable de confianza, dado que requieren de estudios anexos para ser logrados. En consecuencia, se optó por utilizar un factor C derivado del análisis de USLE, con modificaciones propuestas por Dissmeyer y Foster (1980) para su adaptación a sistemas forestales (Apéndice I).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

El método de los clavos de erosión demostró ser un método económico, sencillo y fácil de aplicar, sin embargo, presenta dificultades cuando se emplea en áreas con un nivel considerable de hojarasca o materia orgánica sin descomponer, como fue en este caso para los tratamientos T2 y T3.

El tratamiento afectado por la quema de residuos fue el de mayor erosión neta media con 46,8 ton/ha/período. Adicionalmente, dicho tratamiento fue el que presentó la menor cantidad de suelo movilizado, con 297,9 ton/ha/período. Esto debido a la menor cantidad de sedimentación, lo que deriva del hecho de no tener cobertura de residuos, por lo cual no había mayor oposición al paso de sedimento siendo transportado por el flujo.

El tratamiento con fajas obtuvo los mejores resultados en cuanto a erosión neta media con un valor de 19,4 ton/ha/período. Además este tratamiento fue el que presentó menor cantidad de erosión (164,2 ton/ha/período), a pesar de que su cobertura era sólo de un 50%.

A pesar de que el tratamiento con desechos esparcidos (T3) contaba con 100% de cobertura, su monto en erosión media fue 169,3 ton/ha/período. Pero también fue mayor la sedimentación media, alcanzando a detener 178,4 ton/ha/período de partículas de suelo en movimiento. Así, T3 fue el tratamiento que detuvo más suelo en movimiento. Por lo tanto, T3 sería el tratamiento más adecuado en las aplicaciones post-cosecha y, en caso de que se quiera usar, como medida de mitigación para reducir la pérdida de suelo y lograr una estabilidad mayor de este recurso.

Con respecto a la relación entre precipitación y erosión, se observa que en los períodos de mayor precipitación (períodos 2, 3 y 5, abarcando 82% de la precipitación total considerada), la erosión fue un 28,6%, 34,8% y 37,6% para T1, T2 y T3, respectivamente, con respecto al total de cada tratamiento. Esto señala que no es la duración de la lluvia la dañina, sino su intensidad.

En cuanto a la aplicación de RUSLE, ésta tiene parámetros de muy difícil obtención y sus tabulaciones no están totalmente adecuadas al ámbito forestal.

7.2. Recomendaciones

Debido a la facilidad de trabajar con el método de los clavos de erosión, se recomienda implementar nuevos estudios para cuantificar la erosión hídrica laminar. Esto debiese realizarse en un rango de pendientes más amplio, a fin de representar fielmente el bosque, y con una mayor cantidad de parcelas para obtener mayor precisión en los resultados.

Se debe implementar tecnología más adecuada o más moderna para cada condición de estudio, a fin de obtener la información pluviográfica correcta. Esto debido a que el pluviógrafo puede presentar problemas como manchas en las cintas, falta de verticalidad en los registros y salidas de los bordes de las cintas.

Si bien es cierto que la biomasa de raíces de especies forestales ha sido poco estudiada, seguramente por la dificultad y lo costoso de la extracción de los sistemas radicales completos, sería conveniente realizar este tipo de investigación para poder aplicar sus resultados en la obtención del factor C.

También sería conveniente prolongar el estudio en el tiempo, para hacer comparaciones relacionadas por ejemplo, con condiciones anuales de precipitación.

En cuanto a la aplicación de RUSLE, sería útil seguir realizando ensayos y tabulaciones, puesto que sus valores asociados pueden servir como base para futuras investigaciones. Para esto es necesario recolectar la información necesaria para desarrollar, ajustar y aplicar esta ecuación en el ambiente forestal. No hay que descartar la idea de que RUSLE es una ecuación que, contando con una base de datos adecuada a nuestra realidad, podría ahorrar tiempo y ser una alternativa económica en el futuro para evaluar problemas de importancia en el ámbito socioeconómico. Esto, porque no sólo se afecta el campo forestal, sino que se incide directamente en la migración de poblaciones rurales.

