

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE DAÑOS A LA MASA REMANENTE EN COSECHA DE
Eucalyptus grandis

por

Ernesto Arturo QUINTANA CABILLON
Michael Jonathan BARRIOS ALDERETE

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2014

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Gustavo Daniluk

.....

Ing. Agr. Guillermo Morás

.....

Ing. Agr. Mauro Cardozo

Fecha

26 de abril de 2014

Autor:

Ernesto Arturo Quintana Cabillon

Autor:

Michael Jonathan Barrios Alderete

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiéramos agradecer al director del trabajo, Ing. Agr. Gustavo Daniluk por su constante colaboración y participación tanto en el trabajo de campo como en la parte teórica.

También darle las gracias al Ing. Agr. Guillermo Morás por contribuir con los conocimientos necesarios para llevar a cabo el trabajo de campo, procesamiento de datos y corrección de la tesis.

A la empresa COFUSA por el interés demostrado en realizar este estudio, así como por el excelente trato brindado durante el trabajo de campo.

Agradecer al gerente de la empresa Ing. Agr. Andrés Gómez, y en especial al Ing. Agr. Mauro Cardozo por su incesante preocupación al momento de evacuar dudas, compromiso con el trabajo y calidad humana, que hoy hacen, en entre otras culidades, que ocupe el lugar de encargado de cosecha de la empresa.

Por último, darle las gracias al personal de la empresa contratista “Pinalook S.A”, por cooperar en las tareas de campo, brindando información y conocimientos fundamentales para poder realizar correctamente el trabajo.

a nuestras familias
y amigos...

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 OBJETIVOS GENERALES	2
1.1.1 <u>Objetivos específicos</u>	3
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 COSECHA FORESTAL	4
2.1.1 <u>Sistema de trozas cortas (Cut-to-length)</u>	4
2.1.2 <u>Raleo</u>	5
2.2 MAQUINARIA	6
2.2.1 <u>Feller Buncher</u>	6
2.2.2 <u>Harvester</u>	7
2.2.3 <u>Forwarder</u>	8
2.3 DAÑOS A LA MASA REMANENTE	9
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
3.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS	16
3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA BAJO ESTUDIO	16
3.2.1 <u>Ubicación del predio</u>	16
3.2.2 <u>Suelos</u>	17
3.2.3 <u>Descripción climática</u>	18
3.2.4 <u>Descripción del rodal</u>	19
3.3 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA	21
3.3.1 <u>Feller Buncher</u>	21
3.3.2 <u>Harvester</u>	22
3.3.2.1 Excavadora	23
3.3.2.2 Cabezal procezador	24
3.3.3 <u>Forwarder</u>	23
3.4 DESCRIPCIÓN DE OPERARIOS	25
3.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO	26
3.6 CLASIFICACIÓN DE DAÑOS	26

4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	29
4.1 <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	33
4.1.1 <u>Diseño experimental</u>	33
4.1.2 <u>Hipótesis del estudio</u>	33
4.1.3 <u>Hipótesis estadísticas</u>	33
4.2.4 <u>Criterio de decisión</u>	34
4.2.5 <u>Prueba de hipótesis (ANAVA)</u>	34
5. <u>CONCLUSIONES</u>	36
6. <u>RESUMEN</u>	38
7. <u>SUMMARY</u>	39
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	40
9. <u>ANEXOS</u>	44

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Resúmenes de intervenciones silvícolas hasta enero 2013	20
2. Características del Feller Buncher	21
3. Características del cabeza apeador	21
4. Características de la excavadora John Deere 200 D	23
5. Características del cabezal procesador	23
6. Características del Forwarder	24
7. Descripción, operario de Feller Buncher	25
8. Descripción, operario de Harvester	25
9. Descripción, operario de Forwarder	25
10. Número de árboles dañados en la masa remanente según máquina..	29
11. Análisis de varianza	34
12. Test de Tukey	35
Figura No.	
1. Feller Buncher de neumáticos con cabezal acoplado al chasis	7
2. Harvester de orugas	8
3. Forwarder	9
4. Anatomía de la madera	10
5. Foto aérea con parcelas delimitadas y suelos predominantes	17
6. Feller Buncher John Deere con cabezal 843 k con cabezal FD 22B...	22
7. Excavadora John Deere 200D con cabezal Waratah H 270	22
8. Forwarder John Deere 1710 eco III	24
9. Tipo de daño, intensidad 1	27
10. Tipo de daño, intensidad 2	28
11. Tipo de daño, intensidad 2	28
12. Tipo de daño, intensidad 3	28
13. Gráfico del total de árboles dañados/ha	29
14. Gráfico del daño producido por Feller Buncher	30
15. Gráfico del daño producido por Harvester	31
16. Gráfico del daño producido por Forwarder	31

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal uruguayo cuenta con un área total de 1.545.053 ha, siendo 247.499 ha pertenecientes a la especie *Eucalyptus grandis*, de las cuales el 18,7% de dicha especie se localiza en el departamento de Rivera según el último censo, año 2012 (URUGUAY. MGAP. DGF, 2013).

Según los objetivos de producción (SPF, 2013) las plantaciones se pueden clasificar en:

- Producción de fibra
- Producción de madera sólida
- Producción de energía

Dicha especie, es la predominante en el sector forestal uruguayo, incluso cuando el objetivo es la transformación mecánica de maderas, Mantero (2013). Se han desarrollado métodos de manejo forestal con rotaciones largas (20 años en *Eucalyptus* y 25 años en *Pinus*) que finalizan con densidades de 200 a 250 árboles/ha con madera totalmente libre de nudos (Pou, 2009).

Para lograr la producción de madera sólida, a partir de *E. grandis* se deben realizar diferentes intervenciones silvícolas, como podas y raleos. En reiteradas ocasiones, las intervenciones mencionadas anteriormente pueden generar un resultado negativo en cuanto al rendimiento y calidad del producto final, debido a la utilización de herramientas o maquinaria inadecuada y/o también a la falta de habilidad o experiencia de los operarios responsables de dichas intervenciones.

El estudio se realizó en el predio San Benito de la empresa COFUSA, situado en el Departamento de Rivera, empresa que tiene como principal cometido, el abastecimiento con madera “clear” al aserradero URUFOR S.A., el cual se abastece únicamente con madera proveniente de *E. grandis*.

Debido a la baja demanda del mercado interno, los productos de madera sólida se vuelcan en su mayoría al exterior, siendo los principales productos exportados: marcos laminados (producción de puertas y ventanas, vigas, paneles, lambriz o cielorraso, pisos y clavaderas) y tablas secas; siendo sus principales destinos E.E.U.U y Canadá.¹

¹ Cardozo, M. 2013. Com. personal.

Los suelos predominantes en la zona de estudio son considerados de prioridad forestal, siendo estos pertenecientes al grupo C.O.N.E.A.T 7 y en su totalidad abarcan una superficie aproximada de 38.700 ha, según datos de MGAP.PRENADER (2012).

El régimen isohigro de la zona está caracterizado por presentar precipitaciones uniformes en todo el año, presentando sus valores mínimos durante el invierno y sus valores máximos al inicio del otoño. Como promedio anual se presentan 1605,0 mm y se tiene 91 días al año en promedio con precipitaciones (INIA. GRAS, 2012).

Según Brussa (1994), la especie *Eucalyptus grandis* se localiza naturalmente en el este del continente australiano, con un promedio de temperaturas máximas de 24-30°C (sur) y 29-32°C (norte), mínimas de 3-8°C (sur) a 10-17°C (norte), con precipitaciones estivales con una media anual de 1000 a 3500 mm.

Esta especie se caracteriza por presentar una corteza lisa, caduca en fajas largas, suave, quebradiza, pálida, gris, parte inferior persistente y buen desrame natural.

La combinación de las condiciones edáficas sumadas al régimen hídrico y la mayor radiación incidente, hacen de la zona un lugar propicio para el crecimiento de la especie.

Dado el porte de las máquinas y características mencionadas anteriormente relacionadas a la consistencia de la corteza, es imprescindible al momento de la operación tomar los recaudos necesarios para reducir al mínimo el daño a los árboles remanentes y así también disminuir las pérdidas de rendimiento y calidad, causadas por el potencial ingreso de agentes patogénicos estimulados por heridas en el fuste y también daños mecánicos, los cuales alteran las propiedades intrínsecas de los árboles remanentes.

1.1 OBJETIVOS GENERALES

El presente trabajo, consiste en identificar y cuantificar el daño causado por el sistema Feller Buncher- Harvester- Forwarder y determinar el efecto de cada máquina en sus respectivas tareas, en un raleo comercial de *E. grandis* a los 9 años de edad.

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar si existen diferencias significativas en cuanto a la producción de daños a los árboles remanentes entre las distintas máquinas empleadas en las diferentes etapas del raleo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 COSECHA FORESTAL

Se denomina cosecha forestal al conjunto planificado de actividades relacionadas con la corta, procesamiento y extracción de trozas u otras partes aprovechables de los árboles, para su posterior transformación considerando sus efectos a corto, mediano y largo plazo sobre los recursos naturales (Daniluk, 2002).

La elección de un correcto sistema de cosecha varía de acuerdo a diversos factores, dentro de estos se encuentran, la topografía del terreno, el rendimiento volumétrico del rodal, el tipo de rodal y su densidad, los equipos y recursos disponibles.

Hoy día existe una gran diversidad de sistemas de cosecha de madera, cuya implementación depende de la disponibilidad de recursos tecnológicos, financieros y de la calidad del bosque (Minetti, citado por Colheita de Madera, 2005).

Según Malinovski, citado por Colheita de Madera (2005) los sistemas de cosecha pueden ser clasificados según el largo de las trozas y la forma de extracción de las mismas hacia el local de procesamiento. Siendo así, existen básicamente cinco sistemas de cosecha:

- Sistema de trozas Cortas (Cut-to- length)
- Sistema de trozas largas (tree-length)
- Sistema de árbol entero (full-tree)
- Sistema de astillado (Chipping)
- Sistema de arboles completos (Whole-tree)

Como se menciona en el capítulo anterior, en este estudio nos centraremos en el sistema de trozas cortas. En el mismo, el fuste es procesado dentro de la misma parcela y luego es transportado hacia la zona de depósito primario, en forma de trozas de como máximo 6 metros.

2.1.1 Sistema de trozas cortas (Cut-to-length)

Según Machado (s.f.), dicho sistema cuenta con ventajas y desventajas, entre las cuales se destacan:

Ventajas:

- La parte no comerciable (ramas y hojas) es dejada en el área, reduciendo así, el costo de transporte.

