

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**Departamento Silvicultura**



**DAÑO A LOS ARBOLES Y COMPACTACION DE SUELO EN RALEO**  
**POR VOLTEO Y SISTEMA DE EXTRACCION ANIMAL EN RODAL DE**

*Eucalyptus regnans* F. MUELL.

Por

JUAN RODRIGO NOVA CHAVEZ

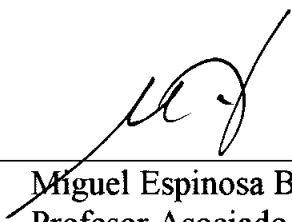
MEMORIA DE TITULO  
PRESENTADA A LA FACULTAD  
DE CIENCIAS FORESTALES DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION-CHILE  
1996



**DAÑO A LOS ARBOLES Y COMPACTACION DE SUELO EN RALEO  
POR VOLTEO Y SISTEMA DE EXTRACCION ANIMAL EN RODAL DE  
*Eucalyptus regnans* F. MULL.**


Profesor Asesor



---

Miguel Espinosa Bancalari  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal, Ph. D.

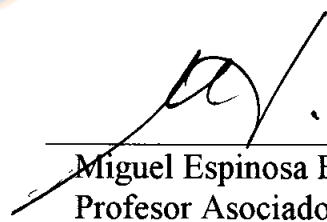
Profesor Asesor



---

Manuel Lineros Parra  
Profesor Asistente  
Ingeniero Forestal, Mg. Sc.

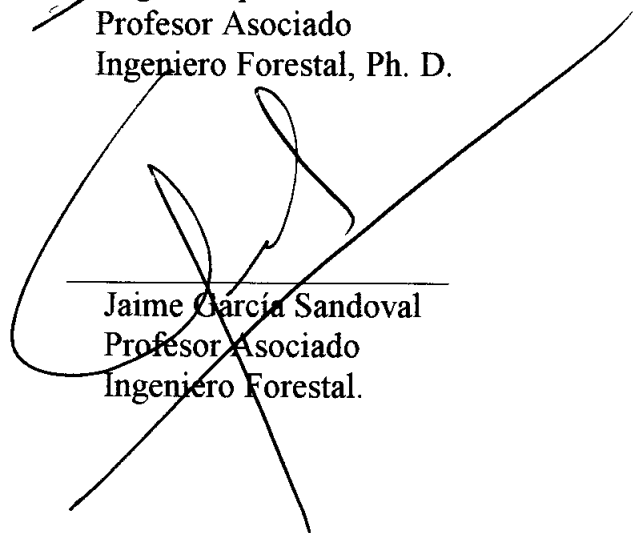
Director Departamento  
Silvicultura



---

Miguel Espinosa Bancalari  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal, Ph. D.

Decano Facultad de  
Ciencias Forestales



---

Jaime García Sandoval  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal.

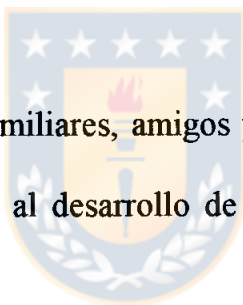


**A MIS PADRES**  
**HERMANAS**  
**MARIA CAROLINA**

## **AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco a Dios y a mis Padres por darme la capacidad y el apoyo durante todo el transcurso de mis estudios. También deseo expresar mis agradecimientos a Don Miguel Espinosa Bancalari y Don Manuel Lineros Parra, que como mis profesores asesores supieron brindarme el apoyo y conocimientos necesarios para el buen termino de esta Memoria.

Por ultimo, agradecer a mis familiares, amigos y todas aquellas personas que de alguna u otra forma ayudaron al desarrollo de este trabajo como también a mi formación profesional.



## INDICE DE MATERIAS

<b>CAPITULOS</b>	<b>PAGINA</b>
I. INTRODUCCION.....	1
II. MATERIALES Y METODO .....	5
2.1. Metodología.....	5
2.1.1. Area de estudio.....	5
2.1.2. Método de muestreo.....	7
2.1.3. Medición de variables.....	8
2.1.3.1. Daño en los árboles.....	8
2.1.3.2. Densidad aparente.. ..	9
2.1.3.3. Resistencia a la penetración.....	10
2.3. Análisis estadístico.....	10
III. RESULTADOS .....	11
3.1. Daño en los árboles.....	11
3.2. Densidad aparente.....	18
3.3. Resistencia a la penetración.....	20
IV. DISCUSION.....	23
4.1. Daño en los árboles.....	23
4.2. Densidad aparente.....	28

4.3. Resistencia a la penetración.....	29
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. RESUMEN Y SUMMARY.....	35
RESUMEN.....	35
SUMMARY.....	36
VII. BIBLIOGRAFIA .....	38



## INDICE DE TABLAS.

<b>TABLA N°</b>		<b>PAGINA</b>
1	Tipo de daño en el árbol por clase de copa (en porcentaje).....	12
2	Número y proporción de árboles dañados según sistema de madereo.....	12
3	Número de heridas en los árboles resultado de las operaciones de madereo.....	13
4	Severidad de las heridas por clase de copa (en porcentaje).....	14
5	Severidad media de las heridas presentes en el tocón de los árboles.....	15
6	Severidad media de las heridas presentes en el fuste de los árboles.....	15
7	Proporción de árboles de acuerdo a la severidad y ubicación del daño en la copa del árbol.....	16
8	Ubicación de las heridas a lo largo del fuste (en porcentaje).....	16



9	Valores prueba de análisis de varianza para densidad aparente.....	19
10	Valores prueba de análisis de varianza para índice de cono.....	20
11	Valores diferencias entre medias, t-Student, para índice de cono.....	21



**INDICE DE FIGURAS.**

<b>FIGURA N°</b>		<b>PAGINA</b>
1	Número de árboles heridos y sanos por clase diamétrica.....	17
2	Número de árboles heridos y sanos de acuerdo a la distancia a la vía de saca.....	18
3	Densidad aparente para el perfil de suelo.....	19
4	Índice de cono para el perfil de suelo.....	21
5	Índice de cono y densidad aparente para las vía de saca.....	30
6	Índice de cono y contenido de humedad para las vía de saca.....	31

## I. INTRODUCCION.

Las operaciones de raleo han sido realizadas a lo largo del tiempo con el objetivo de controlar la densidad del rodal y crear un ambiente favorable para incrementar el crecimiento de los árboles. Sin embargo, una de las consecuencias potenciales de estas intervenciones es el grado de destrucción inevitable sobre el rodal, lo cual se explica principalmente por las difíciles condiciones de suelo y clima en que se llevan a cabo, generalmente, estas actividades (Smith, 1986).

Ostrofsky *et al.* (1986) y Smith (1986) distinguen dos tipos de daño que pueden ocurrir sobre el rodal residual por efecto de la faena de raleo. El primero incluye heridas en los árboles como consecuencia directa de los sistemas de cosecha; rasgaduras en raíces laterales, heridas en la base del fuste, y ramas y ápices quebrados, resultan frecuentemente en una disminución de la calidad de los árboles y, además, pérdidas en volumen si organismos de la pudrición se ven involucrados. White y Kile (1991) determinaron en *Eucalyptus regnans* que cicatrices con exposición de madera mayor al 5% del perímetro del fuste, medido a 1.3 m sobre el nivel del suelo, y 0.5 m de largo, desarrollaron decoloración y posterior pudrición a los seis meses de provocada la herida.