8. BIBLIOGRAFÍA

AHUMADA, P. y APABLAZA, V. 2005. Alternativas al uso del fuego para la reutilización y/o incorporación de residuos agrícolas y forestales. Proyecto: alternativas para la eliminación y/o reutilización de residuos. San Fernando, Chile. CONAF. Documento de trabajo 426.

BENNETT, H. 1965. Elementos de conservación del suelo. México. 427p.

CLÉRICI, C. y GARCÍA, F. 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata. [en línea] <<http://fagro2.fagro.edu.uy/agrociencia/VOL5/1/p92-103.pdf>> [consulta: 9 diciembre 2005].

CONCHA, J. 2004. Evaluación cuantitativa de la pérdida de suelo en rodales naturales dañados por incendios forestales de magnitud, en la Reserva Nacional Malleco, IX región. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Temuco, Chile. Universidad de la Frontera. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. 78p.

CONSTANTINESCO, I. 1976. Conservación de suelos para los países en desarrollo. Boletín de suelos de la FAO. Roma. 91p.

CROVETTO, C. 2003. La cero labranza, el rastrojo y el carbono del suelo. En: Sociedad chilena de las ciencias del suelo. Boletín N°19. Santiago. Chile. pp. 100-117.

CUITIÑO, H. 1999. Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la precordillera andina y valle central de la VII región. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 64p.

DERPSCH, R. 2004. Entender el proceso de la erosión y de la infiltración de agua en el suelo. [en línea] <<http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>> [consulta: 19 noviembre 2007].

DGAC. 2006. Climas de Chile. Séptima Región. Descripción climatológica. [en línea] <http://www.meteochile.cl/climas/climas_septima_region.html> [consulta: 14 octubre 2006].

DISSMEYER, G y FOSTER, G. 1980. A Guide For Predicting Sheet and Rill Erosion On Forest Land. USDA-Forest Service. 40p.

DONOSO, C. 1992. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente. Tercera edición. Santiago. Editorial universitaria. 368p.

FAO. 1994. Erosión de Suelos en América Latina. Suelos y Agua. Santiago, Chile. 219p.

FAO, 1997. Manejo integrado de cuencas: Documento de referencia para los países de América Latina. Santiago, Chile. 542p.

FARFÁN, J. 2002. Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdidas de suelo, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 111p.

FRANCKE, S. 1991. Efectos del manejo de residuos de explotación en el suelo y crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus radiata*, en las series de suelo Coreo (zona de Arenales) y Colico (zona de Arauco). Santiago, Chile. Chile Forestal. Documento Técnico N°51. 7p.

FUENTEALBA, M. y SEPÚLVEDA, P. 1991. Evaluación económica de la erosión del suelo: un estudio exploratorio. Memoria de titulación. Santiago, Chile. Universidad Diego Portales. Facultad de Ciencias Administrativas. 79p.

GAJARDO, A. 1996. Análisis del uso de un renoval de roble para el cultivo de trigo en terrenos forestales de la Cordillera de Nahuelbuta. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 84p.

GAJARDO, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria. Santiago. 166 p.

GAYOSO, J. y ALARCON, D. 2000. Guía de conservación de suelos forestales: una herramienta práctica para la difusión de medidas de conservación. En: Sociedad chilena de las ciencias del suelo. Boletín N°14. Santiago. Chile. pp. 143-145.

GUERRA, J.; GAYOSO, J.; SCHLATTER, J. y NESPOLO, R. 2005. Análisis de la biomasa de raíces en diferentes tipos de bosques. Avances en la evaluación de *Pinus radiata* en Chile. Bosque. 26(1): 5-21.

HUDSON, N. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Boletín de suelos de la FAO. Roma. 147p.

INFOR, 2005. El Sector Forestal Chileno en una mirada. [en línea] <http://www.aldeaforestal.cl/centro_documentacion/documentos_digitales/sector_forestal_chileno_una_mirada_2005.pdf> [consulta: 15 noviembre 2006].

INFOR, 2007a. Mercado Forestal N°24. Enero-Febrero de 2007. [en línea] Santiago, Chile. <http://www.infor.cl/centro_documentacion/documentos_digitales/mercado_forestal_n24_enerofebrero2007.pdf> [consulta: 20 junio 2007].

