

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente

TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL HARVESTER FMG TIMBERJACK 2618 EN  
TEMPORADA DE INVIERNO SIENDO UTILIZADO COMO PROCESADOR EN  
COSECHA FINAL DE RODALES DE

Pinus radiata D. Don

Por

CLAUDIO ALFONSO MUÑOZ TRONCOSO

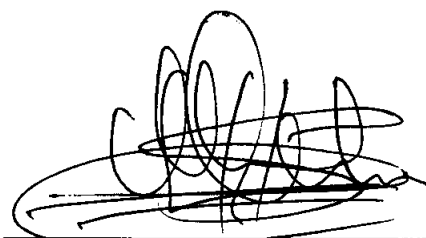
MEMORIA DE TITULO PRESENTADA  
A LA FACULTAD DE CIENCIAS  
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD  
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL  
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1997

TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL HARVESTER FMG TIMBERJACK 2618 EN  
TEMPORADA DE INVIERNO SIENDO UTILIZADO COMO PROCESADOR EN  
COSECHA FINAL DE RODALES DE Pinus radiata D. Don.

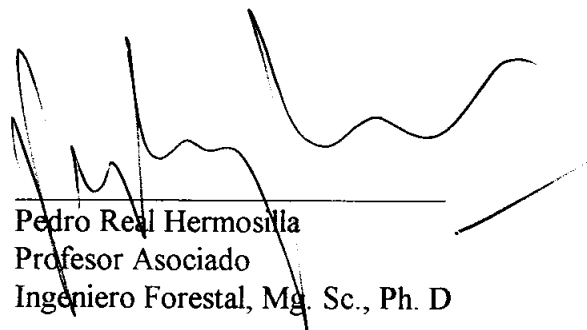
Profesor Asesor



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

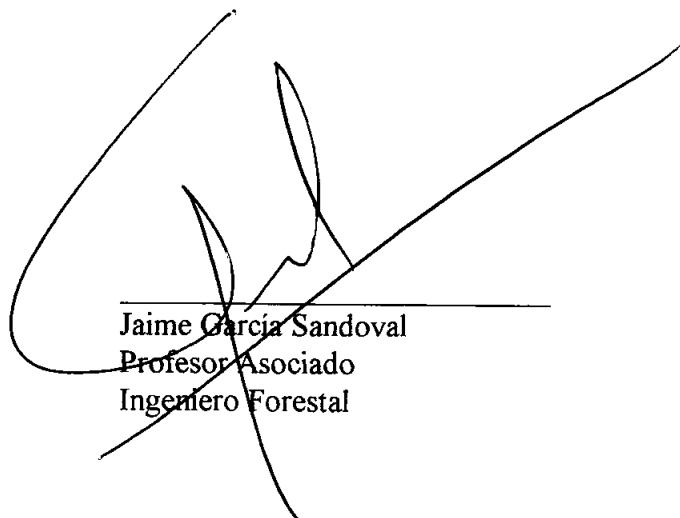


Director Departamento  
Manejo de Bosques y  
Medio Ambiente



Pedro Real Hermosilla  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal, Mg. Sc., Ph. D

Decano Facultad de  
Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal

## DEDICATORIA.

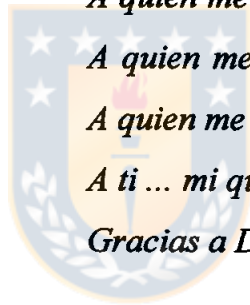
*A quien me ilumina cuando todo es oscuridad*

*A quien me da paz cuando todo es discordia*

*A quien me da cariño cuando todo es soledad*

*A ti ... mi querida madre*

*Gracias a Dios.*



## AGRADECIMIENTOS.

Ahora, al final del camino, como mirar atrás y poder plasmar en unas simples palabras todo mi sentir agradecido hacia quienes permitieron que este momento tan anhelado sea hoy una realidad.

Gracias.....

Al Señor Manuel Lineros Parra, por su constante apoyo, buena voluntad y entrega de experiencia en cada etapa de este estudio.

A todos los académicos y personal en general de la facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, que contribuyeron de una u otra manera en mi formación profesional.

A mis intrañables amigos y compañeros, por su permanente incentivo, en el logro de este importante paso en mi vida.

A mi querida familia, por su cariño, preocupación y continua comprensión.

He querido dejar estas ultimas líneas para alguien muy especial, para alguien quien con su sencilla palabra me alentó al inicio de este trabajo, sin embargo, ahora al final de la jornada, ya no esta conmigo, él esta con Dios... a ti ... mi siempre recordado amigo Pancho.

## INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PAGINA
I	INTRODUCCION .....	01
II	REVISION BIBLIOGRAFICA .....	03
	2.1 El sector forestal en Chile..	03
	2.1.1 Evolución del sector forestal	03
	2.1.2 Perspectivas y desafíos del sector forestal.....	05
	2.2 Mecanización de la cosecha forestal en Chile.....	10
	2.2.1 Cosecha forestal.....	10
	2.2.2 Evolución de la mecanización en la Cosecha.....	14
	2.2.3 Objetivos de la mecanización.	17
	2.2.4 Proyecciones de la mecanización.....	20
	2.3 Procesadoras.....	22
	2.4 Harvester.....	24
	2.4.1 Estudios realizados sobre harvester.....	29
	2.5 Consideraciones para la realización de estudios de faenas.....	45

## CAPITULOS

## PAGINA

2.5.1	Estudio del trabajo.....	46
2.5.2	Estudio de tiempos.....	46
III	MATERIALES Y METODO .....	52
3.1	Material y equipo.....	52
3.1.1	Características técnicas del equipo.....	52
3.1.1.1	Descripción general.....	52
3.1.1.2	Cabezal cosechador.....	54
3.2	Metodología.....	55
3.2.1	Selección del área de estudio	55
3.2.2	Descripción del área de estudio.....	55
3.2.3	Descripción del sistema de trabajo en terreno.....	57
3.2.3.1	Aspectos generales.....	57
3.2.3.2	Organización de la faena.....	57
3.2.3.3	Personal.....	59
3.2.3.4	Descripción de los productos obtenidos.....	59
3.2.4	Determinación del tamaño de la muestra.....	60
3.2.5	Estudio de tiempos.....	60
3.2.5.1	Descripción de los tiempos...	60

## CAPITULOS

## PAGINA

	3.2.5.1.1 Ciclo de trabajo.....	60
	3.2.5.1.2 Otros tiempos.....	61
	3.2.5.2 Clasificación de los tiempos.....	62
	3.2.6 Estimación del volumen.....	63
	3.2.7 Modelos matemáticos.....	63
	3.2.8 Estudio del rendimiento....	64
IV	RESULTADOS Y DISCUSION .....	65
	4.1 Estudio de tiempos.....	65
	4.1.1 Resultados generales.....	65
	4.1.2 Tiempos fijos.....	67
	4.1.3 Tiempos variables.....	71
	4.1.4 Tiempo total.....	72
	4.2 Estudio de rendimiento.....	73
V	CONCLUSIONES .....	74
VI	RESUMEN .....	76
	SUMMARY .....	78
VII	BIBLIOGRAFIA .....	80
VIII	APENDICE .....	88

## INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Desafíos del sector forestal para el año 2000 .....	06
2	Efectos de la mecanización en la productividad y prevención de riesgos en la cosecha forestal .....	20
3	Distribución de los desplazamientos por categorías de longitud de trayectos y velocidades promedio .....	35
4	Factores que influyen en el retardo de la manipulación de la madera .....	36
5	Características de los rodales por operador .....	40
6	Tiempos promedios de los elementos selección, corta y procesamiento .....	41
7	Valores promedios del tiempo empleado en movimientos y el numero de árboles cosechados por lugar de trabajo .....	44
8	Características técnicas del cabezal cosechador Waratah 230 HTH .....	54
9	Estimadores promedios de los rodales ...	57
10	Personal que trabajo en el desarrollo de la faena .....	59
11	Esquema de trozado .....	59



En el texto

12	Tiempos fijos promedios por actividad de trabajo .....	67
13	Componentes del tiempo total de demoras, clasificados en evitables y no evitables	69
14	Valores $R^2$ , $EEE$ y $F$ de los modelos probados .....	71

En el Apéndice

1A	Características técnicas del equipo FMG Timberjack 2618 .....	89
2A	Funciones de tiempo variable .....	92
3A	Funciones de tiempo total .....	93
4A	Funciones de rendimiento .....	94

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Distribución por clase de dap de los árboles cultivados para variados surtidos de madera .....	32
2	Elementos que componen el tiempo de producción .....	34
3	Distribución de interrupciones menores a 15 minutos .....	37
4	Vista lateral del harvester FMG Timberjack 2618 .....	53
5	Imagen del Harvester FMG Timberjack 2618 procesando .....	53
6	Cabezal cosechador Waratah 230 HTH .....	55
7	Esquema operacional del sistema de aprovechamiento árbol entero implementado .....	58
8	Distribución porcentual de los tiempos totales consumidos por actividad de trabajo .....	66
9	Distribución porcentual de los tiempos fijos promedios por actividad de trabajo .....	69
10	Distribución porcentual de los componentes de tiempo que formaron las demoras .....	70

11 Rendimiento promedio efectivo y total  
alcanzado por el equipo .....

73



## **I. INTRODUCCION**

El éxito alcanzado por el sector forestal chileno se ha debido principalmente a dos factores: Primero a una acertada política nacional, iniciada con la promulgación del decreto ley 701, lo que se ha traducido hoy en día en una creciente disponibilidad de bosques en edad de cosecha, y segundo, a la elevada capacidad de respuesta demostrada por las empresas forestales frente a las diversas exigencias impuestas por los mercados en los cuales se sitúa y proyecta.



En la actualidad los grandes bloques comerciales del mundo, de los cuales no está ajeno Chile, dan cada día mayor importancia a aspectos como calidad, productividad, prevención de riesgos y ecoeficiencia. Sumado a esto, el gran volumen de madera en edad de corta, se crea un escenario con nuevos desafíos y metas para la cosecha forestal.

Con el propósito de responder una vez más en forma satisfactoria, las empresas han venido, paulatinamente derivando sus sistemas de aprovechamiento a faenas

completamente mecanizadas, implicando esto la llegada al país de maquinaria altamente sofisticada, como harvester, feller-buncher, clumbunks y otras; de las cuales no se tienen estudios acabados que permitan determinar su uso y productividad óptimo de acuerdo a las distintas condiciones de trabajo existentes en el país.

De la necesidad recién expuesta, surge la presente Memoria de Título, la cual tuvo como objetivo determinar funciones de tiempo y rendimiento para el equipo Harvester FMG Timberjack 2618, utilizado como procesador en un sistema de aprovechamiento de árbol entero, en faenas de cosecha final de rodales de Pinus radiata D. Don.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 El sector forestal en Chile

2.1.1 Evolución del sector forestal. Las actividades que conforman el sector forestal en Chile se establecieron primitivamente en torno a la gestión productiva del bosque nativo. En 1931 se promulga el Decreto Ley N°4 363, denominada Ley de Bosques, con el objeto de fomentar la forestación a través de exenciones tributarias y la participación activa y directa del Estado y de lograr una protección adecuada al medio ambiente. Con este incentivo y la participación estatal, entre 1931 y 1974 se logró un ritmo significativo y creciente de plantaciones forestales (Cabaña, 1993).

En la década del 60, la actividad productiva se reorienta hacia las plantaciones, particularmente de Pino radiata, período en el cual el sector industrial de productos forestales experimenta un crecimiento notable. En 1974 se promulga el Decreto Ley N°701 para fomentar la forestación a través de una bonificación a la actividad, así como a los costos de manejo y administración del recurso creado. Esto

produjo un importante aumento en la tasa de plantaciones, además de permitir la recuperación y protección de vastos sectores que no estaban siendo utilizados productivamente o sufrían serios procesos erosivos. Un importante rol ha cumplido el Estado en el incentivo y apoyo directo al sector, a partir de lo cual los agentes privados han realizado significativos aportes económicos.

Hacia la segunda mitad de la década del 80, el énfasis de la actividad sectorial se centró en un conjunto de inversiones en capacidad industrial instalada (alrededor de US\$ 3 000 millones entre 1987 y 1992), a objeto de procesar la creciente disponibilidad de madera que se producirá el año 2000 debido al crecimiento y maduración de las plantaciones existentes (Cabaña, 1993).