- Se reduce la exportación de nutrientes desde el bosque.
- Altamente eficiente cuando el volumen medio de los árboles es inferior a 0.5 m^3 , ya que, la manipulación de las trozas se ve facilitada, además de ser también eficiente en operaciones de raleo.

Desventajas:

- Generalmente no se utiliza este método en la producción de madera para aserrío, postes, piques, entre otros.
- El aprovechamiento del árbol puede variar según las circunstancias.
- Presenta un excesivo manejo al mismo volumen de madera.

2.1.2 Raleo

Shepard (1986) define al raleo como una corta realizada en un cultivo forestal o rodal inmaduro, de modo de acelerar en forma primaria el incremento en diámetro y mejorar la conformación media de los árboles remanentes mediante una adecuada selección. Los objetivos del raleo varían según las circunstancias locales, dependiendo de la naturaleza y tasa de crecimiento del cultivo, de la disponibilidad de mano de obra, de financiamiento y accesibilidad de mercados para los productos a cosechar.

Algunos de los objetivos principales del raleo son:

- Controlar la densidad y la tasa de crecimiento de los árboles remanentes de modo de satisfacer algún objetivo de mercado predeterminado.
- Retirar aquellos árboles de mala conformación que compiten con los individuos remanentes por luz, agua y nutrientes del suelo.
- Cosechar tanto como sea necesario los productos del sitio.
- Obtener un retorno financiero intermedio de la plantación, reduciendo así la deuda de capital en acumulación o bien, cuando no es posible la venta de productos del raleo, maximizar el valor de comercialización de la cosecha final.

2.2 MAQUINARIA

A continuación se define el tipo de maquinaria utilizada para llevar a cabo las operaciones de cosecha en el estudio realizado.

2.2.1 Feller Buncher

Un feller buncher es una máquina autopropulsada con un cabezal de corte que es capaz de sostener mas de un tronco a la vez. El cabezal de corte se utiliza exclusivamente para cortar, sostener y depositar el fuste en el suelo.

Según los diferentes modelos de Feller Buncher, se pueden diferenciar por el mecanismo de traslado y también por la posición del cabezal respecto a la máquina.

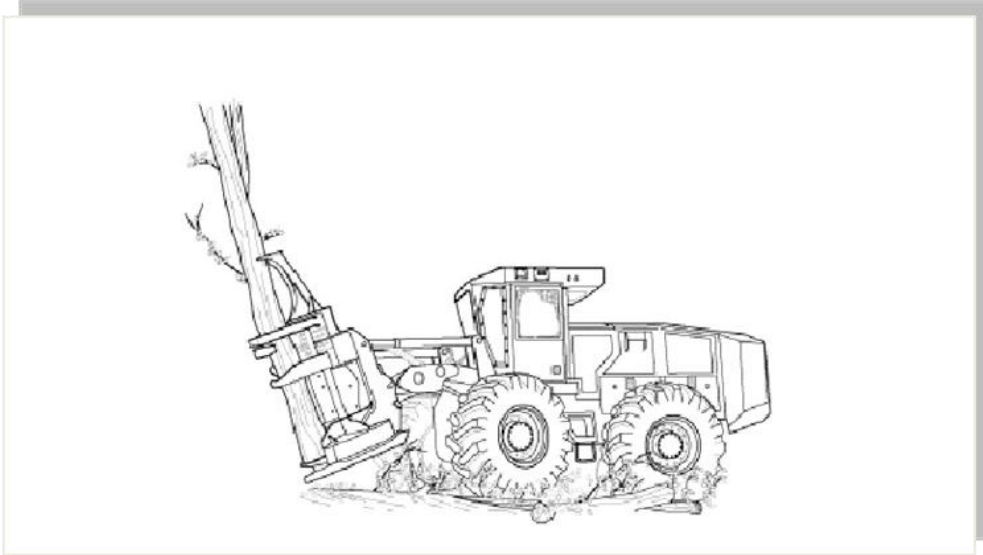
Referido al tipo de mecanismos de traslado, estos pueden ser de ruedas o de orugas, son capaces de impulsar sin inconvenientes este tipo de máquinas, las de orugas son más lentas pero con la ventaja de ser más estables en pendientes pronunciadas.

El cabezal de corte puede estar acoplado directamente al chasis, aquí la máquina se dirige hacia el árbol a ser talado, o poseer un brazo hidráulico independiente del chasis o en punta de grúa, donde este traslada el cabezal de corte hacia el árbol.

Estas máquinas pueden contar con cabinas autonivelantes (self-leveling capabilities) que se adaptan a las pendientes para así, realizar correctamente las operaciones de apeo.

El modelo de Feller empleado por la empresa contratista es de neumáticos y cuenta con un cabezal acoplado al chasis. En la siguiente figura se ilustra el F. Buncher citado anteriormente.

Figura No.1 Feller Buncher de nuemáticos, con cabezal acoplado al chasis.



Fuente: Forests and Rangelands (2013).

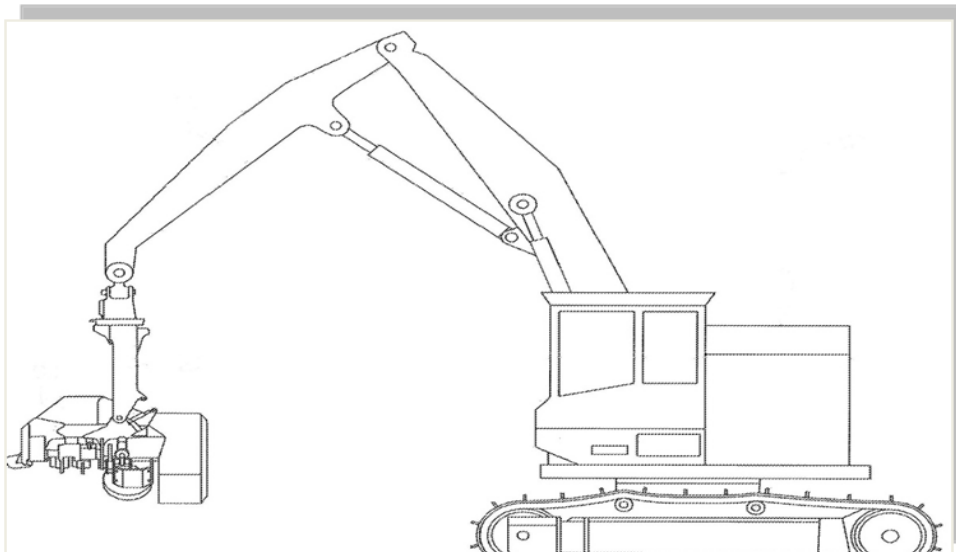
2.2.2 Harvester

El Harvester es una máquina autopropulsada (traccionada por ruedas u orugas), que posee un cabezal procesador con la habilidad de realizar no solo las tareas de apeo, sino además posee la capacidad de desramar, descortezar y trozar.

Las cosechadoras de ruedas poseen de 4 a 8 ruedas en un chasis articulado, pueden tener la cabina montada sobre el motor en la articulación trasera o delantera.

El brazo hidráulico puede estar montado sobre la cabina o acoplado al chasis. El brazo puede poseer un sistema telescópico capaz de extenderlo para optimizar así la tarea (Forests and Rangelands, 2013).

Figura No.2 Harvester de orugas



Fuente: Stut Patent (2007).

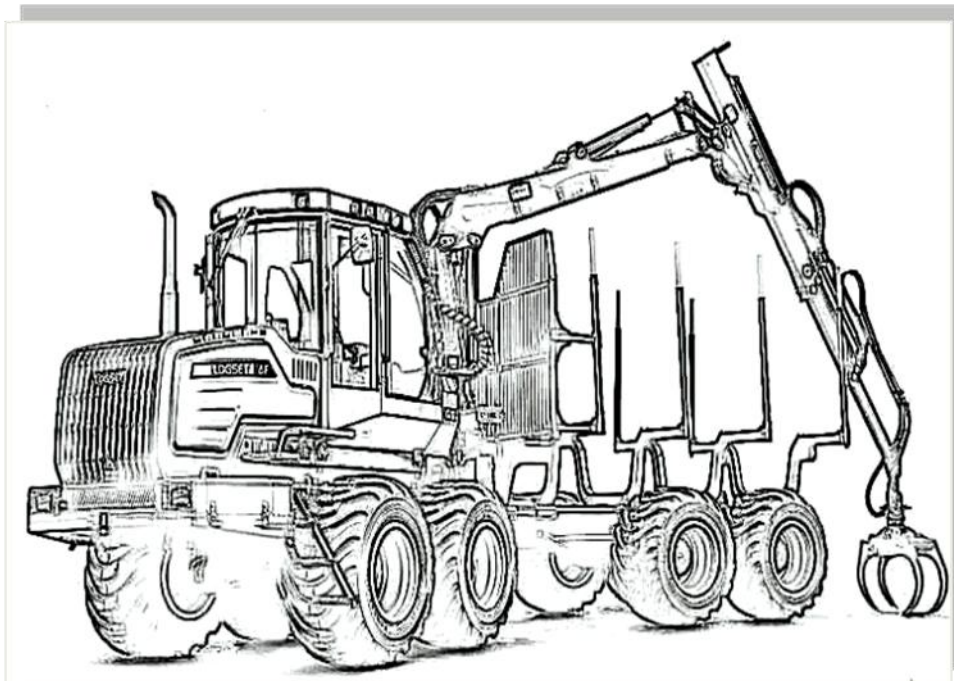
2.2.3 Forwarder

El Forwarder es un tractor forestal auto cargable, con tracción 4x4, 6x6 u 8x8, que adopta la función de transportar la madera luego de tumbada, desde el interior del rodal hasta el depósito primario. Equipados con chasis articulado, los Forwarders fueron creados en Canadá y mejorados en Escandinavia.

Estos equipos fueron desarrollados para operar en el sistema de trozas cortas (Cut-to-length) teniendo como función el transporte de la madera ya trozada, con un largo de troza de hasta 6 metros, hasta el depósito primario, donde será cargada y transportada hasta el depósito secundario.

Los forwarders se diferencian por distintas características, siendo las principales el motor, compartimiento de carga, alcance de la grúa, capacidad de la garra, transmisión y sistema hidráulico, a su vez estas características deben ser cuidadosamente seleccionadas según el tipo de árboles y bosques en el cual se irá a operar, evitando que el equipo sea utilizado en forma inadecuada (Malinovski Florestal, 2012).

Figura No.3 Forwarder



Fuente: CPFKB (2013).

2.3 DAÑOS A LA MASA REMANENTE

Los árboles dañados en la parte interna de la corteza (cambium), reaccionan en dicha zona formando áreas secas, bloqueo de vasos y barreras para la savia. Sin embargo, generalmente se necesita la remoción de la corteza para que aumente el riesgo de infección por hongos, lo que depende, además, del tamaño de la herida, estación climática del año, región geográfica y especie arbórea, según Wästerlund, citado por Manuel et al.(2003).