INFOR, 2007b. Mercado Forestal N°29. Agosto-Septiembre de 2007. [en línea] Santiago, Chile. <http://www.infor.cl/centro_documentacion/documentos_digitales/mercado_forestal_n29_agostoseptiembre2007.pdf> [consulta: 30 marzo 2008].

JULIO, G. 1999. Fundamentos del Manejo del Fuego. Universidad de Chile, Esc. Cs. Forestales. 3ª Edición, Santiago, 312 p.

MANCILLA, G. 1995. Erosión bajo cubiertas vegetales en la cordillera de Nahuelbuta (VII Región). Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 177p.

MANCILLA, G. 2004. Critical shear stress and rill sediment transport capacity of Palouse soil. Ph.D. Dissertation. Washington State University, College of Engineering and Architecture. 141 p.

MÁRQUEZ, O. 1992. Bases para la formulación de un plan de desarrollo en los predios experimentales “Las Brisas” y “Pantanillos”, VII Región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 76 p.

MEMORIA CHILENA, 2004. La erosión de suelos y la sobrevivencia de Chile. [en línea] <http://www.memoriachilena.cl/mchilena01/temas/index.asp?id_ut=laerosiondesuelosylasupervivenciadechile> [consulta: 18 noviembre 2007].

MOREIRA, S. 2001. Estudio preliminar del efecto del ruido sobre la calidad del hábitat de aves, en la zona del Predio Pantanillo, VII región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 55p.

MORGAN, R. 1997. Erosión y conservación del suelo. Tercera edición. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 342p.

PANDO, M.; GUTIÉRREZ, M.; MALDONADO, A.; PALACIOM, J. y ESTRADA, A. 2003. Comparación de métodos en la estimación de la erosión hídrica. En: Investigaciones geográficas. Boletín del instituto de geografía, UNAM. N°51. México. pp. 23-36.

PEÑA, L. 1992. Erosión y conservación de suelos. En: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Publicaciones misceláneas agrícolas N°38. Suelos, una visión actualizada del recurso. Santiago. Chile. pp. 215-237.

PERALTA, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Servicio Agrícola y Ganadero. 340p.

PRITCHETT, W. 1991. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. México. Editorial Limusa S.A. 634p.

RENARD K. G.; MEYER L. D. and FOSTER G. R. 1997. Introduction and history. En: RENARD K.G., FOSTER G. R., WEESIES G. A., McCOOL D. K., and YODER D. C., Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, U.S. Department of Agriculture and Agricultural Research Service. pp. 1-18.

SANTIBÁÑEZ, F. 1993. Atlas agroclimático de Chile. Regiones sexta, séptima, octava y novena. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos.

SANTIBÁÑEZ, F. y ROYO, A. 2002. Suelos. En: UNIVERSIDAD DE CHILE. Instituto de asuntos públicos. Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 2002. Primera edición. Santiago. Chile. pp. 203-244.

SANTIBÁÑEZ, F.; ROA, P.; SANTIBÁÑEZ, P.; FUENTES, C. y ROYO, A. 2006. Suelos. En: UNIVERSIDAD DE CHILE. Instituto de asuntos públicos. Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 2005. Segunda edición. Santiago. Chile. pp. 171-204.

SILVA, C. 2002. Estudio de técnicas para la eliminación de residuos forestales y agrícolas en la VI región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 73 p.

VERA, W. y CASANOVA, M. 1992. Morfología de suelos. En: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Publicaciones misceláneas agrícolas N°38. Suelos, una visión actualizada del recurso. Santiago. Chile. pp. 23-69.

APÉNDICE I

DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES RUSLE

- **Factor K**

Cuadro 7. Valores para determinar el factor K.

	s	p	MO	M	% limo	arena muy fina	% arcilla	K
T1	4	2	9,53	2.298,16	23,02	12,19	34,73	0,202
T2	4	2	19,6	2.254,02	26,79	10,24	39,13	0,199
T3	4	2	6,91	2.105,95	26,81	9,6	42,16	0,188

- **Factor LS**

Cuadro 8. Valores para determinar el factor LS.

	y	s	LS
T1	12	2,5	0,115
T2	12	1,6	0,062
T3	12	1,6	0,062

- **Determinación del factor C (USLE)**

Cuadro 9. Valores para el cálculo de C (USLE), según Dissmeyer, G y Foster, G. USDA (1980).