Como consecuencia de esta evolución, los productos forestales han elevado la participación en el total nacional; de 1.9% (1962) a 13.1% (1993). En otros términos, el sector forestal ha incrementado su contribución al PIB de 2.2% (1980) a 3.5% (1990) (Ackerknecht, 1995).

El progreso más evidente de esta área de la economía se registra en las exportaciones, las que se han incrementado

de US\$ 1 207 millones, en 1993, a US\$ 2 369.3 millones, en 1995 (Ackerknecht, 1995; Lignum, 1996).

Los resultados indicados anteriormente se explican por la actividad productiva que genera la superficie de plantaciones que posee el país, la que en diciembre de 1994 alcanzó 1 747 523 ha (Ackerknecht, 1995; Infor, 1995).

2.1.2 Perpectivas y desafíos del sector forestal. El escenario y las perpectivas gravitantes que enfrentará el sector forestal chileno en el mediano plazo, estarán conformadas, básicamente, por las grandes tendencias que hoy se perfilan en el mundo, y que para una economía abierta y un sector forestal orientado a los mercados externos, serán decisivas en su evolución (Cabaña, 1993).

El sector forestal chileno presenta a las empresas forestales interesantes desafíos en aumento de la tasa de plantación, volúmenes de cosecha, retorno por concepto de exportaciones de productos forestales y ocupación. Pero, junto a ello, también obliga a prevenir la ocurrencia de unos 23 040 accidentes laborales y pérdidas en rentabilidad por US\$ 48.3 millones, ocasionada por tales siniestros ocupacionales en actividades forestales. En la tabla 1 se



presentan los desafíos del sector forestal para el año 2000 (Ackerknecht, 1995).

TABLA 1. DESAFIOS DEL SECTOR FORESTAL PARA EL AÑO 2000.

ítem	actual	metas
Superficie plantada (millones de ha)	1.7(1993)	1.9
Cosecha anual (millones de m <sup>3</sup> ssc)	20.0(1993)	25.0
Exportaciones anuales (millones de US\$ FOB)	1 207(1993)	2 200
Ocupación mensual (trabajadores)	102 009(1993)	117 000
Accidentes anuales del trabajo (tasa fija 19.2%)	21 428(1993)	23 040(*)
Evitar pérdidas de rentabilidad por accidentes del trabajo (millones de US\$)	45.0(1993)	48.4(*)

(\*) metas no deseadas

En lo específico, las metas a alcanzar por las empresas forestales están relacionadas con el desarrollo de la fuerza laboral, crecimiento económico y la competitividad en los mercados internacionales.

La conveniencia de orientar la formación de la fuerza laboral acorde a las necesidades de la economía compromete a una mayor vinculación de las empresas con la educación. En 1993 sólo el 11% de las inversiones en investigación y desarrollo tecnológico fueron aportadas por los empresarios nacionales, mientras que el aprovechamiento de las

franquicias tributarias otorgadas a la capacitación ocupacional, presenta bajo nivel de utilización. Según antecedentes de CONICYT/FONDEF, sólo un 3-4% de la industria nacional está efectivamente en un proceso de internacionalización, 5-10% al borde de ella y el resto, muy distante de la modernización (Ackerknecht, 1995).

Las nuevas disposiciones sobre la capacitación están orientadas hacia el aumento de la productividad en la fuerza laboral; por lo que el empresariado del sector forestal deberá incrementar su vinculación con los proyectos educacionales del país (Ackerknecht, 1995).

La apertura hacia los grandes mercados exteriores es el gran atractivo que poseen las empresas forestales. La incorporación de Chile al APEC (Fondo de Cooperación Económico del Asia Pacífico) le permite acceder a un mercado que abarca el 40% de la población mundial, adquiere el 46% de las exportaciones del globo y aporta el 50% del PIB de la tierra. En 1993, Chile exportó el 44% de sus productos a países integrantes del APEC, mientras que en 1995, tal cifra alcanzó el 45%. Por su parte, el D.L. 600 permitió el ingreso de inversión a Chile por US\$ 11 190.4 millones en el período 1974-1994, participando APEC con el

64.7% del total (US\$ 7 238.2 millones) (Ackerknecht, 1995; Ackerknecht, 1996).

El posible ingreso de Chile al NAFTA (North Atlantic Free Trade and Tariff), permitirá consolidar la presencia de productos forestales en otro de los grandes mercados mundiales (381 millones de consumidores; los que representan el 6.7% de la población mundial). Oportunidades menores, pero igualmente importantes para mantener buena presencia y competitividad comercial, la constituyen Mercosur y la Comunidad Económica Europea (Ackerknecht, 1995).

Un aspecto que ha adquirido rápida importancia para las empresas forestales, es el respeto a la preservación ambiental; consideraciones que cada día establecen nuevas limitaciones al mercado internacional de productos del bosque. Esta nueva perspectiva debe ser necesariamente incorporada en la gestión empresarial, considerando el respeto a la normativa sobre el medio ambiente, introduciendo esquemas de producción circular, estableciendo códigos de prácticas forestales que prescriban los métodos de trabajo, equipos e insumos que

garantizan un impacto ambiental mínimo a los ecosistemas forestales (Ackerknecht, 1995).

Chile a suscrito una veintena de tratados ambientales, los cuales han sido asimilados por las disposiciones del NAFTA, referente a especies en vías de extinción, sustancias que dañan la capa de ozono y desechos peligrosos. Por otro lado, en el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, se reafirma la declaración de Estocolmo sobre el Medio Humano (1972) y Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992) (Ackerknecht, 1995).

Finalmente, la adhesión de los productos forestales chilenos al otorgamiento de sellos certificadores de respeto a normativa ambiental en todas las etapas de producción (eco-labels); tales como el Nordic Swan y Angel Azul imperantes en países escandinavos y europeos, garantizarán la excelencia de nuestros bienes y servicios en los mercados internacionales (Ackerknecht, 1995).

Chile, al igual que a fines del siglo XIX, está a las puertas de incorporarse al mundo de los países desarrollados. El lugar que ocupa el sector forestal en

esta tarea es significativo, por lo cual debe enfocar todos sus esfuerzos en consolidarse como tal.

## 2.2 Mecanización de la cosecha forestal en Chile

2.2.1 Cosecha forestal. Leyton (1964), citado por Alvarez (1988), sostiene que el concepto de cosecha consiste en un conjunto de normas, medidas y técnicas que sirven para transformar los recursos del bosque en bienes útiles para el hombre.

Nc Nally (1975), citado por Pinto (1990), sostiene que una operación normal de cosecha forestal comprende tres etapas: volteo y preparación de trozos, madereo y transporte corto y largo.

Largo y Larraín (1986), indican que la cosecha forestal es un proceso productivo complejo, dada la interacción a que dan lugar las diferentes condiciones existentes y diversos medios empleados.

Lineros (1992), menciona que la cosecha o extracción forestal debe entenderse como un sistema que comprende un

grupo de componentes, que unidos e interrelacionados contribuyen a optimizar la producción a costos razonables.

Valdevenito (1994), define un sistema como un conjunto de componentes relacionados entre sí, los cuales en forma conjunta responden a estímulos del medio y persiguen un objetivo común. Dentro de las características más relevantes que definen a un sistema se tiene: la existencia de un objetivo común o función que debe cumplirse y estar constituido por un conjunto de componentes (a los menos dos), los cuales se relacionan en forma consistente, reaccionando frente a estímulos y restricciones del medio.

Alvarez (1988) y Lineros (1992), concuerdan en que las condiciones necesarias para ejecutar un sistema son:

- Los componentes del sistema contribuyan a un objetivo común.
- Exista una jerarquización de los elementos para asegurar una adecuada organización de actividades.
- Todos los insumos del sistema deben introducirse de acuerdo a un cierto plan.

Lineros (1992), menciona que los sistemas de extracción forestal están integrados por un conjunto de componentes y

relaciones hombre-máquina, todos los cuales deben contribuir a la manipulación y movimiento de la madera desde los bosques a las industrias. Además, establece que los componentes principales de estos sistemas son: planificación, construcción de caminos, corta y preparación de la madera, transporte primario (madereo), carguío, transporte secundario y control de las operaciones.

Largo (1985), sostiene que la optimización del sistema de cosecha se logra si se cumplen tres objetivos fundamentales:

- Maximización de la eficiencia productiva.
- Minimización de los costos de producción.
- Maximización de la protección al medio ambiente forestal.

El logro de estos objetivos, afirma el mismo autor, se alcanza sólo si se considera adecuadamente la interrelación entre medios y facilidades de extracción y transporte, puesto que la cosecha del bosque es, básicamente, un problema de manipulación y movimiento de la madera.

Hakkila y Mery (1992), sostienen que un sistema racional de cosecha, sea este intensivo en trabajo o en capital, debe

evitar el movimiento excesivo de madera, ya sea a mano o con máquinas.

Diversos autores concuerdan en que la operación de cosecha forestal corresponde a un sistema productivo, el cual debe ser planificado.

Según lo anterior, Becker (1989), afirma que la planificación de las operaciones de cosecha de bosques debe estar orientada a:

- Mejorar el aprovechamiento económico del bosque.
- Efectuar las labores de cosecha en función del largo plazo.
- Dimensionamiento de los recursos productivos, tanto para el corto como mediano plazo.
- Negociación de la cosecha de bosques con un amplio conocimiento de las partes.
- Integración de datos e información. Esto corresponde a satisfacer las necesidades de información de todos los estamentos de la empresa (banco de datos).

Largo (1985), indica que una adecuada planificación de la cosecha del bosque, se debe iniciar con la debida



consideración de las relaciones existentes entre los sistemas de extracción, transporte a utilizar y la infraestructura caminera existente o a desarrollar.

Hakkila y Mery (1992), sostienen que un sistema de cosecha correctamente planificado y que disponga de una selección adecuada de equipos y métodos, permite evitar los costos superfluos ocasionados por acciones innecesarias.

Laroze et al. (1988), sostienen que el problema de planificar la cosecha forestal radica en determinar un esquema que permita maximizar las utilidades de la empresa, considerando los distintos factores que regulan la generación y comercialización de los productos derivados del aprovechamiento de su patrimonio forestal.

Para una óptima planificación de la cosecha forestal, se requiere un importante cúmulo de información, a fin de facilitar la toma de decisiones acertadas (Arrué, 1985a, citado por Pinto, 1990).

2.2.2 Evolución de la mecanización en la cosecha. En una primera etapa, la cosecha de bosques en Chile se realizó en base a fuerza animal (caballos y bueyes) y la participación

de abundante mano de obra para el volteo y desrame, utilizando, principalmente sierras y hachas. Un paso importante fue la incorporación de la motosierra (inventada en la década del 20), que reemplazó a la tradicional sierra de arco a finales de los años 50.

Posteriormente, el segundo gran cambio en esta actividad lo marcó la llegada de los primeros tractores articulados a mediados de la década del 60 y que en cierta forma, reemplazaron a los bueyes y al tractor agrícola; que también se utilizaba en esta área. Sin embargo, para que el ya conocido tractor articulado (skidder) se masificara, hubo de transcurrir varios años; hasta que en la segunda mitad de la década de los 70, el skidder se constituyó en un equipo de uso común en las faenas forestales (Pinto, 1993).

A mediados de los años 80, se comienza a incorporar maquinaria destinada a faenas de raleo, área relativamente nueva en lo que se refiere a mecanización. Es así, que se comienzan a estudiar equipos tales como; trineumáticos, miniskidder y tractores agrícolas con huinche; en distintas condiciones de clima, suelo y topografía, tratando de definir esquemas al respecto (Becker et al. , 1988).

Biggeman (1992), sostiene que del skidder, se pasó a la torre de madereo en el año 1984, luego, en el año 1988 debutó el trineumatico y finalmente desde 1991 funcionan las maquinas cosechadoras capaces de realizar un trabajo más completo, puesto que en una sola operación pueden cortar, desramar y trozar.

Nader (1992), explica que la nueva tecnología, en la práctica, no deja obsoleta la maquinaria anterior, sino que más bien, es un complemento de ella. Menciona el autor citado que hay situaciones en que las torres de madereo son irremplazables, por ejemplo en terrenos con pendientes de 45%, las taladoras hacen un trabajo más completo en predios con poca pendiente y los skidder son más efectivos en terrenos planos.