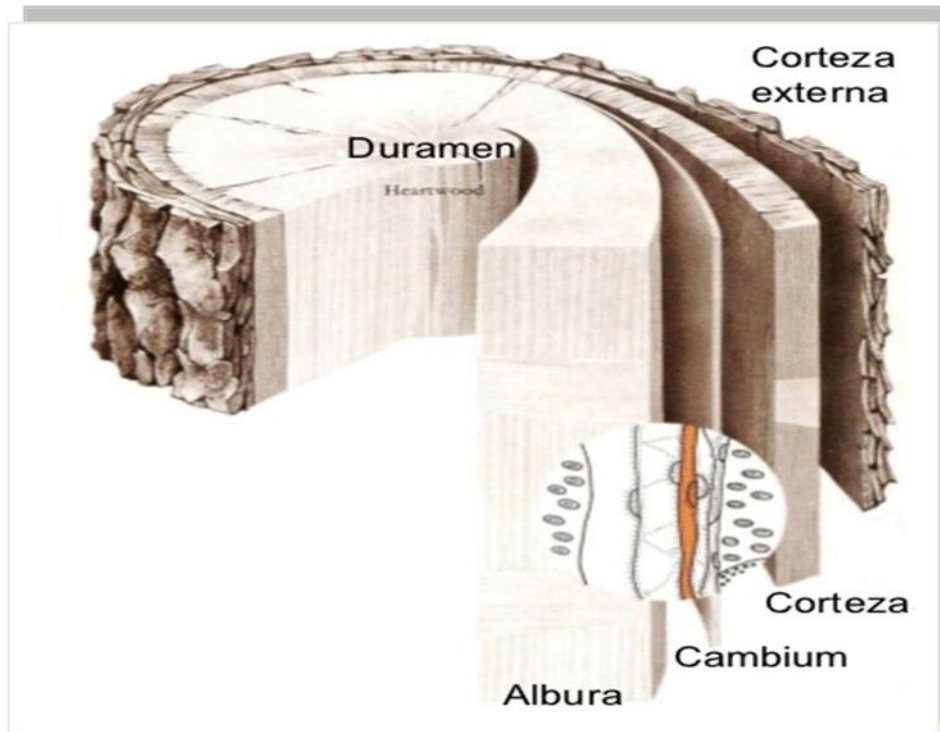
Según Meng, citado por Limbeck y Lilienau (2003) los daños de tamaño menores a 10 cm^2 son irrelevantes y en general no hay riesgo de infección por hongos destructores de madera; a su vez con un área de herida mayor a los 10 cm^2 , la descomposición aumenta en relación con el tamaño de la lesión.

Por otra parte, Butora y Schwager, citados por Limbeck y Lilienau (2003), afirman que en el caso de una lesión externa en la corteza, no se produciría una infección ocasionada por hongos, si la corteza se comprime dado un impacto, rara vez se produce una infección. Para que ocurra una infección, con posterior pudrición de la zona afectada, debería verse expuesta la madera.

Los daños que ocurren a nivel radicular y al suelo durante un raleo con equipos mecanizados pueden reducir la producción volumétrica total de un rodal hasta un 20% (de este porcentaje un 6% corresponde a las vías de saca), lográndose una recuperación no antes de los 10 años (Wästerlund, 1992).

Un árbol crece en grosor por la actividad de una sola capa de células llamada “Cambium”, esta produce “albura” o xilema en su interior y corteza o floema en su exterior. Como el cambium se encuentra en constante división, el xilema que se forma primeramente, se separa en forma progresiva desde el cambium, sufriendo cambios físicos y químicos para formar el “duramen” distintivo (Slideshare, 2011).

Figura No. 4 Anatomía de la madera



Fuente: Slideshare (2011).

En un estudio realizado en tres rodales de *Eucalyptus nitens* se evaluó el tiempo y rendimiento en tareas de releo, el mismo fue llevado a cabo en la región del Biobío (Chile).

Además se cuantificó el daño post raleo. Se determinó que el ciclo del raleo estaba compuesto por el apeo, desrame, trozado, descortezado, engavillado y madereo.

Para realizar la cuantificación del daño en los árboles residuales se hizo un muestreo al azar simple, compuesto de tres parcelas de 400 m², en las cuales se distinguieron dos tipos de daño, corteza y cambium, en ambos casos se midió el largo y ancho de la herida, cuando esta se localizó bajo los dos metros.

El máximo porcentaje de árboles dañados por hectárea, fue de 63,2%, del cual el 90% corresponde a daño de corteza y el 10% restante a cambium, con un área afectada principalmente entre 5-500 cm² y 6-50 cm² respectivamente. Estos altos porcentajes de daño pueden ser disminuidos estableciendo un nuevo sistema operacional, en el cual se debe extraer la madera desde el interior del bosque hasta una faja de madereo principal, por medio de bueyes, y solo en este sector utilizar un tractor agrícola, trineumatico o skidder (Quezada, 2008).

Hiesll y Benjamin (2013) en estudios realizados en Maine, evaluaron los daños a la masa residual luego de las operaciones de cosecha, en sistemas “whole-tree” y “cut-to-length”. La evaluación se realizó luego de la cosecha pero antes del arrastre o extracción de la madera, para no confundir el origen de los daños.

Los datos fueron recolectados a partir del análisis de siete sitios donde se aplicaba el sistema “whole tree” y tres sitios donde trabajaba con el sistema “cut to length”.

La densidad de población inicial vario de 1.000 árboles/há a más de 2.500 árboles/ha, con un área basal de 25 m² por hectárea y 54 m² por hectárea.

Los daños se clasificaron en tres categorías - bajo (raspado de corteza) , mediano (cambium roto, pero albura intacta) y alto (cambium y la albura roto).

Los resultados arrojados en este estudio, fueron que los daños a los árboles remanentes ocasionados por el Feller Buncher oscilaron entre 7 % y 25 % (medio y alto), mientras que el Harvester dañó del 19% al 40 % de los árboles residuales. El daño causado por ambas máquinas, es significativamente diferente, siendo el Harvester el responsable del mayor número de daños.

La pérdida de árboles por daño durante el proceso de raleo depende de varios factores, tales como: densidad y composición del sotobosque, estructura del rodal, intensidad de la corta, tamaño y maniobrabilidad del equipo utilizado, época de intervención, topografía del terreno y nivel de planificación, según Smith y White,

citados por Manuel et al. (2003). No obstante, la mayoría de los investigadores coinciden que con una selección adecuada del equipo de raleo, una planificación inteligente y una supervisión eficaz, los daños a los árboles remanentes se pueden reducir al mínimo (Aho et al. 1983, Smith 1986, Nova 1996).

Lineros et al.(1996), luego de realizar un estudio en Chile, sobre el daño a los árboles remanentes por sistema Harvester-Forwarder, en un raleo comercial de *Pinus radiata* D.Don de 16 años de edad, con una densidad de 300 árboles/ha, un área basal residual de 8.9 m²/ha, diámetros de 13.1 cm y altura media de 12 m.

Concluyeron que, el 12,3 % de los árboles presentaron algún tipo de daño, producto de las faenas de volteo y de madereo, siendo los árboles codominantes los más afectados.

El tipo de heridas de los árboles dañados se distribuyen homogéneamente entre la base y el fuste del árbol, siendo la intensidad más común el rasgado de corteza sin exposición de cambium.

No se observó ningún tipo de relación existente entre la incidencia del daño y la clase diamétrica de los árboles presentes en el rodal.

McNeel y Ballard (1992), en una plantación de *Pseudotsuga menziesii* en el Condado de Snohomish (Washington), donde ya se había realizado un raleo precomercial pasando de 1075 individuos a 850 por hectárea, se realizó un raleo comercial logrando una población de 360 árboles/ha, utilizando el sistema Harvester-Forwarder, donde se evaluó la cantidad de árboles dañados al final de la operación.

Los resultados exhibidos luego de eliminar aproximadamente el 43 % de la población al culminar el raleo comercial y muestrear un total de 409 árboles remanentes en el total de la superficie de la operación, fueron que se encontraron 19 casos donde los individuos se vieron dañados, correspondiendo esto a menos del 5 % de la población remanente.

En esta situación la mayoría de los daños se encontraban por encima de los 3 metros de altura, lo que indica que los daños se produjeron durante el trayecto del Forwarder ,debido a la inclinación del mismo hacia un lado al momento de trasladarse por las laderas.

Siren (2001), realizó un estudio similar en Finlandia, sobre un raleo comercial de *Picea abies* (Abeto rojo) . Se evaluaron los daños a los árboles remanentes resultado del contacto entre estos y el Harvester encargado de la operación. En promedio el 19.3%

(14.5 - 25.4%) de los árboles procesados se vieron involucrados en contactos con los árboles que quedaban en pie.

Del total de árboles en pie golpeados, el 28.2% presentaron daños. De los árboles golpeados se midieron el diámetro a la altura del pecho, el tipo y extensión de los posibles daños, distancia entre el daño y el cuello de la raíz y la distancia entre el árbol y la vía de saca.

Se clasificó como daño superficial, cuando solamente se vio removida la corteza, mientras que cuando se vieron dañadas las fibras de la madera se considero daño profundo.

Los contactos con los árboles en pie fueron explicados principalmente por las distintas habilidades de los operadores de las máquinas (se evaluaron 4 operadores distintos en un mismo Harvester), el volumen de los árboles procesados y el número de árboles en la zona de trabajo.

Se evaluaron los daños a los árboles remanentes resultado del contacto entre estos y el Harvester marca Valmet, modelo 901, equipado con un cabezal Valmet 942.

La densidad inicial promedio era de 1169 árboles/ha, que pasó a ser luego del raleo 634 arboles/ha. El tamaño promedio de los individuos extraídos era de 0.13 m^3 y se retiraron del rodal $73.9 \text{ m}^3/\text{ha}$ aproximadamente.

Se evaluaron 4 operadores distintos en un mismo Harvester, los contactos con los árboles remanentes fueron explicados principalmente por las distintas habilidades de los operadores de las máquinas, el volumen de los árboles procesados y el número de árboles en la zona de trabajo.

En promedio el 19.3% (14.5 - 25.4%) de los árboles procesados se vieron involucrados en contactos con los árboles que quedaban en pie. Del total de árboles en pie golpeados, el 28.2% presentaron daños.

De los árboles golpeados se midieron el diámetro a la altura del pecho, el tipo y extensión de los posibles daños, distancia entre el daño y el cuello de la raíz y la distancia entre el árbol y la vía de saca.