Subfactores	T1	T2	T3
Suelo desnudo	0,392	0,030	0,003
Dosel	0,955	0,955	0,955
Alto contenido orgánico	0,7*	0,7*	0,7*
Efecto residual obligatorio	1,0	1,0**	1,0**
Depresiones de almacenamiento	1,0	0,8	0,2
Escalones	1,0	0,99	1,0
Valor para C:	0,2620	0,0158	0,0004011

(*); Corresponde a un valor establecido para suelos de bosque por su alto contenido de materia orgánica y en este caso los tres tratamientos tenían altos valores.

(**); Estos valores podrían ser menores para el caso de fajas y desechos, pero como no aparecen tabulados se dejan los tres tratamientos con el valor 1,0.

Cuadro 10. Efecto del suelo desnudo, raíces finas de árboles y reconsolidación, en suelos no cultivados.

Porcentaje suelo desnudo	Porcentaje de suelo desnudo con una capa densa de raíces muy finas en los primeros 3 centímetros de suelo.											
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
0	0											
1	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,001	0,0012	0,0014	0,0016	0,0018	
2	0,0008	0,0008	0,001	0,0012	0,0014	0,0017	0,002	0,0023	0,0027	0,0031	0,0036	
5	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,011	0,012	
10	0,005	0,005	0,006	0,008	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,02	0,023	
20	0,011	0,012	0,014	0,017	0,02	0,024	0,028	0,033	0,038	0,044	0,05	
30	0,017	0,018	0,02	0,025	0,029	0,036	0,042	0,05	0,059	0,068	0,077	
40	0,023	0,024	0,027	0,034	0,042	0,049	0,058	0,068	0,079	0,092	0,104	
50	0,03	0,032	0,038	0,045	0,054	0,064	0,074	0,088	0,103	0,118	0,135	
60	0,037	0,038	0,043	0,055	0,067	0,079	0,092	0,109	0,127	0,147	0,167	
70	0,047	0,049	0,054	0,068	0,083	0,098	0,117	0,138	0,161	0,187	0,212	
80	0,055	0,058	0,066	0,081	0,098	0,118	0,141	0,164	0,192	0,221	0,252	
85	0,066	0,069	0,078	0,095	0,115	0,138	0,165	0,195	0,228	0,264	0,3	
90	0,075	0,08	0,089	0,111	0,133	0,157	0,187	0,222	0,26	0,301	0,342	
95	0,086	0,09	0,102	0,125	0,155	0,182	0,217	0,255	0,298	0,345	0,392	
100	0,099	0,104	0,117	0,144	0,18	0,207	0,248	0,293	0,342	0,396	0,45	

Fuente: Adaptación de Dissmeyer, G y Foster, G. USDA (1980).

Cuadro 11. Subfactor Cobertura.

Altura del dosel Metros (pies)	Porcentaje de suelo desnudo con cobertura de dosel										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,5-(1,5)	1	0,91	0,83	0,74	0,66	0,58	0,49	0,41	0,32	0,24	0,16
1,0-(3,2)	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,51	0,44	0,37	0,3
2,0-(6,5)	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4,0-(13,0)	1	0,97	0,95	0,92	0,9	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76	0,74
6,0-(19,5)	1	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,9	0,89	0,87	0,85
8,0-(26,0)	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92
16,0-(52,0)	1	1	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96
20,0-(65,0)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Adaptación de Dissmeyer, G y Foster, G. USDA (1980).

Cuadro 12. Efecto de los escalones en la pendiente.