Ackerknecht (1995), señala que el comportamiento de los mercados internacionales han indicado a las empresas del rubro la conveniencia de aumentar la cosecha forestal; la que a comienzos del siglo XXI, significará una producción de alrededor de 25 millones de metros cúbicos sólidos sin corteza (1974 = 4.9 millones  $m^3$ ssc; 1993 = 20.0 millones  $m^3$ ssc). Lo anterior se vincula a la creciente incorporación de unidades mecanizadas en faenas forestales, las que de 40

unidades en el año 1960 han aumentado a 1250 en el año 1992.

En síntesis, las cifras y datos expuestos, demuestran que la cosecha forestal en Chile avanza aceleradamente a una completa mecanización de las faenas.

2.2.3 Objetivos de la mecanización. Becker (1989), afirma que el aumento de la masa boscosa y de la calidad de los productos a obtener del bosque; así como el paso de producir 11 millones de m<sup>3</sup>/año en 1988, a 27 millones de m<sup>3</sup>/año en el 2000, hacen necesario el uso de nuevas técnicas y personal debidamente especializado, a fin de lograr las metas de producción planificadas.

Cejas (1991), sostiene que la mecanización de faenas forestales es una de las formas de cumplir compromisos de entrega de grandes volúmenes a costos razonables.

Fernández (1969), citado por Giacaman (1993), menciona que la evolución de sistemas tradicionales a mecanizados se debe, principalmente, a la necesidad de reducir los costos unitarios y alcanzar mayores niveles de producción.

La silvicultura cada vez más intensiva que se realiza en las plantaciones de *Pinus radiata* D.Don y *Eucalyptus spp.*, ha impulsado a las empresas forestales chilenas a mecanizar cada vez más las faenas; a fin de lograr extraer en forma rápida y eficiente los productos del bosque para cumplir con las metas propuestas (Toro, J. 1991).

Becker (1989), afirma que la mecanización y adopción de nuevas técnicas debe estar orientada principalmente a:

- Mantener la productividad dentro de costos razonables.
- Posibilitar la ejecución de faenas en el momento que se requiera una mayor producción (acelerar la producción y facilitar el proceso).
- Aumentar el nivel de especialización y la productividad del trabajador forestal, mejorando sus condiciones de vida.
- Mejorar el aprovechamiento económico del bosque.
- Disminuir la densidad de caminos.

En términos globales, Largo y Larraín (1986); Serón (1988); Becker (1988); Lineros (1992), citados por Giacaman (1993), concuerdan en que la mecanización trae consigo una serie de beneficios, los que en forma resumida son:

- Aumenta la producción de las operaciones.
- Disminuye los costos totales de la producción.
- Incrementa la calidad del producto.
- Simplifica el trabajo.
- Proporciona mayor seguridad en la zona del trabajo.
- Mayor desarrollo socio-económico del trabajador.

Rubinstein (1993), Gómez (1991) y Llona (1995), coinciden, en términos generales, en que la mecanización produce; mayor seguridad laboral y afabilidad medio ambiental, posibilita el trabajo nocturno, aumenta los rendimientos y mejora el aprovechamiento del bosque y el nivel socio-económico del trabajador forestal.

Ackerknecht (1995), indica que la mecanización en la cosecha forestal ha significado aumentos en productividad asociados a reducciones en la accidentabilidad. Lo anterior se visualiza mejor a través de la tabla 2.

TABLA 2. EFECTOS DE LA MECANIZACION EN LA PRODUCTIVIDAD Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LA COSECHA FORESTAL.

ítem	tipo de faena			
	tradicional	skidder	semi mecanizada	mecanizada
Productividad (m <sup>3</sup> ssc / jornada hombre)	3.1	5.7	16.8	29.6
Tasa accidentalidad (porcentaje anual)	18.5	11.6	10.8	6.5

Largo y Larraín (1986), señalan que la mecanización es un proceso de aplicación de maquinaria para aumentar la productividad y facilitar el esfuerzo humano, reemplazando la limitada capacidad física del hombre. En este aspecto, la mecanización significa una sustitución de mano de obra, pero a la vez, un aumento de la capacidad y desarrollo socio-económico del trabajador.

2.2.4 Proyecciones de la mecanización. Sin duda que el grado de mecanización alcanzado en faenas de cosecha forestal a sido un gran avance, pero el dinámico escenario en que se desenvuelve el sector, hace necesario una

continúa investigación de técnicas y sistemas que permitan cumplir con los variados requerimientos de los mercados.

Becker (1989), señala que las principales líneas de investigación que se deben seguir en el área de cosecha son:

- La introducción de nuevos equipos y técnicas.
- El aprovechamiento económico del recurso bosque.
- Caminos (accesibilidad interna y externa).
- Planificación y programación.
- Recurso humano.

Hakkila y Mery (1992), indican que las posibilidades de corta en plantaciones de pino insigne y eucalipto se duplicarán para el año 2000. Tan rápido desarrollo creará la necesidad de aumentar la productividad del trabajo.

El trabajo forestal es físicamente duro y riesgoso. Los mayores problemas se producen en la recolección y encastillado de madera. Para evitar el sufrimiento humano, y también por razones empresariales y socio-económicas, se deben diversificar las labores de los trabajadores forestales y mejorar las condiciones del trabajo en la



cosecha, así como sus instrumentos, máquinas y técnicas. Además se deben desarrollar los sistemas de cosecha, las ropas e implementos de seguridad, la organización del trabajo, las rotaciones de las diversas tareas, la capacitación y el desarrollo de las actitudes (Hakkila y Mery, 1992).

Eeronheimo y Mäkinen (1995), sostienen que en el futuro cercano, el obstáculo más grande para la mecanización de la cosecha, será la capacitación profesional de la fuerza laboral.

Del mismo modo, Ackerknecht (1995), señala que el vertiginoso incremento de la potencia de los equipos, unido al alto grado de respuesta de sus controles y mandos a acciones mínimas del operador, hacen necesario aumentar la capacitación de los trabajadores, logrando de esta forma, optimizar los resultados en productividad, calidad, prevención de riesgos y protección ambiental.

### 2.3 Procesadoras

Lineros (1989), define a las procesadoras como máquinas capaces de trabajar en la zona de corta y a borde de

camino, teniendo como función el desramar y trozar los árboles uno por uno, para luego apilar los productos.

Vignote et al. (1993), definen a las procesadoras como máquinas que desraman y trozan el árbol después de apeado, pudiendo realizar alguna otra función; como puede ser el clasificado o el apilado.

Staaf y Wiksten (1984), al igual que Lineros (1989), clasifican a las procesadoras en:

- Procesadoras en zona de corta: Estas máquinas son adecuadas para el sistema de aprovechamiento de madera corta. Siguiendo la pista de las cortadoras-apiladoras. Los árboles dejados por estas máquinas deben quedar perpendiculares a la dirección de marcha de las procesadoras.
- Procesadoras a borde de camino: La producción es más alta debido a las mejores condiciones de trabajo. Presenta el inconveniente de tener que limpiar los desechos acumulados, debiendo ser las canchas lo suficientemente amplias para ejecutar en forma cómoda las operaciones de trozado y transporte de la madera.

Vignote *et al.* (1993), clasifican a las procesadoras en función de su movilidad del siguiente modo:

- **Máquinas automotrices:** Son las de uso más general. Se caracterizan por la posibilidad de introducirse en el monte y acceder a la madera situada a pie de tocón o en las zonas de reunión del monte. Se suelen utilizar a continuación de las máquinas taladoras-apiladoras o después del apeo y reunión manual.
- **Máquinas móviles:** Son aquellas que necesitan de un medio externo para poder desplazarse, generalmente un camión; por lo que no pueden acceder al interior del monte, debiendo trabajar en los parques de madera. Se suelen emplear a continuación de las máquinas de saca, e incluso, después de un primer desembosque.

#### 2.4 Harvester

Vignote *et al.* (1993), definen a las cosechadoras como máquinas que voltean, desraman y trozan el árbol, pudiendo realizar también funciones de clasificado y apilado. Además, aclaran que algunos autores reservan la denominación cosechadora para aquellas máquinas que, además de estas funciones, realizan la saca de madera.

Los mismos autores clasifican a las cosechadoras en función del número de garras que poseen:

- Cosechadoras de garra (grapple harvester): Son aquellas que disponen de un cabezal unido al extremo de un brazo, con el que realizan el apeo, desrame y trozado de los árboles. A su vez, este tipo de máquinas se clasifican, según si el brazo es del tipo articulado (tipo grúa) o es un brazo de volteo, unido al chasis del tractor.
- Cosechadoras (harvester): Son aquellas que disponen de un cabezal exclusivamente de apeo, dispuesto en el extremo de la grúa y de una plataforma de procesado situada en el semichasis trasero.

Mery (1991), concuerda, en términos generales, con Tufts y Brinker (1993), al describir estas máquinas como cosechadoras multipropósitos que efectúan labores de corte del fuste y, simultáneamente, desrame y trozado dejando los trozos apilados en terreno. A su vez, disponen de un sistema computacional que mide de manera continua el diámetro y longitud de las trozas, lo que permite llevar un computo exacto de la cantidad de madera removida. Además cuentan con dirección hidráulica, buena visibilidad, luces que le permiten trabajar de noche y bajo nivel de ruido y vibración en la cabina de operación. Estas máquinas están

provistas de un cabezal, el que efectúa las operaciones de corta, desrame y trozado; siendo adaptable a diversos diámetros. Su amplio ángulo de rotación en diversos planos y la pluma articulada de largo alcance (hasta 10 m) sobre la que va montada, la hacen ideal para trabajar en lugares de difícil acceso.

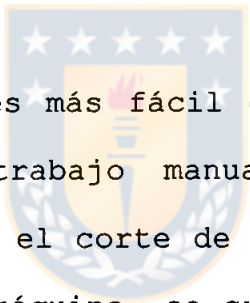
Las propiedades más destacables de los cabezales, son la transmisión hidráulica de goma a los rodillos de alimentación de acero, lo que permite una constante presión en el agarre, sin importar el diámetro del tronco, y sus cuchillos desramadores que realizan un seguimiento a la geometría del fuste, los que se mueven de tres o cuatro pares, quedando uno fijo. Dichos cuchillos se controlan independientemente de los rodillos alimentadores.

El diámetro de corte, según especificaciones técnicas, puede llegar a los 66 cm y en el caso de las ramas a 44 cm.

Al respecto, Eeronheimo y Mäkinen (1995) mencionan lo agradable y seguro que es trabajar en la cabina de las cosechadoras; equipadas con aire acondicionado, protegidas del polvo y de la lluvia y donde las vibraciones del trabajo son considerablemente amortiguadas, estando los mandos situados en correcta forma ergonómica. Además en el diseño de la maquinaria se han tomado en cuenta las

variables ergonómicas concernientes a los trabajos de mantención y reparación. Gracias a los buenos focos que poseen se puede trabajar durante las 24 horas del día.

Los mismos autores señalan que, una máquina de corta que trabaje las 24 horas equivale, por los menos, a la labor efectuada por veinte operarios de corta, lo que, evidentemente disminuye el riesgo de accidentes y facilita el transporte de personal.



En corta mecanizada es más fácil orientar la dirección de caída que con el trabajo manual. Como inmediatamente después de efectuarse el corte de caída, la base del fuste se desplaza hacia la máquina, se crea un mayor espacio para la caída del árbol. Por las razones anteriormente mencionadas las fracturas de árboles son menores, si se compara con el corte manual, tanto en el caso de los árboles que se derriban como en los que se dejan en pie. El trabajo de corta se complica cada vez más cuando, por ejemplo, hay que tomar en cuenta las complejas exigencias de medición y calidad de las trozas destinadas a la exportación. Gracias a los rodillos u otros mecanismos de medición que poseen las cosechadoras para medir el largo y el diámetro de los rollos y gracias a la automatización de

esta medición, resulta fácil controlar las variadas exigencias simultáneas de medición y calidad. Con la corta mecanizada, los productos se mantienen más uniformes y se facilita el cumplimiento y control de estándares de calidad internacionales.

En cuanto a la inclinación de la pendiente, ésta limita en algún grado las posibilidades de uso de las cosechadoras. En Escocia se usan cosechadoras de 6 a 8 ruedas para pendientes hasta del 70%. A pesar de que en Chile, técnicamente se llegaría a pendientes equivalentes, no sería recomendable operar en ellas desde una perspectiva ecológica. Debido al grano fino del suelo y a los inviernos lluviosos de Chile, el trabajo en pendientes tan abruptas causaría problemas de erosión. Como valores límites indicativos se podría señalar un 55% de pendiente (Eeronheimo y Mäkinen,1995).