La extensión y severidad del daño en los árboles puede variar ampliamente de un rodal a otro y dependerá de la estructura y área basal del rodal residual, del tamaño y maniobrabilidad del equipo utilizado, de la época del año en que se intervenga, de las condiciones topográficas del rodal y del nivel de planificación de las actividades (Bruhn, 1986, citado por Meadows, 1993; White y Kile, 1991).

Lamson *et al.* (1984) en rodales de *Acer rubrum* y *Prunus pensylvanica* determinaron que el 22-45% de los árboles, que no fueron marcados previo al raleo, fueron destruidos o presentaron severas hendiduras en el fuste durante las operaciones de madereo con skidder, y que el 42% de los árboles remanentes presentaron exposición de albura. Sin embargo, el efecto sobre el área basal residual fue poco significativo, debido a que el 99% de los árboles destruidos y el 55% de los árboles heridos resultaron ser menores a 12 cm de diámetro.

El segundo tipo de daño tiene relación con la compactación de suelo provocado por los sistemas de cosecha forestal, siendo el madereo o extracción forestal una de las operaciones que causa mayor alteración al sitio, debido a que el tráfico de maquinaria terrestre se concentra por un breve período de tiempo sobre una determinada superficie, causando un impacto inmediato al suelo (Fuentes, 1993).

El grado de alteración al suelo es altamente variable en extensión e intensidad. Según Wingate-Hill y Jakobsen (1982), depende de factores tales como: tipo de suelo, profundidad, contenido de humedad, cantidad de litera, peso de la maquinaria, tamaño de los árboles removidos, designación de las líneas de madereo y frecuencia de entrada. Alderfer y Robinson (1947), citados por Froehlich (1979), determinaron que la compactación de suelo ocasionado por sistema de madereo con bueyes fue limitada entre 2.5 y 5.0 cm de profundidad. En cambio, estudios realizados por Fuentes (1993), Lineros (1994) y Villa (1995) en operaciones de madereo mecanizados, concluyen que las alteraciones generadas pueden llegar hasta los 50 cm de profundidad, presentándose un aumento en la densidad aparente, resistencia a la penetración y tasa de infiltración, en comparación al suelo no alterado.

La combinación de compactación y desplazamiento de suelo, las heridas en los árboles y el aumento de la radiación solar sobre los fustes y el suelo pueden incrementar el stress en los árboles, reduciendo la futura productividad del sitio (Hall, 1933, Redmond, 1955, citados por Ostrofsky *et al.*, 1986). Por lo tanto, el objetivo será minimizar el daño y distinguir entre aquél que es inevitable de aquél que es previsible.

El presente estudio tiene como objetivos: primero, determinar la extensión, posición y severidad de las heridas presentes en los árboles después de un raleo comercial en un rodal de *Eucalyptus regnans* de 7 años de edad en el cual se empleó un sistema tradicional de cosecha; y segundo, determinar el grado de compactación ocasionado por el sistema de madereo con bueyes, analizando el comportamiento en el perfil de suelo de dos variables relacionadas con el fenómeno de compactación: densidad aparente y resistencia a la penetración.



## II. MATERIALES Y METODO.

La información utilizada en este estudio se obtuvo en el predio Los Alamos y San Ambrosio, comuna de Los Alamos (37° 35' Latitud Sur y 73° 29' Longitud Oeste), 119 km al suroeste de Concepción, VIII Región, perteneciente a la empresa Forestal Mininco S.A., mientras que las determinaciones de laboratorio fueron realizadas en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción.



### 2.1. Metodología.

2.1.1. Area de estudio. Para el desarrollo del estudio se consideró un rodal de *Eucalyptus regnans* establecido el año 1989 con plantación en surcos, previo control de malezas y posterior fertilización una vez establecidas las plantas, y densidad inicial de 1 100 plantas/ha.

El sector donde se encuentra el rodal presenta una serie de suelo Curanipe, su geomorfología y topografía corresponde a un suelo de posición intermedia, con pendiente ligera (0-8%). El material de origen son sedimentos marinos ricos en

mica. Su textura es franco arcillosa. El drenaje de estos suelos es rápido en la parte superior y bueno en la parte inferior. La erosión es de manto grave. La pluviometría del área oscila entre 1 300 y 1 500 mm (Carrasco y Millán, 1990).

Durante los meses de octubre y noviembre de 1995 se realizó un primer raleo comercial, posterior a una poda a 3.5 m de altura, determinándose una densidad final de 842 árboles/ha, con d.a.p. y altura promedio de 16.8 cm y 12.72 m, respectivamente. El raleo fue determinado por los árboles podados, quedando en pie aquellos individuos de clases de copa superiores (dominantes y codominantes) de buena forma (rectos) y sanos. Sin embargo, se dejaron algunos individuos de clases inferiores (intermedios y suprimidos) para evitar la presencia de claros.

El sistema de cosecha empleado consistió en un volteo con motosierra dirigiendo los árboles a las vías de saca previamente trazadas y sistema de extracción con bueyes y caballos. Para el arrastre se utilizaron cadenas, las cuales permitían el transporte de 3 a 4 fustes a la vez para el madereo con bueyes y 2 fustes para el madereo con caballos. El sistema de aprovechamiento empleado fue madera larga; este consistía en madrear el fuste entero desramado desde la zona de volteo, con diámetro mínimo de utilización 8 cm, hasta orilla de camino donde era trozado y descortezado.



2.1.2. Método de muestreo. Para evaluar el daño ocasionado por el madereo y volteo sobre los árboles, se seleccionaron en forma aleatoria tres vías de saca en el sector donde fue empleado el buey, e igual número donde fue usado el caballo. Las características principales que tuvieron estas vías fueron: primero, clara presencia de huellas provocadas por el tránsito de animales; y segundo, vías de saca rectas y no entrecruzadas.

La evaluación de la compactación de suelo se llevó a cabo sólo en aquellos sectores en los cuales se utilizó madereo con bueyes. La metodología aplicada fue basada en estudios preliminares (Fuentes, 1993; Lineros, 1994; Villa, 1995), para lo cual se aplicó un muestreo aleatorio simple seleccionándose dos vías de saca (en las cuales se apreciaba claramente el tránsito del buey) de aproximadamente 50 m de longitud cada una, las que fueron seccionadas cada un metro, estableciéndose un número finito de unidades muestrales.

En forma completamente aleatoria se seleccionaron tres y dos unidades muestrales en cada una de las vías, respectivamente. Paralelo a la vía de saca, en la cual fueron seleccionadas tres unidades de muestreo, y frente a cada una de ellas a una distancia aproximada de dos metros -en suelo no alterado- se establecieron las unidades de control (tres).

2.1.3. Medición de variables. Se trazaron corredores a cada costado de las vías de saca seleccionadas de 10 m de ancho y 50 m de longitud, obteniéndose seis corredores para cada sistema de madereo en estudio. Los árboles que componen el corredor fueron enumerados en forma correlativa con pintura spray y los vértices de éste quedaron claramente demarcados con estacas de 1.20 m de altura.