Porcentaje de la pendiente total que esta escalonada											
Porcentaje pendiente	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
5	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
6	1,00	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,78	0,76	0,73
7	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84	0,8	0,75	0,71	0,67	0,63	0,59
8	1,00	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,69	0,64	0,59	0,54	0,49
9	1,00	0,94	0,89	0,83	0,77	0,71	0,65	0,6	0,54	0,48	0,42
10	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,68	0,62	0,56	0,49	0,43	0,36
12	1,00	0,93	0,85	0,78	0,71	0,63	0,56	0,49	0,42	0,34	0,27
15	1,00	0,92	0,84	0,75	0,67	0,59	0,51	0,43	0,34	0,26	0,18
20	1,00	0,91	0,82	0,74	0,65	0,56	0,47	0,38	0,29	0,2	0,11
30+	1,00	0,91	0,81	0,72	0,63	0,53	0,44	0,35	0,25	0,15	0,06

Fuente: Adaptación de Dissmeyer, G y Foster, G. USDA (1980).

APÉNDICE II (a)

ALTURAS MEDIAS DE CLAVOS DE EROSIÓN, PREDIO PANTANILLOS.

Cuadro 13 a, b, c. Alturas medias de clavos de erosión, Predio Pantanillos.

(a)

PARCELA	Nº1				Nº2				Nº3			
FECHA	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)
22/06/06	3,60	0,95	2,65	4,55	2,14	3,25	-1,11	5,39	2,51	2,16	0,34	4,67
14/07/06	2,46	1,27	1,19	3,73	1,25	4,22	-2,96	5,47	1,53	2,11	-0,57	3,65
28/07/06	2,32	2,13	0,19	4,45	2,83	2,74	0,09	5,57	2,92	0,78	2,14	3,71
05/08/06	3,62	2,31	1,30	5,93	2,73	2,50	0,23	5,24	0,81	1,92	-1,10	2,74
12/08/06	1,38	1,66	-0,28	3,04	1,19	0,92	0,27	2,12	1,11	0,88	0,23	2,00
13/08/06	2,19	3,05	-0,86	5,24	2,00	1,81	0,18	3,81	1,96	2,70	-0,73	4,66
04/09/06	2,23	2,63	-0,40	4,86	1,65	2,95	-1,29	4,60	2,08	2,14	-0,05	4,22
13/09/06	0,81	1,66	-0,86	2,47	1,86	1,62	0,24	3,48	1,25	1,95	-0,70	3,21
Valor Acumulado	18,62	15,69	2,93	34,31	15,69	20,04	-4,36	35,73	14,22	14,68	-0,46	28,89

(b)

PARCELA	Nº4				Nº5				Nº6			
FECHA	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)
22/06/06	4,00	1,87	2,12	5,87	2,46	1,40	1,05	3,86	3,38	2,51	0,86	5,89
14/07/06	1,71	1,57	0,14	3,29	1,52	2,38	-0,85	3,90	1,39	3,09	-1,70	4,49
28/07/06	2,90	1,66	1,24	4,56	3,23	1,25	1,97	4,48	4,01	2,98	1,03	7,00
05/08/06	1,91	2,38	-0,47	4,30	1,32	2,00	-0,68	3,33	3,36	3,35	0,008	6,71
12/08/06	1,24	0,85	0,38	2,09	1,57	0,55	1,02	2,13	1,01	0,86	0,14	1,88
13/08/06	2,55	2,29	0,25	4,85	3,57	1,18	2,39	4,76	1,88	1,17	0,71	3,05
04/09/06	1,76	3	-1,24	4,76	1,07	2,47	-1,39	3,54	1,00	2,31	-1,30	3,32
13/09/06	1,00	0,80	0,19	1,80	0,84	1,39	-0,55	2,24	1,14	2,20	-1,06	3,34
Valor Acumulado	17,09	14,46	2,64	31,55	15,62	12,65	2,97	28,27	17,21	18,51	-1,31	35,72

(c)