Todas las cualidades de esta máquina la convierten en polifuncional, siendo una buena alternativa para distintas condiciones de trabajo y etapas en un sistema de cosecha. Así lo entienden algunas empresas forestales chilenas, como, Forestal Mininco S.A.y Forestal Chile S.A., que desde hace algún tiempo, las han destinado a trabajar como procesadoras en cancha, cuando las condiciones climáticas

(trabajo en invierno) o de visibilidad (trabajo nocturno) son adversas.

2.4.1 Estudios realizados sobre harvester. En el año 1991 la empresa Forestal y Agrícola Monté Aguila S.A. junto con Ponsee S.A. y Fundación Chile, implementan, a modo experimental, una cadena de cosecha forestal completamente mecanizada, constituida por un harvester Norcar HS 15, provisto de un cabezal procesador H 60 y un forwarder Norcar S 15.

La causa principal para que el grupo Santa Fe (al que pertenece Forestal y Agrícola Monte Aguila S.A.) tuviese interés en la tecnología de cosecha escandinava fue el firme propósito de aumentar la seguridad laboral. Según las investigaciones desarrolladas por la empresa, el nivel de riesgo calculado por cada metro cúbico cosechado es, en el caso de la cosecha mecanizada, sólo un 3% en comparación con el nivel de riesgo que se corren aplicando los métodos tradicionales de cosecha, basados en el uso de los tractores arrastradores. En esta comparación se han tomado en cuenta la frecuencia de ocurrencia y la gravedad de los accidentes. El proyecto de desarrollo de la cosecha tuvo, entre otros objetivos, la rebaja de costos, el aumento



significativo de las cantidades cosechadas y la reducción del impacto al medio ambiente.

El área de operaciones se situó en rodales de pino radiata y eucalipto, con pendientes de hasta un 30%.

Durante el periodo de seguimiento, que duró desde febrero de 1992 hasta mayo de 1993, el harvester obtuvo un nivel de producción mensual promedio de 6372 m<sup>3</sup>scc, lo que corresponde a una cantidad anual cortada de 76 474 m<sup>3</sup>scc. Se trabajó un promedio de 270 horas mensuales (3 240 hr/año), siendo la productividad promedio de 24.1 m<sup>3</sup>/hr. Los mayores rendimientos fueron obtenidos en plantaciones de pino radiata y rodales homogéneos de eucalipto, alcanzándose niveles hasta un 30% mayores por hora efectiva máquina.

El estudio entregó como resultados; un aumento de la productividad en relación a lo esperado, una real posibilidad de trabajar en pendientes mayores a la presupuestada, un costo operacional significativamente menor (20%) y sin accidentes, menor compactación del suelo (45%), un mejor aprovechamiento del bosque y menores gastos en administración (Rubinstein, 1993; Eeronheimo y Mäkinen, 1995).

Continuando con la línea de investigación de cadenas de cosecha completamente mecanizadas, la empresa Forestal y Agrícola Monte Aguila realizó un nuevo estudio de las máquinas harvester Ponsse Ergo HS 15 y Forwarder Ponsse Ergo S 15. La recopilación de datos fue entre el 11 y 18 de noviembre de 1994 en el predio Rucamanqui (propiedad de la empresa), situado aproximadamente a 130 kilómetros al sur-este de Concepción. La faena consistió en cortar una plantación de pino radiata, sin raleos, de 23 años de edad. La extensión de la faena fue de 46 ha. La inclinación de la pendiente en la parte inferior del área de corta era del 20% y en la parte superior del 30%. El suelo estaba constituido por arcilla volcánica. La densidad inicial del rodal era de 950 árboles/ha y la merma por aprovechamiento con corteza fue de 483 m<sup>3</sup>/ha. Por lo tanto, el tamaño promedio de los fustes era de 0.51 m<sup>3</sup> con corteza. Como el rodal no había sido raleado, las existencias no eran homogéneas. El diámetro a la altura del pecho de los árboles vivos variaba entre 5 y 53 centímetros. La distribución por clase de dap de los árboles cultivados para diversos surtidos de madera se muestra en la siguiente figura.

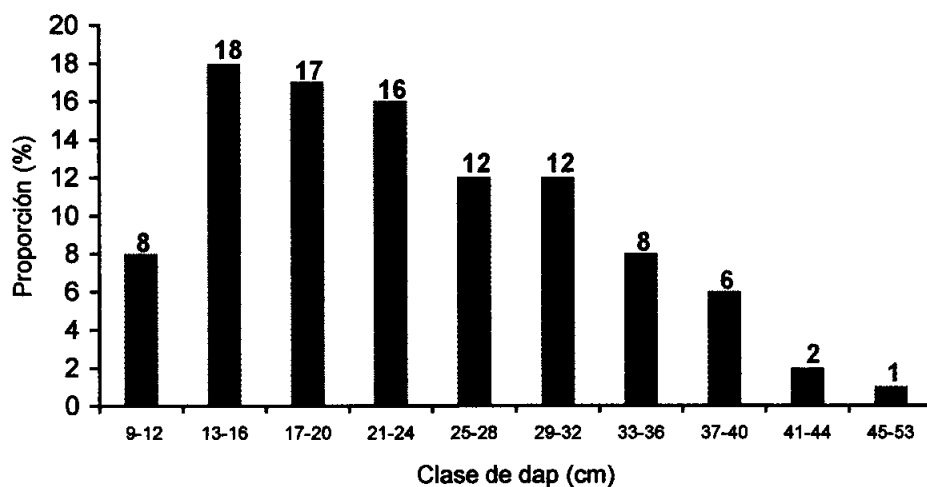


FIGURA 1. Distribución por clase de dap de los árboles cultivados para variados surtidos de madera.

El material de investigación del harvester estuvo conformado por 857 árboles. Para determinar la curva de altura de los árboles se midió el dap y la altura a 23 ejemplares, siendo seleccionado uno de cada diez que se cortaban. La curva de altura obtenida fue la siguiente:

$$H = 8.4755 * \ln (d)$$

H = altura (m)

d = diámetro a la altura del pecho (cm)

El volumen total de los ejemplares que conformaron el material de estudio fue de 434 m<sup>3</sup> sólido con corteza.

El tiempo efectivo de trabajo fue distribuido en elementos por árbol y por punto de trabajo. Los datos por individuo fueron el diámetro, el tiempo de operación, clase de dificultad y factores que retrasaron la manipulación de la madera. También se anotaron los casos en que se quebraron los árboles al voltearlos. En parte de los individuos se registraron los tiempos por fase de trabajo con mayor detalle, separando las siguientes etapas; desplazamiento de la máquina al pie del árbol, corte de caída y desplazamiento del cabezal hasta la posición adecuada para el desrame y el trozado. La información registrada por lugar de trabajo fue el tiempo y trayectoria del desplazamiento, inclinación de la pendiente y el tiempo ocupado en manipulación de ramas, apilado de los trozos y limpia del sotobosque. Las interrupciones fueron anotadas por separado. Para calcular el volumen aprovechable por fuste se utilizó el formulario 2 (Prueba y corrección 1979). La proporción de corteza se estimó en un 15% del volumen total. A continuación se muestra la fórmula usada:

$$V = 0.001881 + 0.000000349531 * d^2 * h * f$$

V = volumen de la parte aprovechable sin corteza (m<sup>3</sup>)

d = diámetro a la altura del pecho (cm)

h = altura (m)

f = coeficiente de forma de Girard (Clase de forma Girard)

Los resultados del estudio de tiempo y rendimiento para el harvester fueron:

El tiempo de trabajo productivo fue dividido en efectivo y en interrupciones menores a 15 minutos. El porcentaje en que participa cada elemento que compone este tiempo es expuesto en la siguiente figura.

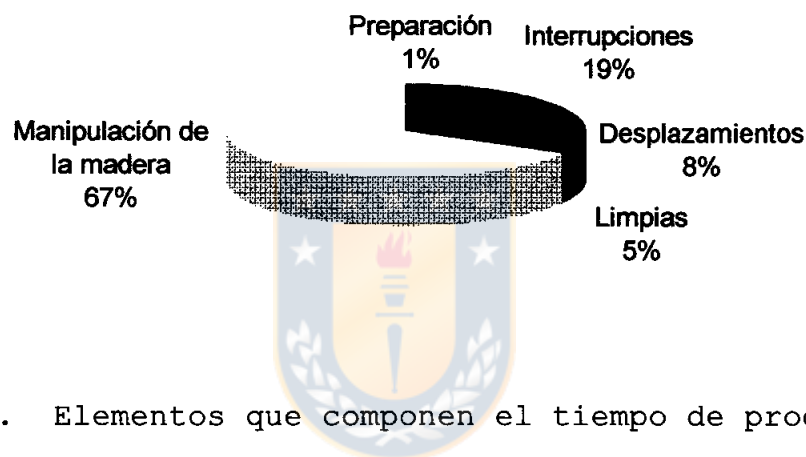


FIGURA 2. Elementos que componen el tiempo de producción.

A continuación se muestra un análisis de los elementos que componen el tiempo de producción:

- **Desplazamiento:** Este término hace referencia al movimiento de la máquina desde un lugar a otro. La fase de trabajo se inicia en el momento en que se mueve la máquina y termina cuando se inicia la acción del cabezal de corta sobre el tronco del árbol para voltearlo. Esta fase también incluye planificación, diagnóstico preliminar del punto de trozado y, en el caso de los raleos, la selección de los

ejemplares que serán extraídos. El ancho de las fajas fue de 11m y el tiempo de desplazamiento promedio por fuste fue de 10 ctmin. El declive de la pendiente y la mayor proporción de árboles de gran tamaño hicieron aumentar la necesidad de los desplazamientos en trayectos cortos. En la tabla 3 se muestra la distribución de los desplazamientos por categorías de tramos y velocidades.

TABLA 3. DISTRIBUCION DE LOS DESPLAZAMIENTOS POR CATEGORIAS DE LONGITUD DE TRAYECTOS Y VELOCIDADES PROMEDIO.

categoría del trayecto m	proporción de los desplazamientos %	trayecto promedio de desplazamiento m	velocidad promedio de desplazamiento	
			km/hr	m/min
1 - 3	86	2.0	0.9	14.6
4 - 6	8	4.8	0.9	15.2
7 - 10	2	9.0	1.4	23.7
11 - 20	2	14.6	1.7	27.8
21 y más	2	63.3	2.0	33.4

- Manipulación de la madera: El tiempo involucrado en esta actividad aumentó en la medida que creció el diámetro de los árboles, aunque también hubo algunos individuos de

manipulación lenta, siendo de diámetros pequeños. De 857 árboles estudiados, la manipulación de 105 fue claramente más lenta que el promedio, tal como lo demuestra la tabla 4. La mayor parte de las causas concernientes al retardo tienen relación con las características del fuste. El pino radiata se horquilla fácilmente y también las torceduras son comunes. Las ramas individuales de más de 10 cm y varias de 8 a 10 cm de diámetro, situadas en el mismo verticilo, retardaron claramente el desrame. Los defectos de funcionamiento del dispositivo para medir la longitud y los descuidos humanos causaron algunas caídas intencionadas e involuntarias de los fustes.

TABLA 4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RETARDO DE LA MANIPULACION DE LA MADERA.

Factor	Número de fustes	Proporción de los fustes (%)
Horquillado	63	7.4
Torcedura	19	2.2
Ramas	7	0.8
Rugosidad	5	0.6
Densidad	2	0.2
Viento	1	0.1
Caídas	8	0.9

- **Limpieza y preparación:** El limpiar la zona de trabajo de árboles de tamaño inferior al requerido y del sotobosque demandó el 5% del tiempo productivo de la máquina. El gasto estimado por individuo fue de 6 ctmin.

La preparación consistió en desplazar los residuos de corta y los trozos que no habían sido considerados como árboles individuales, ocupando un ctmin por árbol, aproximadamente. La proporción de esta fase de trabajo del tiempo productivo fue del 1%.

- **Interrupciones:** La magnitud de las interrupciones menores a 15 minutos abarcó el 19% del tiempo productivo. Las pérdidas de tiempo por este concepto fueron estimadas en 23 ctmin por árbol. La distribución de las interrupciones es expuesta en la figura 3.