El método de evaluación de daño en los árboles por medio de corredores fue aplicado por White y Kile (1991) en operaciones de raleo mecanizado en rodal de *Eucalyptus regnans*, cuya superficie tratada fue de 0.5 ha la cual es ligeramente inferior a la superficie acumulada de los doce corredores evaluados en este estudio (0.6 ha).

Para determinar la compactación de suelo, en cada unidad muestral seleccionada (vía de saca y control), se realizó una calicata en forma escalonada de 70 cm de profundidad estableciéndose los niveles de: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 cm.

2.1.3.1. Daño en los árboles. En los doce corredores trazados se evaluaron cada uno de los árboles presentes, considerándose tres secciones en éstos: tocón (primeros 30 cm sobre el nivel del suelo), fuste y copa (comienzo primera rama

verde). Se registró el d.a.p., la altura total, clase de copa y distancia a la vía de saca de todos los árboles.

Las heridas fueron categorizadas por su severidad, dimensión media, causa y localización. La severidad fue registrada como (1) rasgado de corteza sin exposición de cambium, (2) rasgado de corteza con exposición de cambium, (3) desprendimiento de madera, y (4) hundimiento.

Las heridas que involucraron la copa de los árboles fueron registradas como (1) remoción de ramas en su parte extrema, y (2) remoción de ramas a partir del fuste. Además, se registró la ubicación del daño ya sea en la parte inferior, media o superior de la copa.

2.1.3.2. Densidad aparente. En cada unidad muestral seleccionada (vía de saca y control) y en cada nivel de profundidad de suelo fueron extraídas las muestras de suelo por medio de un cilindro de acero (3.01 cm de alto y 5.07 cm de diámetro), para ser llevadas en bolsas plásticas al laboratorio, donde se efectuó su pesaje (peso húmedo), y secado a 105° C hasta su estado anhidro; posteriormente se determinó la densidad aparente por la relación siguiente:

$$\text{Densidad aparente (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso seco de la muestra (g)}}{\text{volumen cilindro (cm}^3\text{)}}$$

2.1.3.3. Resistencia a la penetración. En cada unidad muestral seleccionada (vía de saca y control) y en cada nivel de profundidad de suelo se efectuaron tres mediciones con penetrómetro de las que se obtuvo un promedio para determinar la resistencia a la penetración, expresada por el índice de cono en  $\text{kN/m}^2$ . Este consistía en un manómetro marca Skokie (Marsh Instrumental Company) que registra la fuerza que se opone a la penetración de un cono circular de  $30^\circ$  y diámetro en la base de 1.3 cm (ASAE, 1989, citado por Lowery y Schuler, 1991).

2.2. Análisis estadístico. El análisis estadístico de los datos comprendió una docimación de los supuestos básicos necesarios para realizar una análisis de varianza a través de pruebas de bondad de ajuste para la normalidad de las variables (test de Kolmogorov-Smirnov) y prueba de homogeneidad de varianzas (test de Bartlett) entre poblaciones (Ostle, 1968).

En los casos en que la hipótesis homogeneidad de varianzas fue rechazada se procedió a comparar las variables a través de las medias, utilizando la prueba de t-Student (Ostle, 1968).

### III. RESULTADOS.

#### 3.1. Daño en los árboles.

Un total de 505 árboles, distribuidos en los doce corredores, fueron evaluados. De estos el 31.9% presentaron algún tipo de daño en el tocón, fuste y/o copa, siendo los sistemas de madereo la causa principal con 25.6% en comparación a las operaciones de volteo con 6.3% (Tabla 1).

A lo largo de todas las clases de copa, el daño al tocón de los árboles residuales fue el tipo más común. Heridas múltiples, considerando una combinación de daño tanto al tocón, fuste y/o copa, fueron las menos frecuentes.

En general el porcentaje de árboles dañados fue distribuido homogéneamente entre las clases de copa, a excepción de la clase suprimida que presentó la menor proporción de daño. El daño al tocón fue más frecuente en clases de copa inferiores que superiores, mientras que en el fuste y copa de los árboles se presentó la situación inversa. Esto indicaría que el daño en los árboles no está relacionado con el tamaño de estos, presentándose aleatoriamente.

TABLA 1. POSICION DEL DAÑO EN EL ARBOL POR CLASE DE COPA (EN PORCENTAJE).

Tipo de daño	Clase de copa				Todos los árboles
	Dom.	Codom.	Inter.	Sup.	
Ninguno	69.2	63.2	69.2	84.0	68.1
Tocón	15.2	11.6	17.5	16.0	14.4
Fuste	6.9	9.9	3.8	0.0	7.1
Copa	6.2	8.6	3.8	0.0	6.3
Tocón/fuste	1.4	4.0	3.8	0.0	1.0
Tocón/copa	1.1	0.7	1.9	0.0	2.4
Fuste/copa	0.0	1.3	0.0	0.0	0.4
Tocón/fuste/copa	0.0	0.7	0.0	0.0	0.3
Todos los tipos de daño	30.8	36.8	30.8	16.0	31.9

Dom : Dominante; Codom: Codominante; Inter: Intermedio; Sup: Suprimido

No se encontraron diferencias significativas, al nivel del 5%, entre los sistemas de extracción en cuanto al número de árboles dañados (Tabla 2).

TABLA 2. NUMERO Y PROPORCION DE ARBOLES DAÑADOS SEGUN SISTEMA DE MADEREO.

Sistema de madereo	Area tratada (ha)	N° árboles evaluados	N° árboles heridos	%
Bueyes	0.3	245	79 <i>a</i>	32.0
Caballos	0.3	260	50 <i>a</i>	19.0
Total	0.6	505	129	25.6

Diferentes letras en una columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

No se encontraron diferencias significativas, al nivel del 5%, entre los sistemas de extracción en cuanto al número de heridas presentes en los árboles (Tabla 3). Rasgado de corteza sin exposición de cambium (1) y hundimiento (4) fue superior en el madereo con bueyes que en el madereo con caballos, en cambio, en las clasificadas como rasgado de corteza con exposición de cambium (2) y desprendimiento de madera (3), se presentó la situación inversa.

TABLA 3. NUMERO DE HERIDAS EN LOS ARBOLES RESULTADO DE LAS OPERACIONES DE MADEREO.

Sistema de madereo	Severidad de las heridas				N° total de heridas
	1	2	3	4	
Bueyes	67.0	38.0	0.0	19.0	124.0 <i>a</i>
Caballos	42.0	41.0	3.0	8.0	94.0 <i>a</i>
Total	109.0	79.0	3.0	27.0	218.0

Diferentes letras en una columna indica diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

La distribución de la severidad del daño dentro de las clases de copa se presenta en la Tabla 4. A lo largo de todas las clases, la mayoría de los árboles heridos presentaron rasgado de corteza sin o con exposición de cambium (severidad 1 y 2, respectivamente). En general, la severidad de daño no está relacionada con la clase de copa, a excepción que todos los árboles que presentaron desprendimiento

de madera (3) fueron de clase dominante.

TABLA 4. SEVERIDAD DE LAS HERIDAS POR CLASE DE COPA (EN PORCENTAJE).