Se clasificó como daño superficial, cuando solamente se vio removida la corteza, mientras que cuando se vieron dañadas las fibras de la madera se considero daño profundo.

En este caso el Harvester trabajo desde la vía de saca, realizando el procesamiento desde ahí, la distancia entre las distintas vías de saca era de 20 m y el largo de las trozas de pulpa eran de 5 m.

De todo el daño, el 92,4% fue al fuste y el 7,6% fue al cuello de la raíz. La superficie media de los daños fue de 54 cm², con un daño superficial promedio de 49 cm² y daño profundo 81 cm². La mayoría de los contactos se ubicaron en promedio a los 4.50 m desde el cuello de la raíz.

La mayoría de los contactos (68%) y daños (65%) ocurrieron en la etapa de tumbado y fueron causados por los árboles a medida que eran derrumbados. El desrame y movimiento de los fustes, son otras de las etapas donde el contacto con los árboles remanentes son altamente probables.

Han y Kellogg (s.f.) afirman que, las actividades de raleo producen un daño en la masa residual que puede afectar adversamente el crecimiento de la madera y su valor.

Para comprobarlo, se realizó un estudio en Young Douglas, Estados Unidos, donde fueron evaluados diferentes sistemas de cosecha en Abeto (*Pseudotsuga menziesii*), siendo uno de estos, el sistema de trozas cortas (Cut-to-length). Para ambos, la principal preocupación es cómo un tamaño crítico afecta la salud del árbol y ocasiona la pérdida de valor en la cosecha final.

Los problemas potenciales pueden ser identificados y resueltos, esto se logra con una planificación adecuada en cuanto al diseño de raleo, basados en un grado de experiencia que permita maximizar esfuerzos para disminuir los daños a la masa remanente.

Recomendaciones para minimizar daños en árboles remanentes durante el raleo:

- ✓ Designar correctamente los caminos de saca.
- ✓ Trazar caminos rectos o con lo mínimo de curvas posible.
- ✓ Dejar la cepa lo mas contra el suelo para evitar que el las máquinas puedan perder el equilibrio dañando a los árboles remanentes.
- ✓ Planificar de forma adecuada el diseño de acopio para evitar así impactos en las descargas.

Muñoz (s.f.) evaluó mediante un estudio, el daño a los árboles remanentes de *Pinus* generados por un sistema convencional (motosierra y skidder) y un sistema

mecanizado en una raleo comercial. El sistema mecanizado estuvo caracterizado por un Harvester para el volteo, desrame y trozado y un forwarder para el madereo de las trozas.

En ambos sistemas de cosecha se determinó que cerca del 80% de los árboles dañados fueron afectados en el fuste, siendo los árboles menores a 16 cm de DAP los que presentaron una mayor frecuencia de daño. Además, se encontró que a medida que aumenta el grado de severidad también lo hace la superficie de daño y el volumen de la sección dañada del fuste.

Bobik (2008), estudiando el número de árboles remanentes dañados en operaciones de raleo en el norte de Suecia, concluyó que en promedio 5,8 árboles de cada 100 resultaron dañados. El mismo, consideró daño a toda aquella lesión mayor o igual a 15 cm² de superficie, no diferenciando entre daño a la corteza o a la madera.

En rodales de *Pinus sylvestris*, *Pinus contorta* y *Picea abies*, el número promedio de árboles dañados fue de fue 4,9 %, 11,1 % y 4,5 %, respectivamente. Mientras que el nivel medio de daños en bosques mixtos fue de 5,1 %.

Según Bäcké, citado por Bobik (2008), la Agencia Sueca Forestal, recomienda un valor máximo de árboles dañados luego de las operaciones de raleo, no mayor al 5%.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el mes de setiembre de 2013, en el predio “San Benito”, propiedad de la empresa COFUSA.

A la fecha, se estaban realizando tareas de raleo por parte de la empresa contratista “Pinalook S.A”.

El estudio consistió en realizar el seguimiento y observación de cada una de las máquinas involucradas en las diferentes actividades, verificando la ocurrencia o no de daños a los árboles remanentes, los cuales serán clasificados mas adelante.

Se realizaron también medidas de variables cuantitativas de los árboles afectados, como DAP (Diámetro a la altura del pecho) y altura total del árbol.

3.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

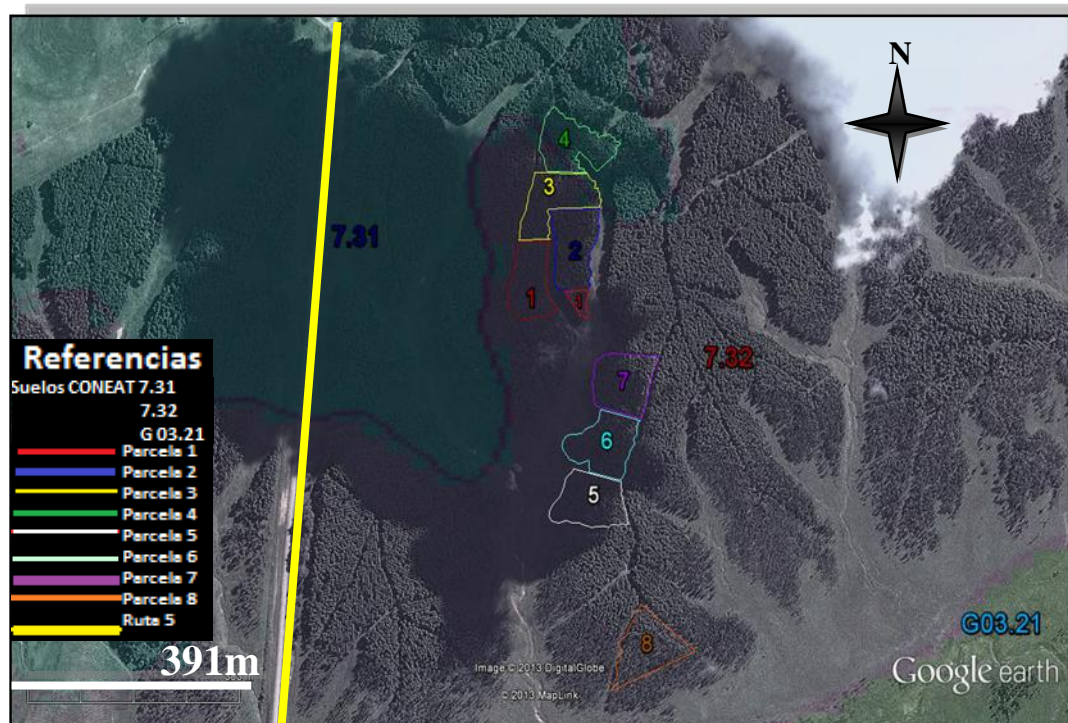
- GPS
- Clinómetro de Suunto
- Cinta diamétrica
- Aerosoles
- Máquina fotográfica
- Planillas de campo
- Notebook

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA BAJO ESTUDIO

3.2.1 Ubicación del predio

El predio se ubica en el Departamento de Rivera, pertenece a la sección judicial número 3 y el acceso al mismo se encuentra en el km 457 de la ruta nacional número 5, a 43 km de la capital departamental.

Figura No. 5 Foto aérea con parcelas delimitadas y suelos predominantes



Fuente: Google Earth (2013).

3.2.2 Suelos

Los suelos predominantes pertenecientes al área donde se ubican los rodales bajo estudio, son en su mayoría del Grupo CONEAT 7.

CONEAT 7.32

Estos suelos ocupan extensas zonas en los alrededores de la ciudad de Tacuarembó, entre los arroyos Tranqueras y Batoví. El material geológico esta constituido por areniscas de Tacuarembó, de color rosado o areniscas retransportadas apoyadas sobre la formación Tacuarembó.

El relieve esta formado por colinas sedimentarias no rocosas con pendientes entre 6-10%. Los suelos dominantes son Luvisoles Oricos/Melanicos Abrúpticos Típicos (Praderas Arenosas gris amarillentas) muy profundos de color pardo amarillento oscuro, textura arenoso franca, bien drenados y fertilidad muy baja; y Acrisoles Oricos/Abrúpticos (Praderas Arenosas) de color pardo amarillento oscuro, textura arenoso franca, bien drenados y fertilidad extremadamente baja.

La vegetación es de pradera estival, existiendo en algunas zonas pasturas finas que permiten realizar invernadas. Si bien su uso es pastoril puede realizarse agricultura de verano con medidas intensas de conservación. Integra la unidad Tacuarembó de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F).

CONEAT 7.31

Se localiza en los alrededores de la ciudad de Rivera, sobre las rutas 5, 27 y 30, hasta Tranqueras. El material geológico lo forman areniscas rojas, poco litificadas, apoyadas sobre areniscas de Tacuarembó. El relieve esta constituido por colinas sedimentarias no rocosas, con pendientes de 6 - 10%. Los suelos dominantes son Acrisoles Ocricos Típicos (Praderas Arenosas rojas) muy profundos, de color pardo rojizo, textura arenoso franca, bien drenados y fertilidad extremadamente baja. Asociados, aparecen Acrisoles Ocricos Albicos muy profundos de color pardo oscuro, textura franco arenosa, bien drenados y fertilidad extremadamente baja. La vegetación es la normal de la zona; se puede hacer agricultura con medidas muy intensas de conservación, largas rotaciones con praderas y cuidando la toxicidad de aluminio.

Actualmente se hacen cultivos especiales (tabaco y sandia) y de verano (maíz). Asimismo hay excelentes montes de eucalyptus. Este grupo integra la unidad Rivera de la carta a escala 1: 1.000.000.(D.S.F).

3.2.3 Descripción climática

Como material base para la caracterización climática de la zona se tuvo en cuenta los datos para la ciudad de Rivera expuestos en la Caracterización Agroclimática del Uruguay durante el periodo 1980 – 2009, trabajo realizado por INIA, teniendo como fuente sus datos en conjunto con los de la MDN. DNM (la estación meteorológica situada en la ciudad de Rivera).

La amplitud de este periodo es suficiente para demostrar la gran variabilidad que presentan las características climáticas.

La región se caracteriza por sus altas temperaturas en verano, presentando como temperatura mínima media mensual 20 °C y una máxima media mensual de 30 °C aproximadamente.

Se presentan como temperatura media mínima temperaturas por debajo de los 10°C, mientras que como temperaturas medias máximas en invierno se dan temperaturas entre 15 y 20 °C.

De lo expuesto recientemente, se observa la gran amplitud térmica que se dan entre los meses mas cálidos y fríos, diferencia necesaria para el desarrollo y crecimiento de algunas especies.