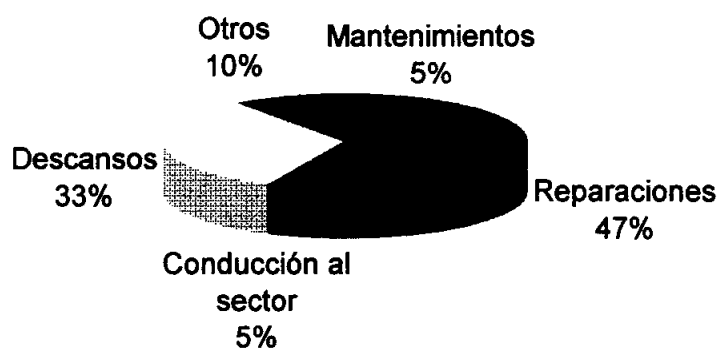


FIGURA 3. Distribución de interrupciones menores a 15 minutos.



La productividad promedio del harvester fue de 24.6 m<sup>3</sup>scc durante una hora de trabajo. El rendimiento se vió negativamente afectado cuando el diámetro a la altura del pecho excedió los 40 cm.

En cuanto a la calidad del trabajo, éste sólo fue evaluado ocularmente; sin embargo, pudo determinarse falta de orden en la clasificación y apilado de los productos, ausencia de tocones altos y diferencias entre el largo objetivo de los trozos y el obtenido (Eeronheimo y Mäkinen; 1995).

Entre julio y septiembre del año 1993, Forestal Mininco S.A. llevó a cabo un seguimiento de raleos y cortas finales desarrolladas por las empresas de servicios Biggeman y CIA., Sefore, Sotrafor, Serfocol y Lolenco, todas las que cuentan con maquinaria altamente sofisticada como harvesters, forwarders, feller-buncher y otras, para realizar sus faenas. Los objetivos principales del estudio fueron determinar rendimiento y calidad de trabajo de los equipos (Hermosilla, 1993).

Eeronheimo y Mäkinen (1995), citando a Hermosilla (1993), resumieron los resultados obtenidos por los harvesters de la siguiente forma:

- En raleos la productividad promedio de cuatro cosechadoras Timberjack 608/762B fue de  $13\text{m}^3/\text{hr}$ . El tiempo de uso correspondió a 3 244 horas anuales, equivaliendo a una producción anual de  $42\ 000\ \text{m}^3$  aproximadamente. Se empleó la misma maquinaria en una faena de corta final de rodales sin raleo, obteniéndose un volumen total de  $7\ 975\ \text{m}^3$  y una producción por hora de  $24.9\ \text{m}^3/\text{ssc}$ .
- En cortas finales realizadas por dos cosechadoras Timberjack 2618 con cabezal Waratah 230 HTH y una retroescavadora dotada con similar cabezal, se obtuvo una productividad promedio de  $21.7\ \text{m}^3/\text{hr}$ . El uso de la máquina equivalió a 2 675 horas anuales y la corta a  $58\ 000\ \text{m}^3/\text{año}$ , aproximadamente (Eeronheimo y Mäkinen, 1995).

Tufts y Brinker (1993), analizaron el trabajo de dos harvester Norcar 600 H, ejecutando operaciones de volteo, desrame y trozado en un sistema de segundo raleo escandinavo. Los objetivos fueron determinar funciones de tiempo para cada etapa del trabajo y comparar la productividad entre un operador finlandés y un americano.

Las características que presentaron los rodales, al momento de ser intervenidos, según operador son mostradas en la tabla siguiente.

TABLA 5. CARACTERISTICAS DE LOS RODALES POR OPERADOR.

característica	operador finlandés	operador americano
Especie	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda</i>
Edad	19	19
Densidad inicial (árb./acre)	230	300
Densidad final(árb./acre)	110	140
Dap medio (pulgada)	8.3	7.7
Volumen medio (pies <sup>3</sup> /árbol)	11.55	8.77
Nºde piezas promedio por Árbol	2.56	2.38

El ciclo de trabajo fue dividido en tres elementos: selección-volteo, procesamiento y movimiento. Los resultados obtenidos por operador, para los dos primeros elementos, se presentan resumidamente en la tabla 6.

TABLA 6. TIEMPOS PROMEDIOS DE LOS ELEMENTOS SELECCIÓN-CORTA Y PROCESAMIENTO.

elemento	operador finlandés	operador americano
Selección y corta (seg/árbol)	10.67	10.82
Procesamiento (seg/árbol)	13.88	15.33
Total (seg/árbol)	24.56	26.15

Los autores, refiriéndose a la tabla anterior, indicaron que el tiempo de selección y corta para ambos operadores, fue aproximadamente de 11 segundos; lo que demuestra que la diferencia entre los tiempos totales se debió al tiempo de procesamiento.

Con el propósito de obtener el volumen comerciable y el número de piezas por árbol, se desarrollaron los siguientes modelos, todos basados en el diámetro a la altura del pecho.

$$V(f) = 4.050 * dap - 10.56 * \ln(dap)$$

$$V(a) = 3.991 * dap - 10.92 * \ln(dap)$$

$$\text{Piezas}(f) = -0.8691 + 1.641 * \ln(dap)$$

$$\text{Piezas}(a) = -1.737 + 2.044 * \ln(dap)$$

Donde:

V = volumen comerciable (pies<sup>3</sup>)

X(f) = ecuación para el operador finlandés

X(a) = ecuación para el operador americano

X = piezas o volumen

Siendo los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) para los modelos elaborados de: 0.888; 0.915; 0.411 y 0.518, respectivamente.

Los autores observaron que los árboles volteados por el operador finlandés presentaban mayor volumen que los volteados por el americano para igual diámetro, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tiempos de selección y corta. Esto llevó a concluir que el tiempo ocupado en este elemento, depende más de la habilidad del operador que del tamaño del árbol.

En cuanto al procesamiento, elemento que incluye ubicación, desrame y trozado, se apreció que los factores que producen las mayores variabilidades son los tiempos de ubicación y procesamiento de la primera pieza.

Basándose en el coeficiente de determinación, se determinó que el volumen comerciable fue el mejor predictor de este elemento. Los modelos desarrollados para cada operador fueron:

$$\text{Pr}(f) = 3.716 + 2.343 * \text{piezas} + 0.1297 * \text{piezas} * \text{volumen}$$

$$\text{Pr}(a) = 4.773 + 2.835 * \text{piezas} + 0.1619 * \text{piezas} * \text{volumen}$$

$$r^2(a) = 0.603$$

$$r^2(f) = 0.636$$

Donde:

$\text{Pr}(x)$  = tiempo de procesamiento (seg)

$r^2(x)$  = coeficiente de determinación

Al analizar el tiempo de procesamiento, los autores encontraron importantes diferencias entre los operadores; alcanzando 1.7 y 4.9 segundos para árboles de 5 pies<sup>3</sup> (1 pieza) y 25 pies<sup>3</sup> (3 piezas), respectivamente. La presencia de árboles bifurcados y torcidos fueron el motivo de los mayores tiempos en este elemento.

En relación al movimiento, se pudo precisar que depende, en gran medida del espaciamiento inicial y final de los rodales.

La tabla 7 entrega los valores promedios del tiempo empleado en movimientos y el número de árboles cosechados por ubicación de trabajo, para cada operador.

TABLA 7. VALORES PROMEDIOS DEL TIEMPO EMPLEADO EN MOVIMIENTOS Y EL NUMERO DE ARBOLES COSECHADOS POR LUGAR DE TRABAJO.

ítem	operador finlandés	operador americano
Tiempo de movimientos (seg)	15.5	16.51
Arboles cosechados por lugar de trabajo	2.98	2.34
Tiempo por árbol (seg)	5.20	7.06

Como conclusión los autores señalaron:

- La variable más importante en la productividad de los equipos fue el tamaño de los árboles.
- El tiempo de selección y corta fue, prácticamente independiente al tamaño de los árboles.
- El tiempo de procesamiento dependió fuertemente del volumen comerciable y del número de piezas por árbol.
- El elemento movimiento demandó, aproximadamente, el 20% del tiempo productivo de las máquinas; lo que afectó negativamente sus rendimientos.

## 2.5 Consideraciones para la realización de estudios de faenas

Anaya y Christiansen (1986), plantean que para realizar estudios de operaciones forestales se deben tener en cuenta algunos aspectos básicos como:

- Definir el objetivo del estudio.
- Limitar el estudio en base al dap, método, especie y otros.
- Elegir el lugar o lugares de estudio (considerando condiciones de rodal, topografía y de organización) que sean representativas de toda la población sobre la cual se generalizaran los resultados.
- Usar un número suficiente de repeticiones.
- Describir convenientemente el lugar de trabajo.
- Elegir trabajadores con aptitudes físicas y capacitados en los métodos de trabajo.
- Clasificar el tiempo de trabajo.

Appelroth (1985), citado por Valdés y Apud (1988), sostiene que el objetivo principal de los estudios de faenas, es la obtención de tiempos estándar para las diferentes faenas forestales. Estos tiempos estándar obedecen a trabajadores



calificados que son capaces de realizar un trabajo sin sobre exigencias excesivas durante la jornada de trabajo, ciñéndose a un método prescrito y encontrándose motivados por su tarea.

2.5.1 Estudio del trabajo. Alvarez (1992), define estudio del trabajo como la expresión que se utiliza para designar las técnicas del estudio de métodos y de la medida del trabajo, mediante los cuales se asegura el aprovechamiento posible de los recursos humanos, equipos y materiales para llevar a cabo una tarea determinada.

Appelroth (1985), sostiene que, a menos que el contenido del trabajo no se haya estandarizado mediante un método de estudio sistemático y seguido estrictamente por el operario entrenado para este método, los elementos de trabajo innecesarios y atrasos evitables conducirán a interpretar erróneamente cuál alternativa de método de trabajo es mejor (citado por Valdés y Apud, 1988).

2.5.2 Estudio de tiempos. Alvarez (1992), señala que un estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una

tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecida.

El mismo autor indica que los motivos por los cuales se realiza un estudio de tiempos son:

- Novedad en la tarea no ejecutada previamente.
- Cambio de método que requiere un nuevo tiempo tipo.
- Relaciones laborales; asignación de tiempos a una determinada operación (trabajadores).
- Retrasos en una operación.
- Cambio de criterio de la dirección, como la aplicación de un sistema de remuneraciones por rendimiento.

Valdés y Apud (1988), afirman que en estudios de tiempo se usa el cronometraje y registro de tiempo de los diferentes elementos que conforman el ciclo de trabajo.

Los mismos autores explican que se entiende por elemento, a una parte distintiva de un trabajo específico, seleccionado por conveniencia de observación, medición y análisis. Además, definen ciclo de trabajo como una secuencia de elementos, los cuales se requieren para ejecutar un trabajo

u obtener una unidad de producción. La secuencia puede, algunas veces, incluir elementos ocasionales.

Al respecto Alvarez (1992), señala que elemento, es una parte esencial y definida de una actividad o tarea determinada, compuesta de uno o más movimientos de una máquina o las fases de un proceso seleccionado para fines de observación y cronometraje. Además, define ciclo de trabajo como la sucesión completa de los elementos necesarios para llevar a cabo una actividad, una tarea determinada o para obtener una unidad de producción. Puede incluir elementos que no se repiten con cada ciclo.

Staaf y Wiksten (1984) y Alvarez (1992), coinciden en que en el cronometraje del tiempo se pueden utilizar las siguientes formas:

- Cronometraje acumulativo o continuo: El reloj funciona en forma ininterrumpida durante todo el estudio.
- Cronometraje con repetición o vuelta a cero: En este caso al terminar cada elemento se hace volver el reloj a cero, y así cronometrar inmediatamente el elemento siguiente.

Alvarez (1992), indica que es aconsejable un estudio de tiempos en los siguientes casos:

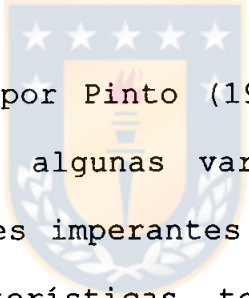
- Como preliminar a un estudio de métodos.
- Cuando se debe comprobar la eficacia de dos métodos propuestos.
- Para investigar la utilización de una parte de las instalaciones cuya producción sea baja o que permanezca inactiva indebidamente.
- Cuando el costo de un trabajo determinado parezca excesivo.