Severidad del daño	Clase de copa				Todos los árboles
	Dom.	Codom.	Inter.	Sup.	
Ninguno	69.2	63.2	69.2	84.0	68.1
1	15.2	15.1	15.4	16.0	15.0
2	12.3	17.7	9.6	0.0	13.0
3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.6
4	2.1	4.0	5.8	0.0	3.3
Todas las severidades	30.8	36.8	30.8	16.0	31.9

Dom: Dominante; Codom: Codominante; Inter: Intermedio; Sup: Suprimido.

El número de heridas registradas en el tocón y fuste, de acuerdo a su severidad, se indican en las Tablas 5 y 6, respectivamente. La mayor superficie correspondió a rasgado de corteza sin exposición de cambium (1) y rasgado de corteza con exposición de cambium (2). En tanto que la menor fue desprendimiento de madera (3) y hundimiento (4).

El más alto número y superficie de heridas se encontró en el tocón. Sin embargo, el número de heridas promedio por árbol fue superior en el fuste.



**TABLA 5. SEVERIDAD MEDIA DE LAS HERIDAS PRESENTES EN EL TOCON DE LOS ARBOLES.**

Severidad del daño	Nº heridas	Largo (cm)	Ancho (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Nºheridas por árbol
1	44.0	5.7	3.0	703.1	1.3
2	57.0	7.6	3.8	1638.1	1.5
3	2.0	12.5	5.5	127.5	1.0
4	16.0	7.4	2.5	293.2	1.3
<b>Total</b>	<b>119.0</b>			<b>2761.9</b>	<b>1.4</b>

**TABLA 6. SEVERIDAD MEDIA DE LAS HERIDAS PRESENTES EN EL FUSTE DE LOS ARBOLES.**

Severidad del daño	Nº heridas	Largo (cm)	Ancho (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Nºheridas por árbol
1	65.0	4.7	0.9	242.2	2.7
2	22.0	12.7	3.6	1011.6	1.7
3	1.0	10.0	10.0	157.0	1.0
4	11.0	7.6	2.0	162.0	1.4
<b>Total</b>	<b>99.0</b>			<b>1572.8</b>	<b>2.2</b>

El daño a la copa de los árboles se presentó frecuentemente como una remoción de ramas en la parte inferior de ésta, siendo su origen las operaciones de volteo (Tabla 7). No se registraron árboles con daño en la parte superior de la copa.

**TABLA 7. PROPORCION DE ARBOLES DE ACUERDO A LA SEVERIDAD Y UBICACION DEL DAÑO EN LA COPA DEL ARBOL.**

Sección copa	Severidad del daño		Todos los árboles
	1	2	
Inferior	91.0	3.0	94.0
Media	6.0	0.0	6.0
Superior	0.0	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>97.0</b>	<b>3.0</b>	<b>100.0</b>

En general, el 88% de las heridas se presentaron en los primeros 60 cm sobre el nivel del suelo, en tanto que el resto no superaron los 70 cm. La mayor proporción de heridas en el fuste se ubicó entre 50-59 cm, mientras que la menor se ubicó entre 30-39 cm sobre el nivel del suelo (Tabla 8).

**TABLA 8. UBICACION DE LAS HERIDAS A LO LARGO DEL FUSTE (EN PORCENTAJE).**

Ubicación herida	Severidad del daño				Todas las heridas
	1	2	3	4	
Tocón	44.0	72.2	66.7	59.3	57.0
30-39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40-49	6.0	6.3	33.3	3.7	6.0
50-59	32.0	15.2	0.0	29.6	25.0
≥ 60	18.0	6.3	0.0	7.4	12.0

El daño ocasionado por los sistemas de madereo se concentró preferentemente en las clases diamétricas inferiores e intermedias. La clase diamétrica 18 cm registró el mayor porcentaje de daño, mientras que las clases diamétricas 6, 24, 30, 38 y 40 cm no registraron (Figura 1).

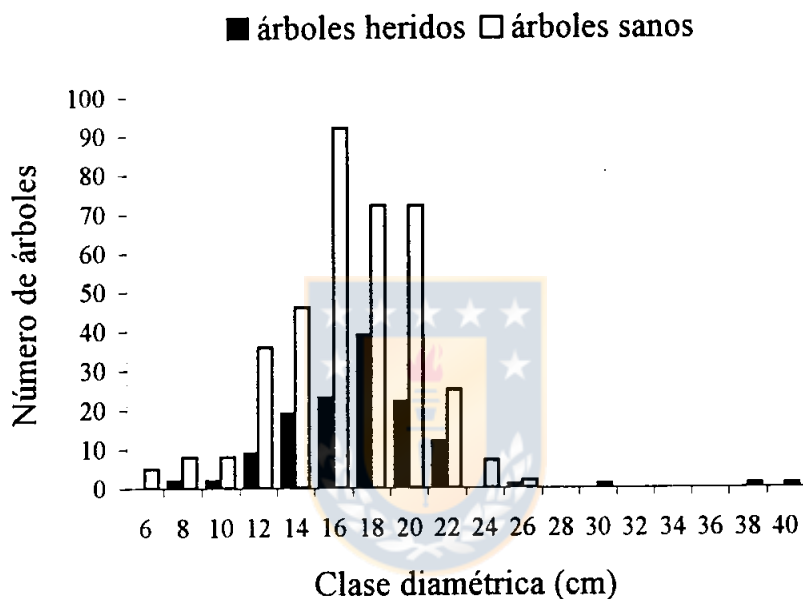


Figura 1. Número de árboles heridos y sanos por clase diamétrica.

La distancia de los árboles al borde de la vía de saca fue un factor que determinó la ocurrencia de daño (Figura 2). A una distancia de 0.5 m se registró la mayor proporción de árboles heridos por el sistema de madereo, mientras que a una distancia mayor a 7.5 m ésta no presentó árboles dañados.

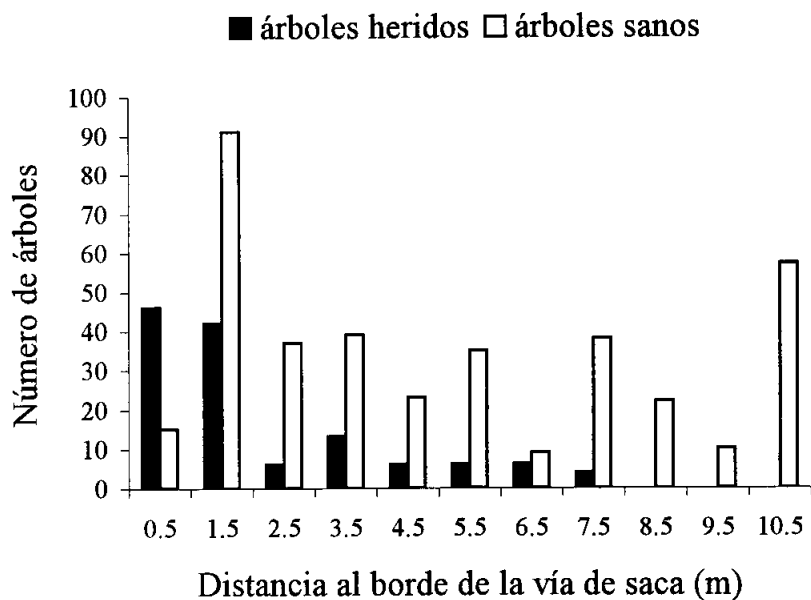


Figura 2. Número de árboles heridos y sanos respecto a la distancia a la vía de saca.