PARCELA	Nº7				Nº8				Nº9			
	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)	E (mm)	S (mm)	EN (mm)	SM (mm)
22/06/06	5,21	1,17	4,04	6,38	3,75	0,53	3,21	4,28	5,43	1	4,43	6,43
14/07/06	1,72	2,46	-0,73	4,19	1,57	2,16	-0,58	3,74	1,21	4,25	-3,04	5,47
28/07/06	2,89	0,86	2,02	3,76	1,89	1,29	0,59	3,19	2,79	1,62	1,16	4,42
05/08/06	2,20	1,52	0,67	3,73	0,89	1,18	-0,28	2,07	1,90	1,65	0,25	3,56
12/08/06	0,72	1,86	-1,13	2,58	0,74	0,75	-0,00	1,49	2,33	1,58	0,75	3,92
13/08/06	2,80	2,38	0,42	5,18	2,96	1,55	1,41	4,52	2,43	1,71	0,71	4,14
04/09/06	2,10	2,45	-0,34	4,56	2,73	2,14	0,58	4,88	0,86	1,91	-1,05	2,77
13/09/06	0,94	1,11	-0,17	2,05	1,47	1,37	0,09	2,84	1,10	1,70	-0,59	2,81
Valor Acumulado	18,62	13,85	4,78	32,46	16,04	11,01	5,02	27,04	18,09	15,46	2,63	33,55

Fuente: Elaboración propia

Donde:

E: Erosión media (mm)

S: Sedimentación media (mm)

EN: Erosión neta media (mm)

SM: Suelo movilizado (mm)

APÉNDICE II (b)

RESULTADOS MEDIOS EN TON/HA/PERÍODO, SEGÚN TRATAMIENTO

Cuadro 14. Resultados medios en ton/ha/período, según tratamiento, para el Predio Pantanillos.

APLICACIÓN DE QUEMAS (T1)								
FECHA	RESULTADOS MEDIOS (ton/ha)				RESULTADOS ACUMULADOS (ton/ha)			
	E	S	EN	SM	E	S	EN	SM
22/06/06	53,48	10,16	43,32	63,65	53,48	10,16	43,32	63,65
14/07/06	14,95	28,45	-13,50	43,40	68,43	38,61	29,82	107,05
28/07/06	23,39	11,52	11,86	34,92	91,83	50,14	41,68	141,97
05/08/06	16,37	13,83	2,54	30,20	108,20	63,97	44,22	172,17
12/08/06	11,00	11,61	-0,60	22,62	119,21	75,59	43,62	194,80
13/08/06	25,22	17,51	7,71	42,74	144,44	93,10	51,33	237,54
04/09/06	16,33	19,12	-2,79	35,46	160,77	112,23	48,54	273,01
13/09/06	11,57	13,32	-1,74	24,89	172,35	125,55	46,79	297,91
TO TAL	172,35	125,55	46,79	297,91				
APLICACIÓN DE FAJAS (T2)								
FECHA	RESULTADOS MEDIOS (ton/ha)				RESULTADOS ACUMULADOS (ton/ha)			
	E	S	EN	SM	E	S	EN	SM
22/06/06	31,71	15,67	16,03	47,39	31,71	15,67	16,03	47,39
14/07/06	17,00	16,23	0,77	33,23	48,71	31,90	16,80	80,62
28/07/06	28,70	15,98	12,71	44,68	77,41	47,89	29,52	125,31
05/08/06	19,76	22,57	-2,81	42,34	97,18	70,47	26,71	167,65
12/08/06	13,29	11,16	2,12	24,46	110,47	81,64	28,83	192,11
13/08/06	26,50	24,37	2,13	50,88	136,98	106,01	30,96	242,99
04/09/06	18,22	23,21	-4,99	41,43	155,20	129,23	25,96	284,43
13/09/06	8,99	15,59	-6,60	24,58	164,19	144,83	19,35	309,02
TO TAL	164,19	144,83	19,35	309,02				
APLICACIÓN DE DESECHOS (T3)								
FECHA	RESULTADOS MEDIOS (ton/ha)				RESULTADOS ACUMULADOS (ton/ha)			
	E	S	EN	SM	E	S	EN	SM
22/06/06	31,84	25,25	6,59	57,09	31,84	25,25	6,59	57,09
14/07/06	14,16	30,43	-16,27	44,60	46,01	55,68	-9,67	101,69
28/07/06	35,58	27,05	8,53	62,63	81,59	82,73	-1,14	164,33
05/08/06	27,16	28,07	-0,91	55,24	108,76	110,81	-2,05	219,57
12/08/06	12,05	9,30	2,74	21,35	120,81	120,12	0,69	240,93
13/08/06	20,23	16,30	3,93	36,53	141,05	136,42	4,63	277,47
04/09/06	14,35	26,45	-12,10	40,80	155,40	162,87	-7,47	318,28
13/09/06	13,92	15,52	-1,59	29,45	169,33	178,40	-9,06	347,73
TO TAL	169,33	178,40	-9,06	347,73				