Giacaman (1993), sostiene que según diversos autores, cada operación de la cosecha de bosques debe ser desglosada en sus etapas relevantes y, a través de estudios de rendimiento, determinar los tiempos parciales de cada una de ellas y el tiempo total de la operación. Posteriormente, este tiempo se relaciona con la producción para expresar el rendimiento en unidades de producción por unidad de tiempo.

Con estudios de tiempo en faenas de cosecha forestal es posible identificar cuáles son las variables de mayor incidencia dentro de los distintos elementos que componen el ciclo de trabajo. Es así como Apud et al. (1989),

determinan los factores que más influyen sobre los tiempos de trabajo, y en consecuencia, sobre los rendimientos en una faena de cosecha mecanizada.

En volteo, las variables más importantes son el dap, diámetro basal y altura de tocón. Para desrame, estas variables son el dap y el número de verticilos por árbol. En trozado, las variables más importantes son el dap, número de cortes por árbol, número de cargas por unidad de tiempo y número de trozas por carga del equipo de madereo.



Arrúe (1985a) citado por Pinto (1990), afirma que también deberían considerarse algunas variables referidas a las condiciones ambientales imperantes en el lugar de estudio, como son las características topográficas (pendiente), dificultades de desplazamiento (escabrosidad) y efecto de la temperatura ambiente.

De igual forma, Valdés y Apud (1988), señalan que la capacitación, vivienda, alimentación, recreación e higiene; entre otras, son variables realmente influyentes sobre los rendimientos.

Anaya y Christiansen (1986), afirman que la selección final de variables, consideradas principales, debe ser un

compromiso entre la precisión de los resultados y la simplicidad de ejecución del estudio.

Anaya y Quevedo (1975) citados por Pinto (1990), sostienen que se debe considerar la variación del rendimiento durante el día para lograr una mayor precisión en los resultados, ya que no es lo mismo el rendimientos de los trabajadores en las horas de la mañana, del medio día o por la tarde; cuando éstos se encuentran fatigados.



### III. MATERIALES Y METODO

#### 3.1 Material y equipo

Para la toma de información en terreno se utilizó el siguiente equipamiento y material: un cronómetro sexagésimal digital marca Casio, un clinómetro marca Suunto, una forcípula, una huincha de distancia, pintura spray. Además, se dispuso de material cartográfico y fotográfico.

Para el procesamiento de la información recolectada en terreno, se utilizó un computador marca Acer, modelo Acermate DX4.

##### 3.1.1 Características técnicas del equipo.

3.1.1.1 Descripción general. Las características generales de la máquina FMG Timberjack 2618 son presentadas en el apéndice (Tabla 1A).

En las figuras 4 y 5 siguientes se muestran dos vistas del equipo harvester FMG Timberjack 2618.

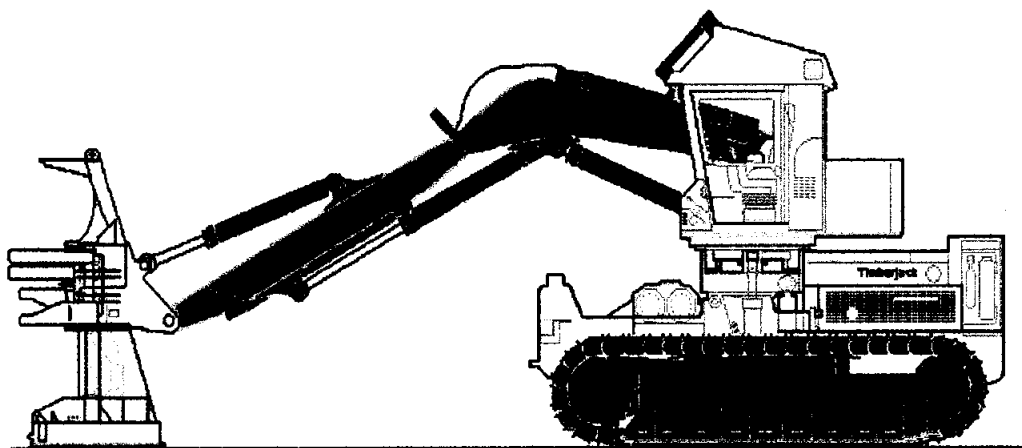


FIGURA 4. Vista lateral del harvester FMG Timberjack 2618.

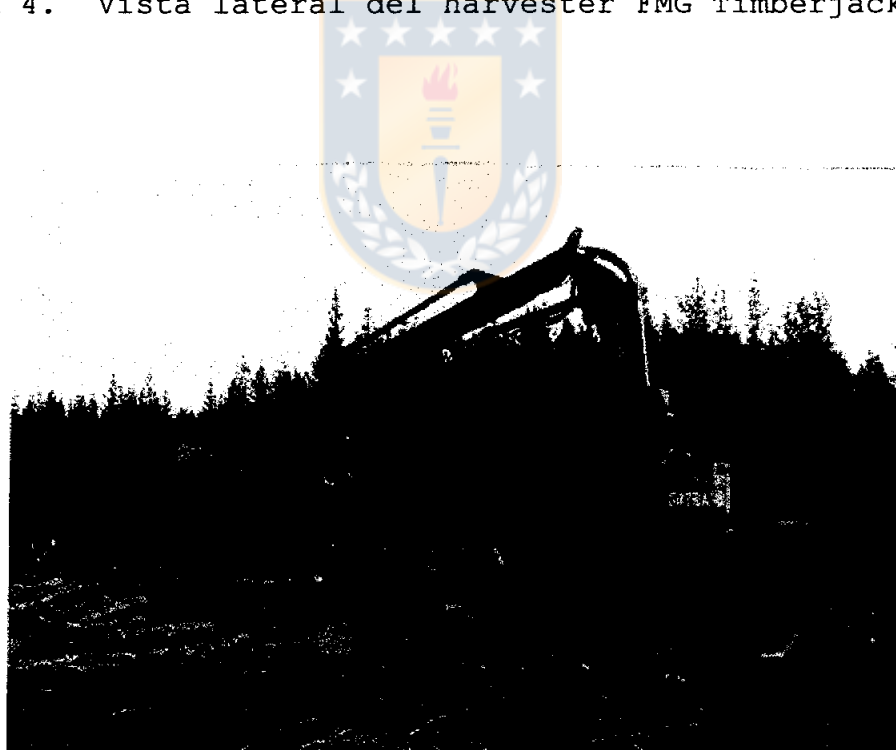


FIGURA 5. Imagen del harvester FMG Timberjack 2618 procesando.



3.1.1.2 Cabezal cosechador. La máquina está equipada con un cabezal de garra simple marca Waratah modelo 230 HTH, capaz de combinar simultáneamente operaciones de volteo, desrame, trozado y medición. El peso de la unidad alcanza los 1700 kg (figura 6)

Para efectos de medición, el cabezal está conectado a un microprocesador marca Waratah, diseñado para programar el trozado de seis a diez longitudes distintas.

La tabla 8 presenta las características generales del dispositivo de corta.



TABLA 8. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL CABEZAL COSECHADOR WARATAH 230 HTH.

operación	características
Alimentación	Tres rodillos de acero, impulsados por motores hidráulicos. Velocidad de alimentación 0 - 3.5 m/seg. (0 - 11.5 pies/seg)
Volteo y trozado	Espada de corte accionada por un cilindro hidráulico y el giro de la cadena proporcionado por un motor hidráulico. Diámetro máximo 20 pulgadas (50cm), capacidad de corte 18 pulgadas. (45cm)
Desrame	Dos brazos móviles dotados de cuchillos desramadores, accionados por un cilindro hidráulico. Un cuchillo flotante.
Medición	Un sprocket (rueda) sensor de longitud. Un cilindro sensor de diámetro.

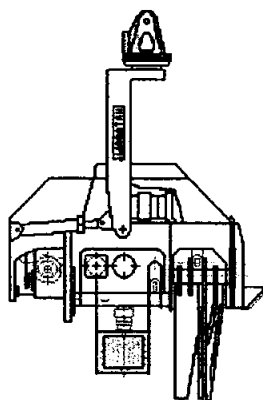


FIGURA 6. Cabezal cosechador Waratah 230 HTH.

### 3.2 Metodología

3.2.1 Selección del área de estudio. Para seleccionar el área de estudio se consideraron los siguientes factores: características del equipo, sitio, características del bosque, estacionalidad, tipo de intervención y sistemas de aprovechamiento.

3.2.2 Descripción del área de estudio. El estudio se realizó en el predio Lisahue, propiedad de la empresa Forestal Chile S.A., el que se encuentra ubicado en la IX Región, Provincia de Cautín, Comuna de Nueva Imperial; a

una distancia aproximada de 4 km al oeste del pueblo de Nueva Imperial.

Los suelos del lugar pertenecen a la serie Araucano (\*), los que se caracterizan por presentar una topografía ondulada a quebrada, pendientes promedio del 18% y una susceptibilidad moderada a la erosión. Son suelos maduros con buen drenaje y una textura franco arcillosa moderadamente fina. El clima de la zona es mediterráneo frío, con una precipitación media anual de 1 400 mm la que en un 46% se concentra en invierno, un 22% tanto en otoño como en primavera y sólo un 10% en verano. La temperatura máxima media alcanza los 23°C y la mínima media los 3.5°C.

El bosque cosechado estaba constituido por rodales de *Pino radiata*, que presentaban un raleo a desecho y tenían 24 años de edad.

Los estimadores promedios de los rodales se presentan en la tabla 9.

(\*) Fuente: Suelos. Descripciones Proyecto Aereofotogramétrico Chile/OEA/BID. Instituto de investigación de recursos naturales, CORFO. Publicación N°2. Noviembre, 1964.

TABLA 9. ESTIMADORES PROMEDIOS DE LOS RODALES.

densidad (árbol/ha)	dap (cm)	altura (m)	área basal (m <sup>2</sup> /ha)	volumen (m <sup>3</sup> ssc/ha)
584	31.3	29.2	46.6	485.1

### 3.2.3 Descripción del sistema de trabajo en terreno.

3.2.3.1 Aspectos generales. La información de terreno se obtuvo en una faena de cosecha final de un bosque a tala rasa, usando como sistema de aprovechamiento el de árbol entero. La faena fue llevada a cabo por la empresa de servicios forestales Sotrafor Ltda., contratista de la empresa Forestal Chile S.A..

3.2.3.2 Organización de la faena. La faena implementada fue completamente mecanizada, utilizándose, según la actividad de trabajo, la siguiente maquinaria:

a. Volteo y apilado: Esta actividad fue realizada por un feller-buncher marca Morbark modelo 6 300.

b. Madereo: Los árboles enteros fueron extraídos desde la zona de corta por un skidder truck con grapple marca

Caterpillar, modelo D4H TSK y llevados a orilla de camino, dejándolos en pilas.

c. Procesamiento y ordenamiento de los productos: Los árboles enteros fueron desramados y trozados en cancha, por un harvester FMG Timberjack 2618. El posterior ordenamiento y clasificación de los distintos productos obtenidos fue realizado por un trineumático marca Bell, modelo 220.

La figura 7, muestra una esquematización de la maquinaria y sistema de aprovechamiento utilizado.



FIGURA 7. Esquema operacional del sistema de aprovechamiento árbol entero implementado.

3.2.3.3 Personal. El personal que trabajó en la faena, se detalla en la tabla 10.

TABLA 10. PERSONAL QUE TRABAJO EN EL DESARROLLO DE LA FAENA.

personal	cantidad	función
Operador Feller-Buncher	1	Operar máquina de volteo y apilado
Operador Skidder	1	Operar máquina de madereo
Operador Procesador	1	Operar máquina de desrame y trozado
Operador Trineumático	1	Operar máquina de ordenamiento

3.2.3.4 Descripción de los productos obtenidos. En tabla 11, se muestra el esquema de trozado utilizado.

TABLA 11. ESQUEMA DE TROZADO.

tipo de producto	diámetro mínimo (cm)	largo (m)
Exportable	20.0	11.1 - 7.4 5.5 - 3.7
Aserrable	16.0	4.1
Pulpable	8.0	2.0

3.2.4 Determinación del tamaño de la muestra. Para la determinación del tamaño de la muestra, se consideró una población infinita con un muestreo aleatorio simple, considerando un error máximo admisible (E) de 10%, con un nivel de confianza del 95% y un coeficiente de variación (CV) obtenido de un premuestreo. La fórmula usada fue la siguiente.

$$N = \frac{t^2 * CV^2}{E^2}$$

Donde:

N = Número de unidades muestrales  
t = Valor t de student

3.2.5 Estudio de tiempos. El estudio realizado corresponde a un estudio de tiempo continuo, que consistió en medir el tiempo que demoró el cosechador en ejecutar los elementos del ciclo de trabajo, incluyendo las demoras y los tiempos materiales.