### 3.2. Densidad aparente.

El análisis de varianza realizado indica que no existen diferencias significativas entre las poblaciones de las vías de saca y el control, al nivel del 5% (Tabla 9).

El valor de densidad aparente más alto para la vía de saca se presentó a los 30.0 cm de profundidad, en tanto el menor fue a los 0.0 cm de profundidad (Figura 3).

TABLA 9. VALORES PRUEBA ANALISIS DE VARIANZA PARA DENSIDAD APARENTE.

Profundidad (cm)	F calculado
0	2.17
10	0.35
20	1.33
30	2.85
40	3.26
50	1.25
60	1.35
70	2.14

(\*:p≤0.05)

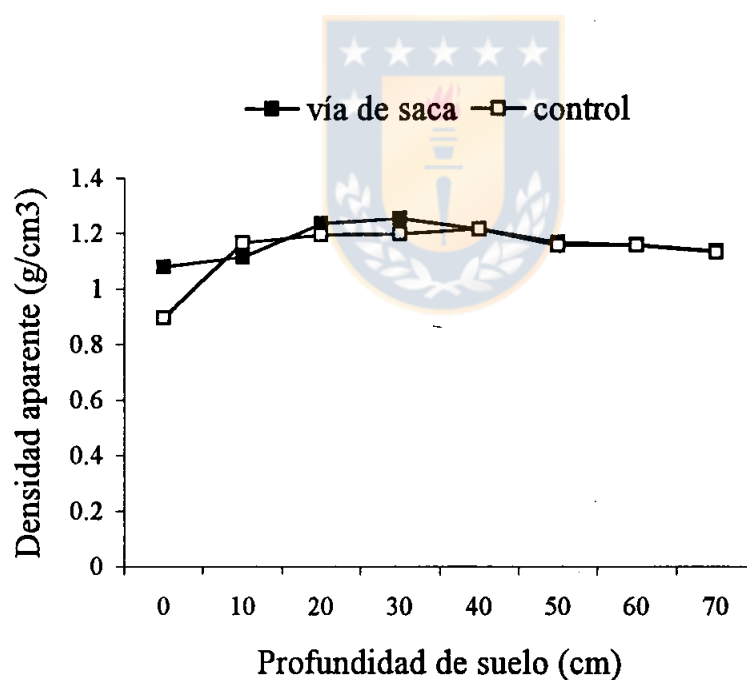


Figura 3. Densidad aparente para el perfil de suelo.

Los incrementos de la densidad aparente en la vía de saca, con respecto al control,

fueron de 20.49% en la superficie a un 0.5% a los 70.0 cm de profundidad.

### 3.3. Resistencia a la penetración.

El análisis de varianza se realizó en aquellos niveles de profundidad en los cuales existe normalidad y homogeneidad de varianza. Este indica que existen diferencias significativas entre las poblaciones de la vías de saca y el control hasta los 40.0 cm de profundidad (Tabla 10).

TABLA 10. VALORES PRUEBA DE ANALISIS DE VARIANZA PARA INDICE DE CONO.

Profundidad (cm)	F cal.
20	6.03*
30	31.95*
40	12.82*
50	3.21
60	0.20

(\*:p≤0.05)

En aquellos niveles de profundidad donde no se cumplió el supuesto de homogeneidad de varianza, se realizó prueba t-Student para docimar diferencias entre medias (Tabla 11).

TABLA 11. VALORES DIFERENCIA ENTRE MEDIAS, T-STUDENT, PARA INDICE DE CONO.

Profundidad (cm)	t cal.
0	4.04 *
10	1.00
70	2.49

(\*:  $p \leq 0.05$ )

Los valores de índice de cono en la vía de saca fueron mayores que los valores presentes en el control para todos los niveles de profundidad evaluados, registrándose mayores diferencias desde 0.0 a 40.0 cm de profundidad (Figura 4).

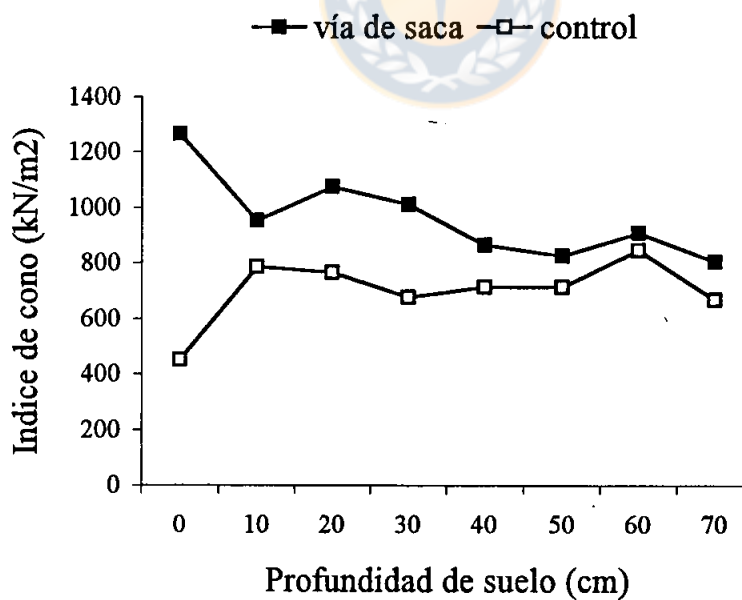


Figura 4. Índice de cono para el perfil de suelo.

El valor de índice de cono más alto, para la vía de saca, se presentó a los 0.0 cm de profundidad, mientras que el valor más bajo de esta variable, para la vía de saca, se presentó a los 70.0 cm de profundidad.

Los incrementos del índice de cono en la vía de saca, con respecto a los controles fue de 181.41% a 20.85%, para una profundidad de 0.0 y 70.0 cm, respectivamente.





## IV. DISCUSION.

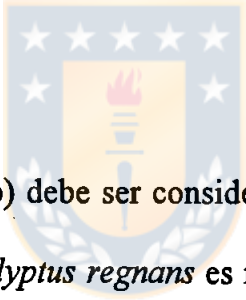
### 4.1. Daño en los árboles.

Aunque algún grado de destrucción puede ser esperado durante operaciones de raleo, los niveles de daño obtenido en este estudio son menores a los entregados por otros autores (Lamson *et al.*, 1984), debido principalmente a los sistemas de madereo utilizados y la poda realizada previo al raleo, que facilitó la ubicación de los árboles a extraer. Aho *et al.* (1983), citados por Smith *et al.* (1994) demostraron que la marcación previa de los árboles a quedar en pie reduce las heridas por cosecha porque los operarios son más aplicados en la localización de los árboles remanentes. Hedman (1986) concluye que el arrastre directo con caballos rara vez ocasiona graves daños a los árboles residuales, debido a que la estructura de amplios caminos de madereo son reducidos drásticamente.