El régimen hídrico de la zona, se caracteriza por ser isohigro, es decir presenta precipitaciones uniformes durante todo el año, con algunas oscilaciones, presentando sus valores mínimos durante el invierno y sus valores máximos al inicio del otoño. Como promedio anual se presentan 1605 mm y se tiene 91 días al año en promedio con precipitaciones.

Como conclusión de la información climática, se marcan diferencias favorables para la producción forestal en la región en cuestión, ya que presentan mayores precipitaciones y una mayor radiación solar incidente con respecto a la zona sur del país. Sin embargo, se pueden presentar algunos problemas en la introducción de especies susceptibles a las heladas, dado el menor periodo libre de heladas y a un mayor número de días con heladas.

3.2.4 Descripción del rodal

El rodal en cuestión es coetáneo y de origen fustal, está compuesto en su totalidad por *Eucalyptus grandis*, la plantación se realizó en el año 2006 con plantines en su mayoría de origen clonal.

Con un marco de plantación de 3,50 x 3,30 m, se estableció una densidad inicial de 810 plantas / ha (95 % de prendimiento)

En el siguiente cuadro, se resumen las intervenciones silvícolas realizadas hasta enero 2013.

Cuadro No. 1 Resumen de intervenciones silvícolas hasta enero 2013

Predio	Tipo de manejo	Mes de poda	Año de poda
San Benito	Baja 2.3 m + raleo no comercial	julio a setiembre	2008
	Media 4.5 m	noviembre 2008 a abril 2009	2009
	Media Alta 6.5 m	mayo a julio	2009
		julio a agosto	2010
	Alta 8.5 m	febrero a setiembre	2010
	Muy Alta 10.5 m	octubre	2010
		junio julio	2012
Brotos epicórnicos	enero	2013	

Fuente: Cardozo¹.

Según datos aportados por COFUSA, mediciones realizadas en mayo del 2011, arrojaron valores de DAP (diámetro a la altura del pecho) y altura total promedio de los árboles de 19,8 y 19,1 metros respectivamente, logrando un volumen aproximado de 100 m³/ha.

Al momento del estudio (setiembre 2013) se realizaban tareas de raleo comercial, donde a partir de una población inicial de 400 árboles/ha, se logró una densidad final de 200 árboles/ha.

A nivel comercial, el objetivo principal del mencionado raleo, es abastecer de madera pupable a la planta de UPM, donde en promedio a partir de cada árbol se obtienen 2 trozas de 7,20 m de largo.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA

3.3.1 Feller Buncher

Cuadro No.2 Características del Feller Buncher

Marca/Modelo:	John Deere 843 k
Horas de uso	7000 hs
Dimensiones	Distancia entre ejes:2794 mm
	Ancho sobre neumáticos:2913 mm
	Longitud total: 7405 mm
	Altura máxima:3246 mm
	Distancia al suelo: 484 mm
Cabezal	FD 22 B

Fuente: John Deere (2013a).

Cuadro No.3 Características del cabezal apeador

	FD 22B
Capacidad máxima de corte	559 mm
Capacidad máxima de acumulación	0,48 m ²
Apertura	1290 mm
Diámetro del disco	1422 mm
Número de dientes	18
Ancho el disco	1618 mm
Altura	3068 mm

Fuente: John Deere (2013b).

Figura No.6 Feller Buncher John Deere 843 k con cabezal FD 22B



Fuente: foto tomada por Ernesto Quintana en el lugar de estudio.

3.3.2 Harvester

Figura No.7 Excavadora John Deere 200D con cabezal Waratah H 27



Fuente: foto tomada por Ernesto Quintana en el lugar de estudio

La máquina encargada del procesamiento del árbol cosechado (desramado, descortezado, trozado y apilado), denominada Harvester, estaba compuesta por un cabezal Waratah H270 adaptado a una excavadora John Deere 200 D.

3.3.2.1 Excavadora

Cuadro No.4 Características de la excavadora John Deere 200 D

Marca/Modelo	John Deere 200 D
Horas de uso	5000
Dimensiones	Longitud total:9,6m
	Altura total:3,18m
	Longitud del extremo trasero/radio de giro:2,75m
	Longitud del tren de rodaje:4,17m
	Ancho de estructura superior:2,71m
	Altura de la cabina:2,95m
	Ancho total con zapatas triple se semigarra:3,09m

Fuente: John Deere (2013c).

3.3.2.2 Cabezal procesador

Cuadro No.5 Características del cabezal procesador

Marca/Modelo	Waratah H 270
Capacidad de corte	650 mm
Diámetro de procesamiento	460 mm
Peso	1310 kg
Largo con cabezal abierto	660 mm
Largo con cabezal cerrado	1075 mm
Altura sin rotator	560 mm

Fuente: Roman Soluciones Forestales (2013).

3.3.3 Forwarder

Cuadro No.6 Características del Forwarder.

Marca/Modelo	John Deere 1710 eco III
Horas de uso	9000
Dimensiones	Largo: 10,85 m
	Ancho:3,19m
	Altura:3,9m
	Distancia al suelo:0,73m
	Distancia entre ejes:5,9m
	Ancho de carga:2,95m
	Largo de carga:5,56m
Largo de brazo:8,5m	
Peso operativo	18,500-19,500 kg

Fuente: John Deere (2013d).

Figura No.8 Forwarder John Deere 1710 eco III



Fuente: foto tomada por Ernesto Quintana en el lugar de estudio

3.3 DESCRIPCIÓN DE OPERARIOS

A continuación se presentan algunas de las principales características de los operarios que influyen al momento de desempeñar actividades de cosecha.

Cuadro No.7 Descripción, operario de Feller Buncher

Operario	A
Edad	31
Experiencia previa	Más de 10 años operando maquinaria forestal (Grapo, Harvester, Forwarder)
Experiencia en la tarea actual	7 meses
Capacitación profesional (si/no)	No
Tipo de capacitación	Capacitación por compañeros + curso de seguridad laboral

Cuadro No.8 Descripción, operario de Harvester

Operario	B
Edad	34
Experiencia previa:	9 años operando grapo forestal, chofer de camiones
Experiencia en la tarea actual	5 años
Capacitación profesional (si/no)	No
Tipo de capacitación:	Capacitación por compañeros

Cuadro No.9 Descripción, operario de Forwarder

Operario	C
Edad:	33
Experiencia previa:	7 años operando grapo forestal
Experiencia en la tarea actual:	2,5 años
Capacitación (si/no):	No
Tipo de capacitación:	Capacitación por compañeros

3.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En primer lugar, gracias a la ayuda de un mapa del predio proporcionado por la empresa COFUSA y la utilización de la herramienta de medición, GPS, se procede a delimitar las parcelas donde se realizan las mediciones pertinentes (altura, DAP, tipo de daño).

Para facilitar la tarea y tratándose de un monte homogéneo, se opta por un tamaño de parcela de 10.000 m² (1ha), con un total de 8 parcelas de evaluación.

Posteriormente a la marcación de parcelas, se evalúa el daño ocasionado por la máquina (Feller Buncher) tras culminar su labor, identificando los árboles dañados con aerosoles de diferentes colores, para así, clasificar por tipo de daño y máquina que lo ocasionó.

A continuación se efectúa la medición de variables cuantitativas (DAP, altura) y cualitativas (tipo de daño) de los árboles remanentes, luego se ingresaran las coordenadas correspondientes a cada ejemplar (GPS).

Estos datos son registrados en una planilla de campo, correspondientes al árbol dañado en cuestión. (ver planilla de campo, anexos)

Cabe destacar que, luego de realizada la marcación, medición de variables y daños ocasionados por el Feller Buncher en cada parcela, se lleva a cabo idéntico procedimiento para las máquinas Harvester y Forwarder

3.6 CLASIFICACIÓN DE DAÑOS

La clasificación propuesta responde a los objetivos de la empresa COFUSA, la cual prioriza la obtención de “madera clear” (libre de nudos) con destino aserrable.

Para cumplir con su cometido, la misma cuenta con un plan de manejos silvícolas que implican raleos y podas hasta 10,5 m de altura, estas últimas determinan la longitud y calidad de trozas aserrables, obteniendo dos trozas de 5.20 m a turno final.

Además de la altura, otra variable a considerar es la intensidad del daño, teniendo en cuenta su repercusión al momento del aserrado.

Para determinar la altura e intensidad de daños a los árboles remanentes se utilizó la siguiente clasificación:

Daños según:

- ▶ Altura 0-10 m
 >10 m

- ▶ Intensidad 1 - Raspado de corteza sin afectar el cambium
 2 - Afecta el cambium sin desprendimiento de madera
 3 - Afecta el cambium con desprendimiento de madera

A continuación, se exponen fotografías tomadas durante el estudio por los autores del mismo, como forma de ejemplarizar los distintos daños según intensidad.

Figura No.9 Tipo de daño, intensidad 1



Fuente: foto tomada por Ernesto Quintana en el lugar de estudio.

Figura No.10-11 Tipo de daño, intensidad 2



Fuente: foto tomada por Ernesto Quintana en el lugar de estudio.

Figura No.12 Tipo de daño, intensidad 3



Fuente: foto tomada por Ernesto Quintana en el lugar de estudio.

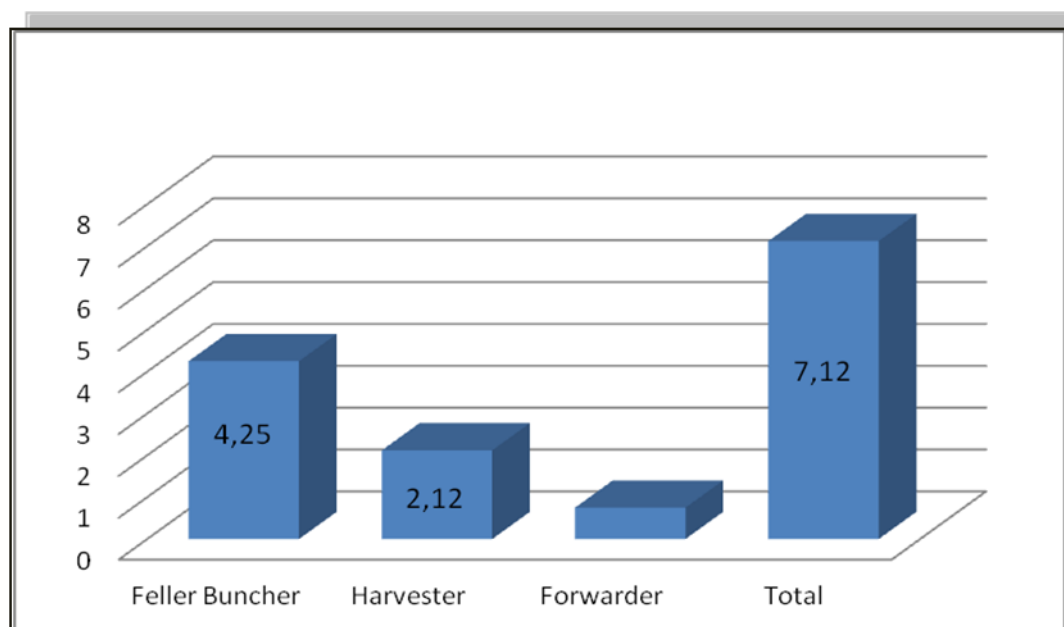
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos luego de realizado el seguimiento y evaluación de los daños a la masa remanente, fueron llevados a cabo en un lapso de 5 días, 10 horas de trabajo diarias, abarcando un total de 8 hectáreas.