3.2.5.1 Descripción de los tiempos.

3.2.5.1.1 Ciclo de trabajo. El ciclo de trabajo fue dividido en cuatro elementos, los que a continuación se describen.

- Tiempo de posicionamiento: Considera el tiempo desde que el cabezal inicia su movimiento con el árbol tomado, hasta que se detiene en la ubicación adecuada para iniciar el procesamiento.
- Tiempo de procesamiento: Comienza cuando el árbol es ubicado en la posición adecuada para ser procesado, o cuando la sierra es accionada, iniciándose la medición, hasta que se realiza el último corte en el fuste.
- Tiempo de traslado del cabezal: Es el tiempo que transcurre desde que finaliza el último corte en el árbol, hasta que el cabezal toma el árbol siguiente.
- Tiempo de desplazamiento: Considera el tiempo empleado por el equipo en desplazarse dentro de una misma zona de procesamiento.

#### 3.2.5.1.2 Otros tiempos.

- Tiempos materiales: Corresponde al tiempo empleado en traslados (traslado del equipo desde la zona de trabajo al lugar de abastecimiento y control), mantenciones normales,



fallas y reparaciones (tiempos destinados a asistencia mecánica no rutinaria, se incluyen las detenciones debido a salidas o cortes de cadenas).

- Demoras: Son tiempos ajenos a la labor normal, tales como: recibir instrucciones, descansos programados, necesidades personales, cabezal utilizado para limpiar u ordenar los productos en el sitio de trabajo y otros.

3.2.5.2 Clasificación de los tiempos. Los tiempos medidos en los elementos del ciclo de trabajo se clasificaron en:

- Tiempos variables: Son aquellos que presentan una correlación con el número de cortes realizados en el fuste y corresponde al tiempo de procesamiento.
- Tiempos fijos: Comprenden aquellos tiempos que no presentan relación alguna con la variable explicatoria y corresponden a los tiempos de posicionamiento, traslado del cabezal, desplazamiento y demoras.
- Otros tiempos fijos: Son tiempos que no dependen de alguna variable explicatoria, tienden a ser fijos, pero no

son componentes permanentes del ciclo de trabajo, sin embargo, aportan indirectamente a la producción (corresponden a los tiempos materiales).

3.2.6 Estimación del volumen. Con el propósito de estimar el volumen de todos los árboles procesados, previamente se les midió el diámetro a la altura del pecho y la altura total. Con esta información, se procedería a utilizar un software denominado Bruce-93, propiedad de la empresa Forestal Chile S.A., el cual corresponde a una función de ahusamiento que entrega el volumen en metros cúbicos sólidos sin corteza por árbol. Sin embargo, al momento de solicitar dicho programa la empresa explicó la imposibilidad de facilitarlo por estar clasificado como información estratégica, entregando en su reemplazo los valores de volúmenes por clase diámetrica, información con la cual se desarrolló el presente estudio.

3.2.7 Modelos matemáticos. El tiempo fijo total (Tft) se determinó, a través de la sumatoria de los tiempos fijos promedios de posicionamiento (p), traslado del cabezal (tc), desplazamiento (d), tiempos materiales (tm) y demoras (dm).

El tiempo variable de procesamiento se correlacionó con el número de cortes realizados en el fuste, ocupando para ello el método de Stepwise. Luego se probaron diferentes modelos matemáticos, lo que permitió obtener funciones de tiempo variable del ciclo de trabajo.

Para seleccionar el (los) mejor (es) modelo (s), se utilizaron las siguientes pruebas estadísticas: coeficiente de determinación ajustado ( $\bar{R}^2$ ), error estándar de estimación (EEE) y análisis de varianza (F). Los coeficientes de regresión de las funciones fueron determinados mediante el método de mínimos cuadrados.

3.2.8 Estudio del rendimiento. Las funciones de rendimiento se construyeron a partir de las funciones de tiempo total y del volumen promedio por ciclo de trabajo, según la siguiente relación (Guell y Frisk, 1971).

$$\text{FUNCION DE RENDIMIENTO} = \frac{\text{Volumen promedio (m}^3\text{ssc/ciclo)} * 60}{\text{Función de tiempo total (min/ciclo)}}$$

(m<sup>3</sup>ssc/hr)

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos en el estudio de tiempos y rendimientos.

##### 4.1 Estudio de tiempos

4.1.1 Resultados generales. Considerando como elemento muestral el ciclo de trabajo del equipo, se determinó un tamaño de muestra igual a 68 ciclos; utilizando para éllo la relación entregada en metodología, más un coeficiente de variación de 41.2% obtenido de un premuestreo. Sin embargo, en la práctica se controlaron 242 ciclos de trabajo.

El volumen total procesado por la máquina durante el período de estudio fue de 185.641 m<sup>3</sup>ssc, con un promedio por ciclo de 0.767 m<sup>3</sup>ssc y valores extremos de 0.129 y 1.826 m<sup>3</sup>ssc.

Los tiempos involucrados en la jornada de trabajo se dividieron de acuerdo a la actividad que se desarrolló en ellos. Es así como el procesamiento, traslado del cabezal, desplazamiento y posicionamiento se consideraron tiempos

directamente productivos; en cambio las demoras y los tiempos materiales fueron reconocidos como indirectamente productivos.

En la figura siguiente se ilustra la distribución de los tiempos totales consumidos por actividad durante el período de estudio.

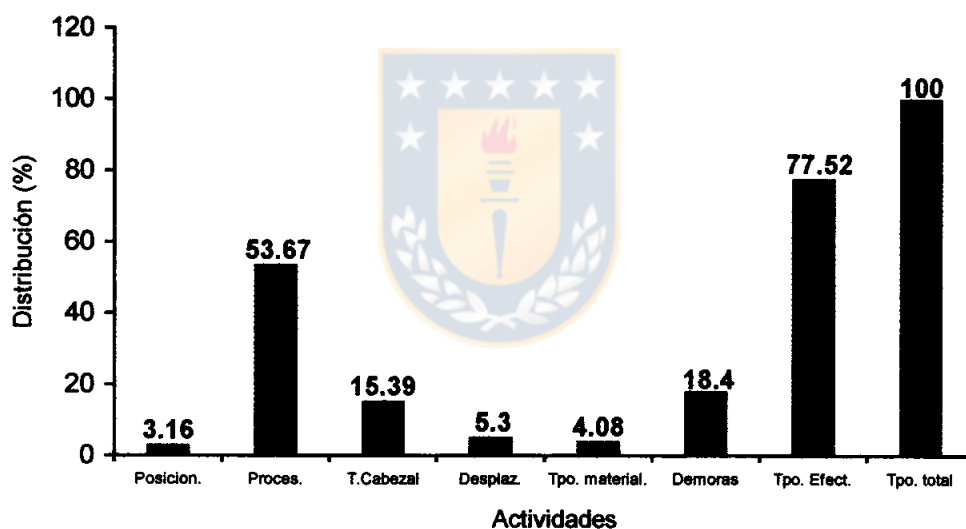


FIGURA 8. Distribución porcentual de los tiempos totales consumidos por actividad de trabajo.


De la figura anterior se desprende que los tiempos directamente productivos o efectivos de la jornada de trabajo abarcaron el 77.52%, y los indirectamente productivos el 22.48%. Importante porción del tiempo se

concentró en demoras, si se considera que en gran medida estas pueden ser evitables, siendo, aproximadamente, la tercera parte del tiempo de procesamiento.

4.1.2 Tiempos fijos. Corresponden a aquellos tiempos que no presentan relación alguna con la variable considerada como explicatoria.

En la tabla 12 se entregan los tiempos fijos promedios por actividad de trabajo.

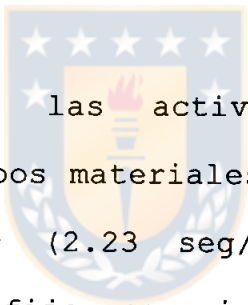
TABLA 12. TIEMPOS FIJOS PROMEDIOS POR ACTIVIDAD DE TRABAJO.



actividad	tiempos fijos	
	seg/ciclo	porcentaje (%)
Posicionamiento	2.23	6.80
Traslado del cabezal	10.90	33.22
Desplazamiento	3.76	11.46
Tiempos materiales	2.89	8.81
Demoras	13.03	39.71
Tiempo total	32.81	100.00

Al analizar la tabla anterior, se puede apreciar que el traslado del cabezal utilizó el 33.22% del tiempo fijo por ciclo, lo que equivale a 10.9 seg. Estos valores lo

ubicaron en segundo orden de importancia en relación con las demás actividades, y en el primero, si es comparado sólo con los elementos que formaron parte del ciclo de trabajo del equipo. El factor que mayor incidencia tuvo en este elevado tiempo, fue el deficiente orden con que eran dejados los árboles en la zona de trabajo, encontrándose muchas veces entrecruzados, lo que dificultó considerablemente el rápido accionar del cabezal en la toma de los mismos.



La participación de las actividades posicionamiento, desplazamiento y tiempos materiales fue de menor magnitud, variando desde 6.80% (2.23 seg/ciclo) a 11.46% (3.76 seg/ciclo) del tiempo fijo por ciclo.

En relación a las demoras, estas fueron las que tuvieron mayor influencia en el tiempo fijo por ciclo, alcanzando el 39.71% lo que corresponde a 13.03 segundos.

La distribución de los tiempos fijos promedios por actividad es expuesta en la figura 9.

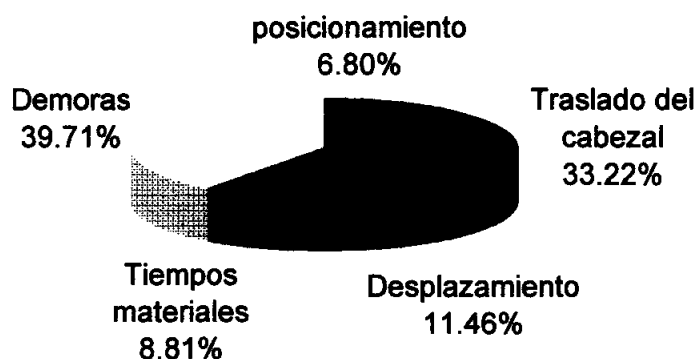


FIGURA 9. Distribución porcentual de los tiempos fijos promedios por actividad de trabajo.

Debido a la importancia que tuvo el tiempo en demoras, en la tabla 13 se muestran los componentes que la formaron, clasificados en evitables y no evitables.

TABLA 13. COMPONENTES DEL TIEMPO TOTAL DE DEMORAS, CLASIFICADOS EN EVITABLES Y NO EVITABLES.

componentes	tiempos	
	minutos	porcentaje
• No evitable		
Instrucciones	3.53	6.72
• Evitable		
Ordenamiento de trozos	3.16	6.01
Despeje de cancha	2.33	4.43
Paso de camiones	21.34	40.59
Cambio de sector	10.83	20.60
Conversando	3.50	6.66
Desayuno	7.88	14.99
Tiempo total	52.57	100.00



En la tabla 13 es posible observar que el 93.28% (49.04 min) de los tiempos que formaron las demoras, eran perfectamente evitables, y sólo el 6.72% (3.53 min) eran no evitables. Esto refleja la falta de planificación de la faena de acuerdo a las condiciones existentes en terreno. El componente claramente de mayor incidencia, y evitable, fue el paso de camiones; con el 40.59% (21.34 min) de participación en el tiempo total de demoras, seguido por el cambio de sector con un 20.60% (10.83 min).

En la figura 10 se indica la distribución de los componentes que formaron el tiempo en demoras .