Los sistemas de extracción no mostraron diferencias significativas en cuanto a la proporción de árboles dañados, sin embargo, el madereo con bueyes provocó mayor daño en comparación al madereo con caballos. Lo anterior es explicado primero por el menor ancho de las vías de saca utilizadas por el caballo, segundo

el menor radio de giro requerido para el arrastre de la carga y, además, en el madereo con bueyes se dificulta el tránsito de dos animales a la vez por la misma vía de saca haciendo difícil eludir los árboles.

Aunque la mayoría de las heridas presentes en el tocón y fuste correspondieron a rasgado de corteza con o sin exposición de cambium y un bajo porcentaje presentaron desprendimiento de madera, hay un nivel considerable de heridas que mostraron hundimiento, en que la corteza permanece en el tocón o fuste cubriendo la lesión.



Este tipo de herida (hundimiento) debe ser considerado, puesto que el desarrollo de volumen defectuoso en *Eucalyptus regnans* es más rápido en heridas cerradas que abiertas, porque la corteza que la cubre favorece la actividad microbiana lo que reduce la tasa de secado en la superficie de la herida (White y Kile, 1991).

Un porcentaje relativamente elevado de árboles (6,3%) presentaron algún grado de destrucción en la copa, principalmente en la parte inferior de ésta, siendo necesario una cuidadosa operación de volteo por parte del operario. Este resultado es superior al encontrado por Meadows (1993) durante operaciones de raleo en rodales de *Fraxinus pennsylvanica* y *Celtis laevigata* empleando volteo con

motosierra y madereo con skidder, quien determinó un 2% de los árboles con daño en la copa, explicado por el método de raleo aplicado, el cual consistió en extraer las clases de copa inferiores.

La distribución de las heridas a lo largo del árbol resultó en un 60% en el tocón, y prácticamente un 90% en los primeros 60 cm sobre el nivel del suelo (zona de mayor valor, si los árboles son cosechados para madera aserrada de alta calidad), siendo el origen de éstas el arrastre de las trozas.

Al respecto, Fröoding y Thörlind (1984) concluyen que árboles cercanos a la huella de madereo estarán más proclives a ser dañados y presentar una mayor severidad, principalmente, en el tocón o dentro de los primeros 50 cm sobre el nivel del suelo.

Las heridas ubicadas a más de 60 cm sobre el nivel del suelo representaron un bajo porcentaje, siendo la causa principal de éstas el cuerpo de los animales y el equipo de arrastre (cadenas). Nichols *et al* (1993) concluyen que la decoloración y pudrición puede desarrollarse más rápidamente en heridas localizadas en la parte alta del tronco que en la parte baja del mismo.

El diámetro no fue una variable relacionada con el porcentaje de daño por causa del madereo, debido a que fue distribuido en todas las clases diamétricas presentándose en mayor proporción en aquellas clases inferiores e intermedias. La similitud entre la proporción de fustes heridos dentro de las clases diamétricas es sustentada por el hecho que el diámetro no es una variable significativa en predecir la probabilidad de daño en un árbol individual (Nichols *et al.*, 1993)

La distancia de los árboles a la vía de saca fue un factor que determinó la proporción de daño. A medida que la distancia incrementó, el porcentaje disminuyó, ubicándose el 100% de los árboles heridos dentro de 7.5 m de la vía de madereo. Esta distancia puede ser explicada por el largo de los fustes, debido a que el sistema de aprovechamiento fue madera larga.

Ostrofsky *et al.* (1986), en operaciones de raleo en rodales mixtos de *Betula papyrifera* y *Betula alleghaniensis* utilizando volteo con motosierra y madereo con caballos (Radio-Horse®), reportaron que espaciamiento entre vías de saca de 20 m reduce la incidencia de daño en comparación con un espaciamiento de 40 m; segundo, la probabilidad de ser herido un árbol disminuye considerablemente por encima de los 5 a 6 m de la vía de madereo; y tercero, una designación previa de éstas reduce significativamente los niveles de daño sobre el rodal.

Analizando lo anterior, el primer resultado es explicado por la disminución del tránsito y área de influencia de los sistemas de madereo dentro del rodal al existir menor espaciamiento entre vías de saca. El segundo resultado indica cierta similitud con este estudio, sin embargo la probabilidad de ser dañado un fuste está influenciada por la interacción de factores tales como: método de raleo, intensidad de raleo, área basal del rodal, clase de copa, diámetro, distancia a la vía de madereo, sistema de madereo y de las operaciones de volteo. Por último, el tercer resultado indica que una cuidadosa planificación e implementación de las operaciones de volteo y extracción de la madera puede reducir los niveles de daño.



En cuanto a los niveles de daño que pueden ocasionar una pérdida de volumen aserrable al final de la rotación, White y Kile (1991), usando una relación lineal entre volumen defectuoso y tiempo de provocada la herida, determinaron alrededor de un 3.1 a 8.4% de pérdida en madera aserrada para *Eucalyptus regnans* al final de la rotación, considerando un 10 a 15% de daño durante el raleo, siempre y cuando el intervalo de tiempo entre la época en que se provocó la herida y la cosecha final fuese superior a 14 años.

Basado en los altos niveles de árboles residuales dañados obtenidos en este

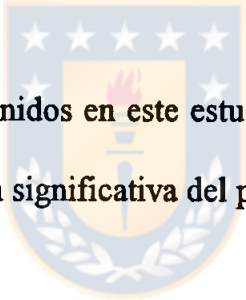
estudio y considerando los valores entregados por White y Kile (1991) como parámetros de comparación, se puede predecir una pérdida significativa de madera aserrada al final de la rotación.

#### 4.2. Densidad aparente.

Los valores de densidad aparente tanto en la vía de saca como en el control no registraron diferencias significativas en todo el perfil de suelo evaluado. Al respecto, Froehlich (1979) durante operaciones de raleo precomercial de *Pinus ponderosa* empleando sistema de extracción con bueyes, no encontró diferencias significativas en densidad aparente a los 7.6 y 15.2 cm de profundidad entre sectores con tráfico intenso y sectores sin tráfico del sistema de madereo.

Se puede distinguir en la vía de saca (Figura 3) que la máxima densidad aparente no se encuentra en la superficie, sino a una profundidad aproximada de 30 cm. Esto se explicaría por el efecto de tracción que ejerce la pisada del buey, como también el arrastre de la carga, provocando una ruptura del suelo en uno y otro sentido disminuyendo en alguna forma el efecto de compactación (Fuentes, 1993; Lineros, 1994).

Otra condición que explica lo anterior, es la relación que existe entre la expansión y contracción del suelo debido a las fluctuaciones cíclicas de temperatura y humedad, las que se presentan con mayor intensidad a nivel superficial del suelo. Akram y Kemper (1979), citados por Fuentes (1993) y Lineros (1994) determinaron que los ciclos de frío y calor, así como la humedad del suelo, provocan un aumento de su tasa de infiltración, producto de un cambio de su volumen provocado por una disgregación del suelo compactado haciendo disminuir la densidad aparente.



De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio el sistema de madereo con bueyes no provoca una alteración significativa del perfil de suelo (0.0 a 70.0 cm).

#### 4.3. Resistencia a la penetración.

La resistencia a la penetración, expresada por el índice de cono, varía de acuerdo al contenido de humedad, tipo de suelo y densidad aparente (Fuentes, 1993; Villa, 1995).