Cuadro No.10 Número de árboles dañados en la masa remanente según máquina.

Máquina	Daño 1	Daño 2	Daño 3	Total de árboles afectados	Total de árboles afectados/ha
Feller Buncher	24	6	4	34	4,25
Harvester	16	1	0	17	2,12
Forwarder	5	0	1	6	0,75
Total	45	7	5	57	7,12

Figura No.13 Gráfico del total de árboles dañados por hectárea.

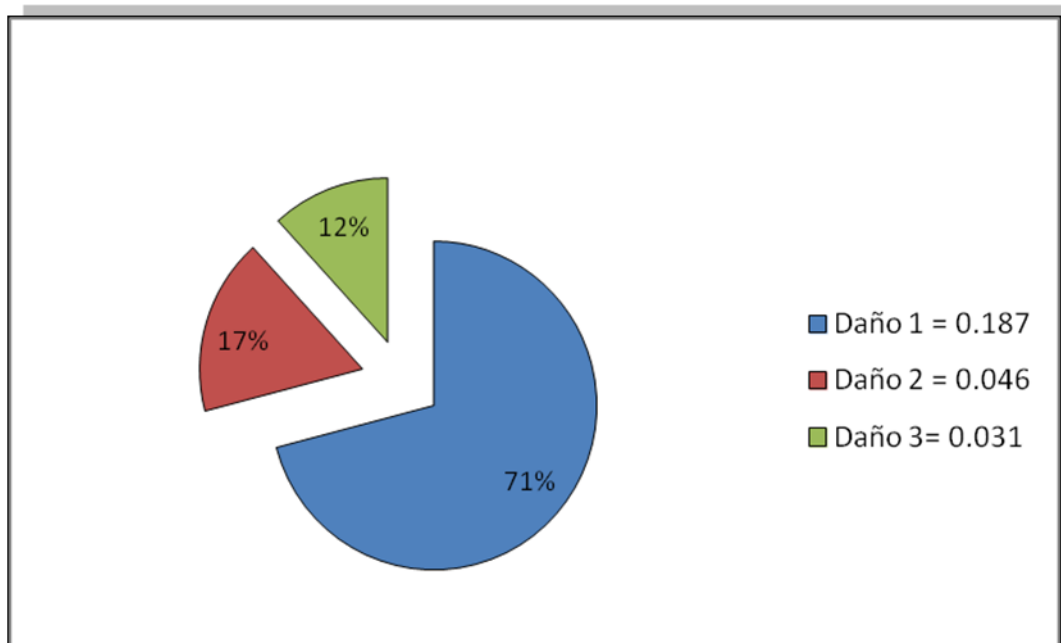


De este gráfico se desprende que la máquina que causó mayor cantidad de daños/ha fue el Feller Buncher, afectando en promedio a 4,25 árboles por ha, seguido

por el Harvester con un promedio/ha de 2,12 árboles afectados en total, siendo la máquina con menor cantidad de daños ocasionados a la masa remanente el Forwarder.

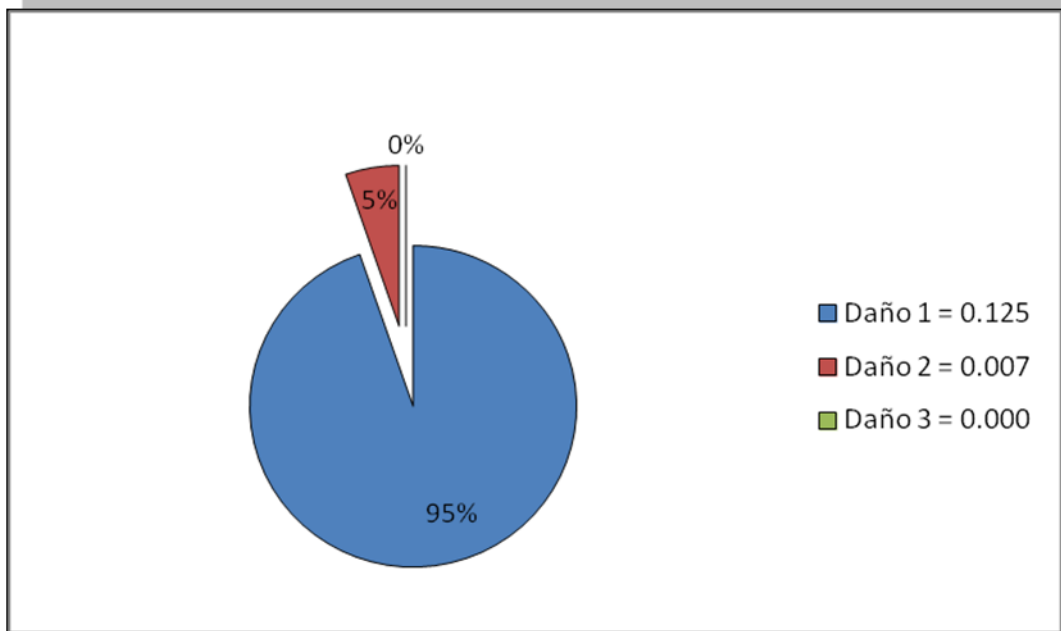
A continuación, se presentan los datos según porcentaje del total de árboles dañados por máquina por hectárea, diferenciándose estos según tipo de daño. Teniendo en cuenta la densidad inicial al momento del raleo, 400 árboles/ha y una intensidad de raleo del 50 %, logrando una densidad final de 200 árboles/ha.

Figura No.14 Gráfico del daño producido por Feller Buncher



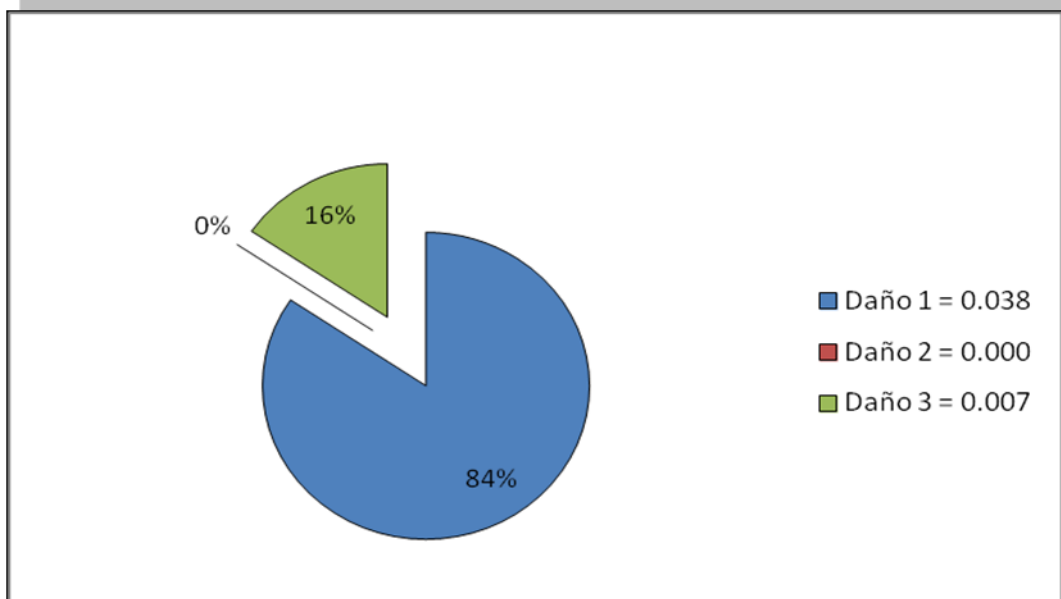
Como se observa en el gráfico No. 2, del total de daños por hectárea producidos por el Feller Buncher, el 71 % de los mismos corresponde a daño tipo 1, mientras que el 17 y el 12 %, corresponden al daño 2 y daño 3 respectivamente.

Figura No.15 Gráfico del daño producido por Harvester



En éste caso, se observa que el Harvester no ocasiona daño tipo 3, de la totalidad de los daños producidos/ha, el 95% corresponde a daño 1 y el 5% restante a daño tipo 2.

Figura No.16 Gráfico del daño producido por Forwarder



Observando el gráfico se aprecia que el Forwarder no ocasionó daños tipo 2, siendo el 84 % de los daños tipo 1 y el 16 % restante tipo 3.

A continuación, se agregan a la discusión los principales elementos que creemos puedan ayudar a comprender en mayor medida los resultados obtenidos.

La empresa propietaria de los montes (COFUSA), encargada de terciarizar las operaciones de cosecha, admite un máximo de daño a la masa remanente del 4 %/ha, una vez superado este valor, se podrían aplicar sanciones económicas a la empresa contratista. De esta forma, se incentiva la menor producción de daños.¹

Tomando ese valor como referencia y apoyándonos en la bibliografía consultada expuesta en el capítulo 2, donde por ejemplo, Bäcke, citado por Bobik (2008), afirma que la Agencia Sueca Forestal, recomienda un valor máximo de árboles dañados luego de las operaciones de raleo no mayor al 5%, consideramos que existió un bajo nivel de daño a la masa residual, ya que la media de árboles afectados en el estudio fue de 3,55 %.

Las características edáficas como, suelos bien drenados y firmes, los cuales al momento del estudio se encontraban sin excesos de agua, evitando una posible falta de tracción o la circulación incorrecta de la maquinaria, en conjunto con las condiciones topográficas, con suaves pendientes, sumado a la baja altura de las cepas y la carencia de afloraciones rocosas, las cuales son capaces de ocasionar pérdida del equilibrio a las máquinas, provocando movimientos bruscos los cuales dificultarían las operaciones, contribuyen favorablemente a los resultados obtenidos.