APÉNDICE III

PARÁMETROS DE LAS PRECIPITACIONES EROSIVAS CONSIDERADAS PARA ESTE ESTUDIO

Cuadro 15. Parámetros de las precipitaciones erosivas consideradas para este estudio.

Fecha	Monto pp.	I30	E * I30	Ri
17-jun	29,6	19,6	117,11	11,711
24-jun	30,6	7	36,1	3,61
07-jul	36,8	6	38,95	3,895
08-jul	22,3	8,4	31,74	3,174
10-jul	42,5	10	70,89	7,089
11-jul	148	8	193,67	19,367
12-jul	73,9	8	121,19	12,119
22-jul	22,4	5,8	21,64	2,164
25-jul	116,8	7,4	149,13	14,913
26-jul	43,7	6,8	54,73	5,473
27-jul	21,8	6,8	22,01	2,201
04-ago	42,4	2,6	18,43	1,843
06-ago	42,3	11	87,16	8,716
08-ago	19,8	8	28,64	2,864
09-ago	19,6	8	23,32	2,332
10-ago	29,8	7,6	37,1	3,71
11-ago	20,3	7,6	28,97	2,897
13-ago	23,6	4,8	18,64	1,864
31-ago	31,4	1,2	4,96	0,496
05-sep	12,8	2,2	3,46	0,346
10-sep	28,3	5,6	26,68	2,668
R total = 113,45 (MJ*mm/ha/h/periodo)				

APÉNDICE IV

VALORES DE EROSIÓN NETA DEL SUELO (EN) EXPRESADO EN TON/HA, BASADO EN EL MÉTODO DE PROPORCIONES.

Cuadro 16. Resultados de la erosión neta registrada y mediante el uso de proporciones.

	EN mediante el uso de proporciones				EN registrado		
	T1	T2	T3		T1	T2	T3
1	36,06	14,26	7,22		43,32	16,04	6,59
2	-10,18	0,43	-11,32		-13,50	0,77	-16,27
3	10,30	12,31	8,67		11,87	12,71	8,53
4	0,23	-4,80	-0,16		2,54	-2,81	-0,91
5	0,72	3,40	2,18		-0,61	2,12	2,75
6	7,82	3,92	4,47		7,71	2,13	3,94
7	-2,87	-3,17	-8,66		-2,79	-5,00	-12,10
8	0,62	-2,37	0,44		-1,74	-6,61	-1,60
Promedio	42,7	23,9	2,83		46,8	19,3	-9,07

ANEXO I

VALORES OBTENIDOS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (%) Y LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO (ton/m³).

Cuadro 17. Contenido de humedad del suelo superficial para cada período.

	CH%		
PARCELA	T1	T2	T3
FECHA			
22/06/2006	29,86	29,59	30,07
14/07/2006	36,31	44,49	35,18
28/07/2006	35,60	38,62	33,82
05/08/2006	34,51	30,53	35,60
12/08/2006	52,12	49,10	35,50
13/08/2006	38,21	38,05	46,12
04/09/2006	28,93	34,98	21,93
13/09/2006	27,58	33,65	24,44

Fuente: Elaboración propia

Densidad aparente del suelo.

Cuadro 18. Densidad aparente del suelo superficial para cada período.

	Da (ton/m ³)		
PARCELA	T1	T2	T3
FECHA			
22/06/2006	1,12	1,09	0,99
14/07/2006	0,98	0,89	0,99
28/07/2006	0,93	1,05	1,10
05/08/2006	0,95	1,09	1,05
12/08/2006	0,85	0,97	1,05
13/08/2006	0,92	1,03	0,96
04/09/2006	0,87	0,95	0,95
13/09/2006	0,96	0,91	1,01