El índice de cono está altamente correlacionado con la densidad aparente bajo

ciertas circunstancias, específicamente cuando el contenido de humedad en el perfil de suelo es homogéneo.

Los altos valores de índice de cono obtenidos en los primeros centímetros de profundidad, no están determinados por la densidad aparente debido a que en los primeros centímetros de profundidad existe la menor densidad aparente del perfil de suelo, acompañado del mayor valor de índice de cono (Figura 5). Esto indica que existe otro factor que incide en el índice de cono, este es el contenido de humedad.

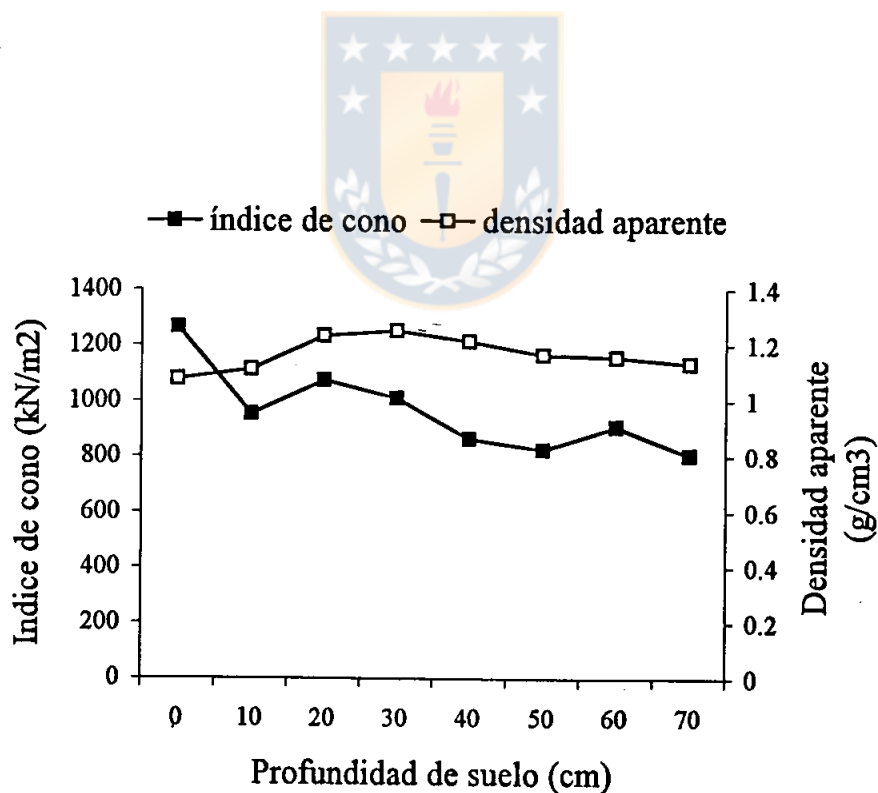


Figura 5. Índice de cono y densidad aparente para las vía de saca.



Como se muestra en la Figura 6 en los primeros centímetros de profundidad el contenido de humedad presenta su mínimo valor provocando un endurecimiento del suelo, generando los altos valores de índice de cono.

El bajo contenido de humedad existente en la superficie, por consolidación o evaporación, hace aumentar la cohesión del suelo, provocando una mayor resistencia al corte (separación de las partículas) lo que ocasiona una mayor resistencia a la penetración del cono en los primeros centímetros de profundidad (Terzaghi, 1952, citado por Fuentes, 1993).

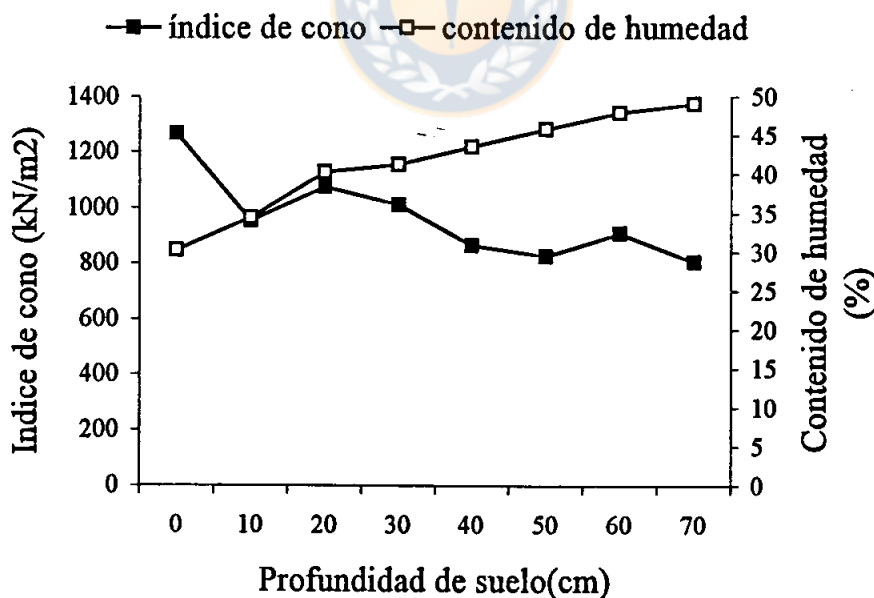


Figura 6. Índice de cono y contenido de humedad para las vía de saca.

Otro factor que explica los altos valores de índice de cono obtenidos a nivel superficial, fue debido a que las mediciones con penetrómetro se realizaron directamente en la huella dejada por la pisada del buey en tres de las cinco unidades muestrales seleccionadas en la vía de saca, para los 10 primeros centímetros de profundidad.

En suelo no alterado, el contenido de humedad a los 0.0 cm de profundidad registró su valor más alto, asociado a una baja densidad aparente e índice de cono. Sin embargo, al aumentar la profundidad el contenido de humedad disminuye haciéndose homogéneo y el índice de cono queda expresado en función de la densidad aparente, la cual incrementa gradualmente en profundidad.

En resumen, el efecto del sistema de madereo con bueyes provoca una significativa alteración de la resistencia a la penetración hasta una profundidad del suelo de 40.0 cm.

## V. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

1. El sistema tradicional de cosecha, provocó un daño significativo sobre el rodal residual, siendo los sistemas de madereo la causa principal con 25.6% en comparación a la operación de volteo con 6.3% de árboles dañados.
2. Los sistemas de madereo no entregaron diferencias significativas en cuanto a la proporción de árboles heridos, sin embargo el madereo con bueyes resultó en un mayor porcentaje de daño en comparación al madereo con caballos.
3. Las heridas se distribuyeron homogéneamente entre el tocón y el fuste, siendo las de mayor incidencia rasgado de corteza con o sin exposición de cambium. Por otra parte, el factor que determinó la ocurrencia de daño en los árboles fue la distancia de estos respecto a la vía de saca.
4. La densidad aparente en la vía de saca no fue afectada significativamente por el sistema de madereo con bueyes.