Cabe destacar que se trata de un raleo a baja densidad, el cual permite una gran movilidad por parte de la maquinaria, con un menor riesgo de contacto en comparación con otros trabajos similares consultados en la revisión bibliográfica, como por ejemplo, Siren (2001), realizó un estudio en Finlandia, sobre un raleo comercial de *Picea abies* (Abeto rojo), donde la densidad inicial promedio fue de 1169 árboles/ha, que pasó luego del raleo a 634 árboles/ha, y en este trabajo, la densidad inicial fue de 400 árboles/ha, llegando a una densidad final luego del raleo de 200 árboles/ha.

A su vez, los operarios de las distintas máquinas se desempeñaron durante el análisis de forma hábil y cautelosa, probablemente en mayor medida que la usual, debido a nuestra presencia, aunque según fuentes de la empresa, el nivel de daño normalmente es bajo, tomando en cuenta las características anteriormente mencionadas.

4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1.1 Diseño experimental

Para realizar el estudio se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), cuyo modelo es:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Los supuestos del modelo son:

- Es correcto (en relación al material experimental)
- Es aditivo.

A los errores experimentales:

- Son variables aleatorias
- $\varepsilon_{ij} \sim N$,
- $E(\varepsilon_{ij}) = 0$ para todo ij
- $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$ para todo i,j
- Son independientes.

Por definición: $\alpha_i = \mu_1 + \mu$

4.1.2 Hipótesis del estudio

H_0 : Las diferentes máquinas, en los diferentes procesos en los cuáles actúan (tumbado, procesamiento y extracción), causan la misma cantidad de daños a los árboles remanentes.

H_a : Existe al menos una diferencia en cuanto a la producción de daños entre las distintas máquinas en los diferentes procesos en las cuales actúan.

4.1.3 Hipótesis estadística

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t \text{ ó}$$

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_t$$

H_a : Existe al menos una diferencia entre la media de los tratamientos

4.1.4 Criterio de decisión

1. Si las diferencias entre las medias muestrales son “suficientemente” grandes se rechaza H_0 .
2. Si la variación dentro de los tratamientos es “suficientemente” grande NO se rechaza H_0 .

4.1.5 Prueba de hipótesis (ANAVA)

Cuadro No.11 Análisis de la varianza

	GL	SC	CM	F	Pr (f)
Máquina		9.75	24.875	8.178	0.00236
Error	1	3.87	3.042		

Para poder rechazar o no las hipótesis planteadas en este ensayo, se realiza un análisis de la varianza (ANAVA) con el fin de obtener el p-valor para cada factor y así poder compararlo con el criterio de decisión establecido.

Este análisis de la varianza, demuestra que el p-valor (0.00236) es menor a 0.05, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Existe al menos una diferencia en cuanto a la producción de daños a las masa remanente entre las distintas máquinas a cargo de las operaciones de cosecha.

Para determinar que tipos de diferencias existen en cuanto a la producción de daños entre las tres máquinas utilizadas, se realizó el test de Tukey.

Cuadro No.12 Test de Tukey

Feller Buncher	4.25	a
Harvester	2.125	ab
Forwarder	0.75	b

A partir del mencionado test, se extrae que la máquina 1 (Feller Buncher) se comporta de forma diferente a la máquina 3 (Forwarder) produciendo mayor cantidad de árboles dañados en el proceso de raleo.

Entre la máquina 2 (Harvester) y la máquina 3 (Forwarder), así como entre la máquina 1 y 2 no existen diferencias significativas en cuanto a la producción de daños.

5. CONCLUSIONES

Se observaron diferencias significativas en cuanto a la producción de daños a la masa remanente entre las máquinas Feller Buncher-Forwarder, no siendo así, entre Harvester-Forwarder y Harvester-Feller Buncher.

La máquina responsable del mayor número de daños a los individuos residuales fué el Feller Buncher, siendo el Forwarder la máquina con menor impacto a la masa residual. A su vez, el Harvester es capaz de ocasionar tanto daño como el Feller Buncher o el Forwarder.

Considerando los tres tipos de daños, el promedio de árboles dañados por hectárea fue de 3,55 % (7,12 árb/ha), valor por debajo del consultado en diferentes bibliografías a nivel mundial (5%).

Del total de árboles remanentes dañados, el 77 % corresponde a Daño Tipo 1, mientras que el 12 % y el 8,6 %, corresponden a Daño Tipo 2 y Daño Tipo 3 respectivamente.

La mayoría de los daños producidos fueron del tipo 1 (raspado de corteza sin afectar el cambium), el cual no representa importancia económica para la empresa propietaria de los montes.

En cuanto a la intensidad del daño 1, se verificaron en promedio 5,6 árb/ha, de los cuales el 53,6 % de los mismos fueron ocasionados por el Feller Buncher, mientras que el 35,6 % y el 11,07 % fueron ocasionados por el Harvester y el Forwarder respectivamente.

Con respecto al Tipo de Daño 2 (afecta el cambium sin desprendimiento de madera), el 86,2 % de los mismos fueron causados por el Feller Buncher y el 14,4 % ocasionados por el Harvester, mientras que el Forwarder no fué responsable de la ocurrencia de este tipo de lesiones.

Haciendo referencia al Tipo de Daño 3 (afecta el cambium con desprendimiento de madera), del total de individuos afectados, el 80,6 % y el 20,16 %, fueron responsabilidad del Feller Buncher y del Forwarder respectivamente, mientras que no se registraron daños de este tipo producidos por el Harvester.

Del total de lesiones ocasionadas a la masa residual por las máquinas responsables de las operaciones de cosecha en este estudio, el 60 % se registraron en el

proceso de tumbado, mientras que el 30 % y el 10 % ocurrieron durante las etapas de procesamiento y madereo respectivamente.

6. RESUMEN

Para lograr producir madera de calidad, libre de nudos, con buena rectitud de fuste, con diámetros y volúmenes adecuados, son necesarias distintas intervenciones silvícolas, entre ellas podas y raleos, además de ser el raleo comercial, un ingreso económico anticipado en la rotación del cultivo. Este estudio realizado en la ciudad de Rivera, en setiembre del 2013 sobre suelos C.O.N.E.A.T. 7, tuvo como objetivo principal identificar y cuantificar el daño causado por el sistema Feller Buncher- Harvester-Forwarder y determinar el efecto de cada máquina en sus respectivas tareas, en un raleo comercial de *Eucalyptus grandis* a los 9 años de edad. Se clasificaron los daños según altura, mayores a 10 m y menores a 10 m y según intensidad del daño, donde se logró la siguiente categorización, daño tipo 1 “Raspado de corteza sin afectar el cambium”, Daño tipo 2 “ Afecta el cambium sin desprendimiento de madera” y Daño tipo 3 “Afecta el cambium con desprendimiento de madera”. Los resultados obtenidos luego de realizado el seguimiento y evaluación de los daños a la masa remanente, fueron llevados a cabo en un lapso de 5 días, 10 horas de trabajo diarias, abarcando un total de 8 hectáreas. Para analizar los datos, se utilizó un Diseño Completamente al Azar, el cuál arrojó como principales resultados, que sí existen diferencias significativas en cuanto a la producción de daños a la masa remanente entre las máquinas Feller Buncher-Forwarder, no siendo así, entre Harvester-Forwarder y Harvester-Feller Buncher. La máquina responsable del mayor número de daños a los individuos residuales, fue el Feller Buncher, siendo el Forwarder la máquina con menor impacto a la masa residual. A su vez, el Harvester es capaz de ocasionar tanto daño como el Feller Buncher o el Forwarder. Considerando los tres tipos de daños, el promedio de árboles dañados por hectárea fue de 3,55 % (7,12 árboles/ha, del total de árboles remanentes dañados, el 77 % corresponde al daño 1, mientras que el 12 % y el 8,6 %, corresponden al daño 2 y daño 3 respectivamente. La mayoría de los daños producidos fueron del tipo 1 (raspado de corteza sin afectar el cambium), el cual no representa importancia económica para la empresa propietaria de los montes.

Palabras clave: Feller Buncher; Harvester; Forwarder; Daños; Masa remanente; Cosecha; Raleo; *Eucalyptus grandis*.

7. SUMMARY

To achieve producing quality wood, free of knots, it is necessary to find straight stems and with appropriate diameter and volume, and to include different silviculture interventions, including pruning and thinning. One of the most important interventions is commercial thinning, which is an anticipated economic income in the crop rotation. This study took place in the city of Rivera, on September 2013 over CONEAT 7 grounds, and its main purpose was to identify and quantify the damage caused by the Feller Buncher - Harvester - Forwarder system, and determine the effect of each machine on its respective tasks, in a commercial thinning of *Eucalyptus grandis* at 9 years old. The damage was classified according to its height, over 10m and less than 10m, and depending on the intensity of the damage. We created the following categorization. Damage Type 1: "Scraping bark without affecting the cambium"; Damage Type 2: "Affecting cambium without breaking the wood"; and Damage Type 3: "Affecting cambium and breaking the wood." The results obtained after tracking and evaluating the damage of the residual stand were done over a period of 5 days, 10 hours of working days, covering a total of 8 hectares. To study the data, a random design was used, which gave us the main results that there were significant differences in the production of damages to the residual stand between Feller Buncher - Forwarder machines, but not with Harvester - Forwarder and Harvester - Feller Buncher. The machine responsible for the most damage to the residual stand was the Feller Buncher. The Forwarder machine caused the least impact to the residual stand. The Harvester was capable of producing as much damage as the Feller Buncher or as little as the Forwarder. Considering the three types of damage, the average of damaged trees per hectare were 3.55 % (7.12 trees / ha). Of the total remaining damaged trees, 77% corresponds to Damage Type 1, and 12 % and 8.6 % , corresponde to Damage Type 2 and 3 respectively. The most damage caused was Damage Type 1 (scraping the bark without affecting cambium), which doesn't represent an economic importance to the company.