5. La densidad aparente en la vía de saca aumenta gradualmente hasta los 30.0 cm de profundidad para luego disminuir levemente, manteniéndose constante hasta los 70.0 cm de profundidad.
6. En la vía de saca la resistencia a la penetración decrece gradualmente a medida que aumenta en profundidad.
7. La resistencia a la penetración en la vía de saca es significativamente mayor que en el control hasta los 40.0 cm de profundidad. El incremento de esta variable es de 181.41%, a nivel superficial, a 21.38% a los 40.0 cm de profundidad.
8. Los sistemas de extracción animal provocan un daño significativo sobre los árboles, siendo necesario una correcta planificación e implementación de las actividades, tales como designación previa de las vías de madereo y cuidado por parte de los operarios. Sin embargo, el efecto de compactación de suelo no refleja un aumento significativo en densidad aparente pero si en resistencia a la penetración.

## VI. RESUMEN Y SUMMARY.

### RESUMEN.

Durante una operación de raleo en rodal de *Eucalyptus regnans* de 7 años de edad ubicado en la VIII Región -suelos derivados de sedimentos marinos- se evaluó el impacto que provoca el sistema tradicional de cosecha sobre los árboles y el grado de compactación que genera el sistema de madereo con bueyes. Para tal efecto, se trazaron corredores a cada costado de seis vías de saca seleccionadas determinando la extensión, tipo y severidad del daño presente en los árboles. En forma paralela, se seleccionaron dos vías de saca y se midió y analizó hasta una profundidad del suelo de 70.0 cm, densidad aparente y resistencia a la penetración.

Se concluyó que el madereo con bueyes y caballos fueron la fuente principal de daño en los árboles (25.6%) en comparación con la operación de volteo (6.3%). Las heridas presentes en los árboles se ubicaron dentro de los 60 cm sobre el nivel del suelo, siendo las más comunes rasgado de corteza sin exposición de cambium y rasgado de corteza con exposición de cambium. La distancia de los árboles a la

vía de saca fue el factor que determinó la presencia de daño a causa de los sistemas de madereo, encontrándose que a una distancia mayor a 7.5 m no se registraron árboles heridos.

El madereo con bueyes no provocó alteraciones significativas en densidad aparente a lo largo del perfil de suelo. Sin embargo, modificaciones significativas en resistencia a la penetración, índice de cono, fueron registradas hasta los 40.0 cm de profundidad del suelo, la cual incrementó de 181.41% en la superficie a un 20.85% a los 70.0 cm de profundidad con respecto a suelo no alterado.



#### SUMMARY.

During an operation of thinning in seven year *Eucalyptus regnans* stand been located in the eight Region -soil derived of silts marine- was evaluated the impact that produced the traditional system of harvester on the trees and the grade of compactation produced by the skidding system of oxes. For like effect, corridors to each side the six skidding path were traced of it take out selected determining the extension, type and severity of the present damage in the trees. In parallel form, two skidding path was measured and analized until a depth of the soil of 70.0 cm, apparent density and resistance to the penetration.

This study concludes that the skidding with oxes y horses were the pricipal cause of damage in the trees (25.6%)in comparison with the operation of turn (6.3%). The present injuries in the trees were been located ithin the 60 cm on the level of the soil, being the more common ripped of bark with o whitouth exposition of cambium. The distance of the trees of the path being the factor that determined the presence of damage because of the skidding system, meeting that they to a distance superior to 7.5 m didn't register trees damage.

The skidding with oxes did't produced significant alterations in apparent density in all profile of soil. However, significant alterations in resistance to the penetration, index of cone, was registered until 40.0 cm of depth of the soil, the one which incremented of 181.41% in the surface to 20.8% at 70.0 cm of depth with concerning the control.

## VII. BIBLIOGRAFIA.

FROEHLICH, H.A. 1979. Soil compactacion from logging equipment; effects on growth of young ponderosa pine. *Journal of Soil and Water Conservation* 34 (6): 276-279.

FRÖODING, A. AND THÖRLIND, M.V. 1984. Injuries (to stem and roots) after partially mechanized thinning. *Forestry Abstracts* 45 (11): 762.

FUENTES, A. 1993. Compactación de suelo por equipos mecanizados terrestres en la cosecha forestal. Memoria de Titulo. Universidad de Concepción, Fac. de Cs. Forestales. Depto. de Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Chillán, Chile.

HEDMAN, L. 1986. The horse in forestry. *Small Scale Forestry* 1: 13-17.

CARRASCO, P., Y MILLAN, J. 1990. Proyecto de suelos forestales de la VIII Región. Ministerio de Agricultura. Fondo de Investigación Agropecuaria. Chillán, Chile.



- LAMSON, N.Y., SMITH, H.C. AND MILLER, G.W. 1984. Residual stocking not seriously reduced by logging damage from thinning of West Virginia cherry-maple stands. *Forestry Abstracts* 46 (6): 371-372.
- LINEROS, M.A. 1994. Efectos de la cosecha mecanizada en la compactación de suelos forestales. Tesis de Postgrado. Univ. de Concepción. Fac. de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile.
- LOWERY, B. AND SCHULER, R.T. 1991. Temporal effects of subsoil compactacion on soil strength and plant growth. *Soil. Sci. Am. J.* 55: 216-223.
- MEADOWS, J.S. 1993. Logging damage to residual trees following partial cutting in a Green Ash-Sugarberry stand in the Mississippi Delta. In: Gillespie, A.R.; Parker, G.R.; Pope, P. E. y Rink, G. eds. *Proceedings of the 9th central hardwood forest conference; 1993 March 8-10; est Lafayette, IN.* Gen. Tech. Rep. NC-161. St. Paul, MN: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station: 248-260

NICHOLS, M.T., LEMIN, R.C. AND OSTROFSKY, W.D. 1993. The impact of two harvesting systems on residual stems in a partially cut stand of northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 24: 350-357.

OSTLE, B. 1968. *Estadística aplicada: técnicas de la estadística moderna y donde aplicarlas*. Editorial Limusa-Wiley, S.A. México.

OSTROFSKY, W.D., SEYMOUR, R.S. AND LEMIN, R.C. 1986. Damage to northern hardwoods from thinning using whole-tree harvesting technology. *Can. J. For. Res.* 16: 1238-1244.

SMITH, D. 1986. *The practice of silviculture*. 8th Edition. Wiley and Sons, New York.

SMITH, H.C., MILLER, G.W. AND SCHULER, T.M. 1994. Closure of logging wounds after 10 years. Res. Pap. EN-692. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 7p.

TORO, J., MUÑOZ, J.L. Y GARRIDO, J. 1992. Influencia de las faenas de cosecha forestal en la sobrevivencia y biomasa de *Pinus radiata*. pp 223-230.

En: *Pinus radiata*, investigación en Chile: silvicultura, manejo y tecnología.  
Editado por Olivares, B.; Meneses, M. y Paredes, G. Instituto de Manejo  
Forestal. Fac. de Cs. Forestales. Univ. Austral de Chile. Valdivia, Chile.

VILLA, P. 1995. Evaluación de la compactación de suelo causado con sistema de  
cosecha Harvester-Forwarder. Memoria de Título. Univ. de Concepción.  
Fac. de Cs. Forestales. Depto. de Silvicultura. Concepción, Chile.

WHITE, D.A. AND KILE, G.A. 1991. Thinning damage and defect in regrowth  
Eucalypts. pp 152-177. In: The young Eucalypts Report- some management  
options for Australia's regrowth forest. Kerruish, C.M.; Rawlins, W.H. eds.  
CSIRO Publications. East Melbourne, Australia.