Keywords: Feller Buncher; Harvester; Forwarder; Damage; Remaining mass; Harvest;

Thinning; *Eucalyptus grandis*

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Bennett, M. 2013. Pictures for coloring pages (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 25 oct. 2013. Disponible en <http://www.coloring-pages-book-for-kids-boys.com/>
2. Bobik, M. 2008. Damages to residual standin commercial thinnings. Tesis Ing. Agr. Alnarp, Suecia. Swedish University of Agricultural Sciences. pp. 1-30.
3. Brussa, C. 1994. Eucalyptus; especies de cultivo más frecuentes en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo, Hemisferio Sur. 136 p.
4. Colehita de Madera. 2005. Principais tipos de sistemas de colheitas de madeira. (en línea). Curitiba. s.p. Consultado 10 oct. 2013. Disponible en <http://www.colheitademadeira.com.br/informativos/315/principais-tipos-de-sistemas-de-colheita-de-madeira.html>
5. Daniluk, G. 2002. Código de cosecha forestal uruguayo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 6 p.
6. Forests and Rangelands. 2013. Forest operations equipment catalog. (en línea). s.l. s.p. Consultado 15 oct. 2013. Disponible en <http://www.forestsandrangelands.gov/catalog/equipment/fellerbuncher.shtml>
7. Google Earth. 2013. (en línea). s.l. s.p. Consultado 12 set. 2013 Disponible en <http://www.google.com/intl/es/earth/download/ge/agree.html>
8. Hiesl, P.; Benjamin, J. 2013. Assessment of feller-buncher and harvester caused stand damage in partial harvests in maine. In: Council on Forest Engineering Annual Meeting (2012, Maine). Proceedings. s.n.t. pp. 1-8.
9. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Grupo Agroclima y Sistema de Información, UY). 2012. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. (en línea) Tacuarembó. s.p. Consultado 10 set. 2013. Disponible en http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara_agro/index.html

10. John Deere. 2013a. Excavadora (en línea). s.l. pp.2-6. Consultado 10 set. 2013. Disponible en http://www.deere.com/en_US/docs/construction/excavators/200d_200d_1c/DKAX200DLCES.pdf
11. _____. 2013b. Feller Buncher. (en línea). s.l. s.p. Consultado 10 set. 2013. Disponible en http://www.deere.com/wps/dcom/en_US/products/equipment/feller_bunchers/wheeled_feller_bunchers/843k/843k.page
12. _____. 2013c. Feller Buncher. (en línea). s.l. s.p. Consultado 10 set. 2013. Disponible en http://www.deere.com/wps/dcom/en_US/products/equipment/feller_bunchers/wheeled_feller_bunchers/843k/843k.page#viewTabs
13. _____. 2013d. Forwarder. (en línea). s.l. pp. 3-20. Consultado 10 set. 2013. Disponible en http://www.deere.com/en_US/docs/non_current/forwarders/1010D_1110D_1410D_1710DForw.pdf
14. Limbeck, B.; Lilienau, B. 2003. Residual stand damage caused by mechanized harvesting Systems. (en línea). In: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain (2003, Schlaegl). Viena. pp. 5-6. Consultado 13 set. 2013. Disponible en <http://www.wabo.boku.ac.at/uploads/media/limbeck-lilienau.pdf>.
15. Lineros, M.; Espinosa, M.; Jiménez, A. 2003. Daño a los árboles remanentes por sistema Harvester-Forwarder en raleo comercial de Pinus radiata D. Don. (en línea). Bosque. 24 (1): 87-93. Consultado 10 ago. 2013. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071792002003000100007
16. Machado, C. s.f. Sistemas de colheita florestal. (en línea). Minas Gerais, s.e. pp. 7-9. Consultado jul. 2013. Disponible en [http://www.portal.ufra.edu.br/attachments/1026_SISTEMAS%20DE%20COLHEITA%20FLORESTAL%20\(EXPLORA%C3%87%C3%83O\)%20OFP.pdf](http://www.portal.ufra.edu.br/attachments/1026_SISTEMAS%20DE%20COLHEITA%20FLORESTAL%20(EXPLORA%C3%87%C3%83O)%20OFP.pdf)
17. McNeel, J. F.; Ballard, T. M. 1992. Analysis of site stand impacts from thinning with a harvester-forwarder system. (en línea). Journal of Forest

Engineering. 4(1): 23-29. Consultado 27 jun. 2013. Disponible en <http://journals.hil.unb.ca/index.php/IJFE/article/download/10057/10313>.

18. Malinovski Florestal. 2012. Forwarders. (en línea). Curitiba. s.p. Consultado 9 oct. 2013. Disponible en <http://www.malinovski.com.br> <http://malinovski.com.br/noticia.php?id=30>
19. MGAP. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2012. Estadísticas y mercado. Montevideo. s.p.
20. _____.PRENADER (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Programa para el Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego, UY). 2012. Grupos de suelos CONEAT. Montevideo. s.p.
21. Muñoz, M.; Bustos, O. 2006. Cuantificación del daño en árboles remanes provocados por dos sistemas de cosecha en una tala rasa parcial. (en línea). Talca, Chile, Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería Forestal. 53 p. Consultado 20 oct. 2013. Disponible en <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/3780>
22. OSU (Oregon State Univerasity. Department of Forest Engineering. College of Forestry, USA). s.f. Damage characteristics in young Douglas-fir stands from commercial thinning with four timber harvesting systems. (en línea). Corvallis, OR. pp. 1-5. Consultado 20 set. 2013. Disponible en <http://andrewsforest.oregonstate.edu/lter/research/related/ccem/pdf/WJAF.pdf> pp. 1-5.
23. Pou, R. s.f. Caracterización de la forestación del Uruguay. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 10 oct. 2013. Disponible en <http://www.uruguayforestal.com/informes/Forestacion%20en%20Uruguay-2011.pdf>
24. Quezada, C. 2008. Evaluación de tiempo, rendimiento y cuantificación del daño post raleo en rodales de Eucalyptus nitens (Maiden). Tesis Ing. Agr. Concepción, Chile. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. s.p.
25. Roman Soluciones Forestales. 2013. Cabezales cosechadores y procesadores. (en línea). Montevideo. s.p. Cosultado 10 set. 2013. Disponible en http://www.roman.com.uy/index.php?page=shop.product_details&flypag

e=flypage.tpl&product_id=26&category_id=5&manufacturer_id=5&option=com_virtuemart&Itemid=1

26. Shepard, K.R. 1986. Plantation silviculture. Dordrecht, The Netherlands, Martinus Nijhoff. pp. 236-262.
27. Sirén, M. 2001. Tree damage in single-grip harvester thinning operations. (en línea). Journal of Forest Engineering.12(1): s.p. Consultado 29 oct.2013. Disponible en <http://journals.hil.unb.ca/index.php/ijfe/article/view/9923/10117#6>
28. Smith, D. 1986. The practice of silviculture. 8th. ed. New York, Wiley and Sons. s.p.
29. SPF (Sociedad de Productores Forestales, UY). 2013. Productos y subproductos forestales. (en línea). s.l. s.p. Consultado 10 oct. 2013. Disponible en <http://www.spf.com.uy/>
30. Stut Patent. 2007. Stut patents image. (en línea). s.l. s.p. Consultado 10 oct. 2013. Disponible en <https://www.google.com.uy/search?q=stunt+patents+imagenes&espv=2&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=Jnr7U6arOcWa8gHBuIGIBw&ved=0CB0QsAQ&biw=1366&bih=667>
31. Swinyard, D.; Smythe, J. 2007. Delimb knife mounting arrangement for tree harvester head. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 23 set. 2013. Disponible en <http://www.strutpatent.com/patent/07677279/delimb-knife-mounting-arrangement-for-tree-harvester-head>
32. Wästerlund, Y. 1992. Extent and causes of site damage due to restry traffic. Scandinavian Journal of Forest Research. 7: 135 -142.

9. ANEXOS

Evaluación de daños a la masa remanente en *E. grandis*.

Máquina	Parcela	Á/dañado	Altura daño(m)	Tipo daño	Altura árbol (m)	DAP(m)
Feller B	1	1	<10	3	21	0,27
Feller B	1	2	<10	1	20	0,25
Feller B	1	26	<10	1	19	0,26
Forwarder	1	5	<10	1	22	0,26
Forwarder	1	6	<10	1	20	0,267
Feller B	2	3	<10	1	20	0,27
Feller B	2	4	<10	1	19	0,26
Harvester	2	1	<10	1	21	0,24
Feller B	2	29	<10	1	19	0,261
Feller B	2	32	<10	2	22	0,27
Feller B	2	34	<10	1	22	0,27
Harvester	2	15	<10	1	20	0,261
Harvester	2	16	<10	1	20	0,25
Feller B	3	8	<10	1	22	0,26
Harvester	3	2	<10	1	22	0,26
Forwarder	3	3	<10	1	21	0,23
Harvester	4	3	<10	1	22	0,27
Feller B	4	9	<10	1	22	0,223
Feller B	4	10	<10	3	21	0,23
Harvester	4	10	<10	1	21	0,264
Feller B	5	6	<10	1	21	0,27
Feller B	5	11	<10	1	22	0,245
Feller B	5	15	<10	1	23	0,256
Harvester	5	6	<10	1	22	0,26
Harvester	5	8	<10	1	22	0,245
Forwarder	6	1	<10	1	21	0,26
Feller B	6	12	<10	1	22	0,242
Harvester	6	4	<10	2	21	0,24
Harvester	6	6	<10	1	21	0,246

Feller B	6	16	<10	1	21	0,241
Feller B	6	17	<10	1	22	0,24
Feller B	6	18	<10	1	18,5	0,24
Forwarder	6	4	<10	1	19	0,22
Feller B	6	21	<10	2	21	0,25
Feller B	6	23	<10	1	20	0,248
Feller B	6	24	<10:>10	1	21	0,25
Feller B	6	27	<10	1	22	0,248
Harvester	6	9	<10	1	21	0,264
Feller B	7	7	<10	1	22	0,27
Forwarder	7	2	<10	3	22	0,28
Harvester	7	5	<10	1	20	0,22
Feller B	7	13	>10	2	22	0,274
Feller B	7	14	<10	1	22	0,254
Feller B	7	20	<10	1	21	0,22
Harvester	7	11	<10	1	21	0,275
Feller B	7	30	<10	1	22	0,256
Feller B	7	31	<10	1	22	0,265
Harvester	7	12	<10	1	22	0,27
Harvester	7	13	<10	1	21	0,263
Feller B	7	33	<10	2	21	0,254
Harvester	7	14	<10	1	21	0,264
Feller B	8	5	>10	2	21	0,23
Feller B	8	19	<10	3	21	0,24
Harvester	8	7	<10	1	20	0,24
Feller B	8	22	<10	2	20	0,22
Feller B	8	25	>10	3	20	0,25
Feller B	8	28	<10	1	19	0,221

VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS

El primer supuesto a ser verificado es, que los errores son variables aleatorias, por lo tanto al graficar los residuos vs predichos, la distribución de los puntos debe ser al azar, sin un patrón de distribución definido. En este caso, observando el gráfico No. 1, se comprueba la distribución aleatoria.

En lo que refiere al supuesto de que los errores presentan distribución normal ($\epsilon_{ij} \sim N$), hay distintos métodos gráficos y pruebas para verificar al mismo.

El histograma de frecuencia vs residuos es uno de los métodos gráficos para verificar dicho supuesto. En este ensayo, los resultados obtenidos presentan una distribución normal.

Gráfico No. 2 Histograma de Frec. vs. Residuos