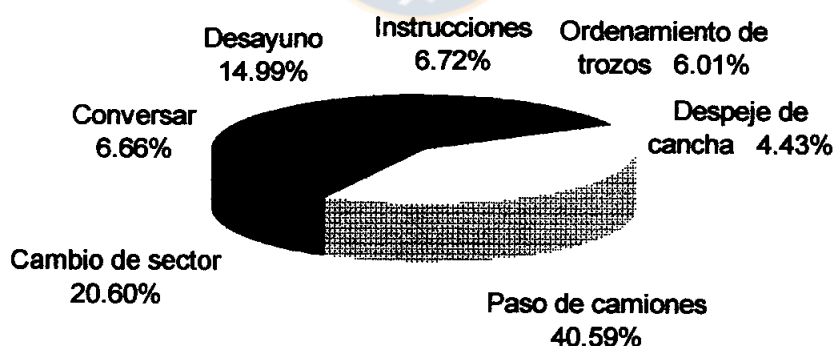


FIGURA 10. Distribución porcentual de los componentes de tiempo que formaron las demoras.

4.1.3 Tiempos variables. Como tiempo variable se consideró el de procesamiento, por ser el único que presentó una buena correlación con la variable explicatoria "Número de cortes" seleccionada.

Los modelos probados para el tiempo variable y sus principales estimadores estadísticos, son entregados en la tabla 14.

TABLA 14. VALORES DE  $\bar{R}^2$ , EEE Y F DE LOS MODELOS PROBADOS.

Nº	Modelo	$\bar{R}^2$	EEE (%)	F
1.	$Tv = F (\ln(Nc))$	0.89	9.39	1956.49
2.	$Tv = F (\ln(Nc)/Nc^2)$	0.87	10.18	1626.19
3.	$Tv = F (Nc * \ln(Nc))$	0.87	10.33	1573.17
4.	$Tv = F (Nc^2)$	0.83	11.70	1173.09
5.	$Tv = F (\ln(Nc)^2, \ln(Nc))$	0.89	9.13	1039.04
6.	$Tv = F (Nc, 1/Nc)$	0.89	9.20	1017.23
7.	$Tv = F (1/Nc^{0.5}, 1/Nc, \ln(Nc)/Nc^2)$	0.90	8.97	721.89
8.	$Tv = F (\ln(Nc)^2, \ln(Nc), 1/\ln(Nc))$	0.89	8.99	718.95
9.	$Tv = F (1/(1+(Nc/C)^D))$	0.89	9.07	701.92
10.	$Tv = F (1/(1+((Nc-C)/D)^2))$	0.89	9.13	693.13

Tv: Tiempo variable.

Nc: Número de cortes.

El coeficiente de determinación ajustado ( $\overline{R^2}$ ) (que indica la proporción de la variación en la variable dependiente debido a la variable independiente), fluctuó entre 0.83 y 0.90, lo que demuestra la alta significancia de las regresiones.

El error estándar de estimación (EEE), presenta variaciones que van desde 8.97% para el modelo número 7, hasta 11.70% para el modelo número 4. En general, estas cifras señalan que el valor promedio predicho por las funciones tienen una baja variación en cada nivel de variable independiente.

El análisis de varianza (F), mediante la prueba de Fisher, indica que todos los modelos son significativos, encontrándose el mayor valor en el modelo número 1 y el menor en el número 10.

Las funciones de regresión de tiempo variable son presentadas en el apéndice (Tabla 2A).

4.1.4 Tiempo total. Las funciones de tiempo total del ciclo de trabajo se presentan en el apéndice (Tabla 3A).

#### 4.2 Estudio de rendimiento

En base a la relación formada por el volumen promedio procesado por ciclo de trabajo y las funciones de tiempo total, se originan las funciones de rendimiento. Estas son presentadas en el apéndice (Tabla 4A).

Con el objeto de exponer el rendimiento promedio efectivo y total alcanzado por la máquina, se presenta la figura 11.

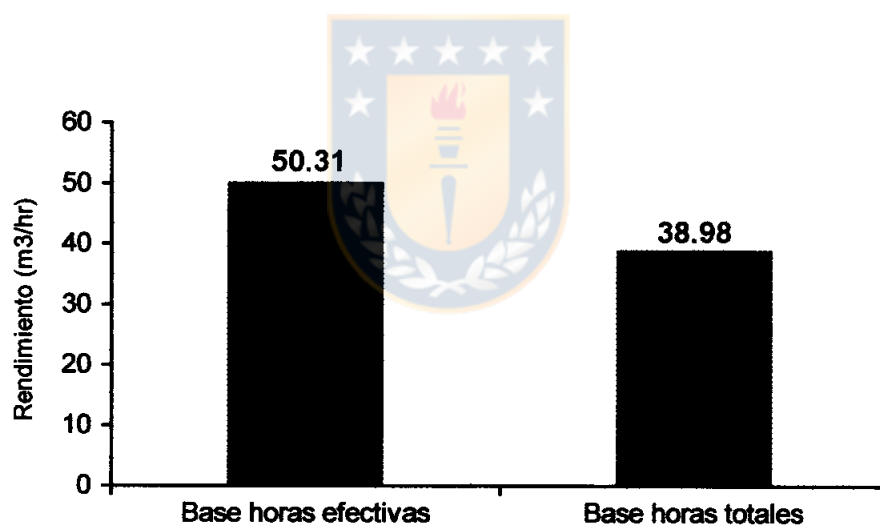


FIGURA 11. Rendimiento efectivo y total alcanzado por el equipo.

## V. CONCLUSIONES

1. El número de cortes practicados al fuste fue la variable que mejor explicó las fluctuaciones de tiempo en el procesamiento. Además, en ésta se reflejaron características de los árboles como diámetro, altura y número de verticilos, todos aspectos que inciden directamente en el tiempo de procesamiento.

2. Mediante el uso de las pruebas estadísticas, coeficiente de determinación ajustado, error estándar de estimación y análisis de varianza, se puede concluir que el modelo mejor ajustado al tiempo variable de procesamiento fue el siguiente:

$$T_v = F(1/Nc^{0.5}, 1/Nc, \ln(Nc)/Nc^2) \text{ (seg/árbol)}$$

3. Dentro de los elementos que formaron el ciclo de trabajo, el que tuvo mayor participación, como tiempo fijo, fue el traslado del cabezal, debido al deficiente apilado de los árboles en la zona de trabajo.

4. Las condiciones climáticas en las cuales se desarrollaron los trabajos no influyeron mayormente en los rendimientos; más relevante fue la falta de planificación de la faena, lo que se tradujo en elevados tiempos por demoras.

5. El destinar un equipo con las características técnicas de un harvester a trabajar como procesador, se tradujo, en la subutilización de este, repercutiendo negativamente en su potencial productividad.



## VI. RESUMEN

El estudio consistió en realizar una evaluación de tiempos y rendimientos del equipo harvester FMG Timberjack 2618, trabajando como procesador en cosecha final de rodales de *Pinus radiata* D. Don de 24 años de edad durante época de invierno.

La faena se llevó a cabo en el predio Lisahue, propiedad de la empresa Forestal Chile S.A., ubicado en la IX Región, provincia de Cautín, comuna de Nueva Imperial. Los suelos pertenecen a la serie Araucano, con una topografía ondulada a quebrada y pendientes promedio del 18%. El clima de la zona es mediterráneo frío, caracterizándose por presentar una precipitación media anual de 1 400 mm, concentrándose el 46% de ésta en invierno. Las temperaturas medias oscilan entre los 3.5°C y 23°C.

Para la obtención de datos se controlaron los tiempos a 242 ciclos de trabajo, además se registraron algunos parámetros de los árboles que permitieran explicar las variaciones de dichos tiempos. Con esta información, se determinaron

funciones de tiempo total y rendimiento, utilizando como variable explicatoria el número de cortes por árbol.

Los tiempos fijos participaron con el 46.33% del tiempo total; siendo el 37.05% de éstos, perfectamente evitables.

El rendimiento promedio alcanzado por el harvester fue de 38.98 m<sup>3</sup>ssc/hr, con un tiempo efectivo del 77.52% y tiempos materiales más demoras del 22.48%.





## **SUMMARY**

The study consisted on making an evaluation of times and yieldings of the harvester FMG Timberjack 2618 equipment, working as a processing in finnish harvest of stands of *Pinus radiata* D. Don of 24 years old during the winter time.

The task was making in the Lisahue timberland, ownership of the Forestal Chile S.A. enterprise, its location is in the IX Region, province of Cautin, commune of Nueva Imperial. The soils belong to the series Araucano, with a topography undulated to ravine and pendent average of the 18%. The weather of the zone is mediterranean cold, and present an yearly average precipitation of 1 400 mm, concentrated a 46% from it in winter. The average temperatures are from 3.5°C to 23°C.

To get these data times were controlled to 242 job cycles, moreover some parameters of the trees were registered to explain the variations of these times. This information was used to determine functions of total times and

yielding, using the number of cuts per tree as explainable variable.

The common times take the 46.33% from the total time, being the 37.05% avoidable.

The average performance achieved for the harvester was 38.98 m<sup>3</sup>ssc/hr, with an effective time of the 77.52% and material times and delays of the 22.48%.



## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Ackerknecht, C. 1995. Optimización de la empresa forestal: Integración de productividad, calidad, prevención de riesgos y eco-eficiencia. En: Actas Seminario Internacional: Sistemas de producción forestal: Decisiones y técnicas. Julio 1995. Sección Producción y Medio ambiente. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Talca. Talca, Chile.
2. Ackerknecht, C. 1996. El sector forestal frente a los desafíos de los mercados internacionales. Lignum N°22, pp. 48. Marzo 1996. Santiago, Chile.
3. Alvarez, J. 1988. Revisión bibliográfica sobre madereo mecanizado en Chile: Programa de investigación y desarrollo en cosecha y transporte. Forestal Mininco. Concepción, Chile.
4. Alvarez, J. 1992. Técnicas de análisis de la producción. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Veterinarias y Forestales. Chillán, Chile. (Apunte cátedra: Utilización de Bosques)

5. Anaya, H. y P. Christiansen. 1986. Aprovechamiento Forestal, análisis de apeo y transporte. I.I.C.A.. San José, Costa Rica.
6. Apud, E., M. Cofré, N. Vargas y R. Burgos. 1989. Aspectos productivos y ergonómicos en una faena de tala rasa mecanizada de invierno. En: Actas II Taller Producción Forestal: Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Noviembre 1989. Cap. XIII, Fundación Chile. Concepción, Chile.
7. Becker, J., J. Silva, J. Alvarez, E. Gutiérrez. 1988. Nuevas técnicas y equipos en raleo comercial. En: Taller Producción Forestal: Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Noviembre 1988. Cap. X. Fundación Chile. Concepción, Chile.
8. Becker, J. 1989. Nuevas técnicas y equipos de cosecha a utilizar en el mediano plazo. En: II Taller Producción Forestal: Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Noviembre 1989. Cap. IV. Fundación Chile. Concepción, Chile.

9. Biggeman, R. 1992. Cosecha y transporte forestal. Empresas al servicio del desarrollo. Corma N°226, pp. 6-9. Mayo/Junio 1992. Santiago, Chile.
10. Cabaña, C. 1993. Situación actual y perspectivas del desarrollo forestal nacional. Revista Universum. Universidad de Talca. Talca, Chile.
11. Cejas, J. 1991. Raleo mecanizado en arenas. En: Actas III Taller Producción Forestal. Noviembre 1991. Cap. IV. Fundación Chile. Concepción, Chile.
12. Eeronheimo, O., P. Mäkinen. 1995. Desarrollo de cosecha forestal en las plantaciones de pino radiata en Chile. Serie informativa del instituto de investigaciones forestales de Finlandia 542. Helsinki 1995.
13. Frisk, S. T., E. G. Guell. 1971. Madereo mecanizado con tractor forestal articulado. Informe técnico N°40. INFOR. Santiago, Chile.

14. Giacaman, A. 1993. Estudio de tiempo, rendimiento y tensiones de cable para una torre de maderero Urus I-UNI en tala rasa. Memoria de Titulo, Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Chillán, Chile.
15. Gómez, J. 1991. Mecanización integral de faenas de cosecha. Lignum N°4, p.49. Septiembre 1991. Santiago, Chile.
16. Hakkila, P., G. Mery. 1992. Puun korjuu ja käyttö chilessä. Resumen: Explotación y uso de la madera en Chile. The finnish forest research institute. Research papers 428. 59 p.
17. Hermosilla, R. 1993. Experiencia de CMPC en mecanización de cosecha. En: Actas IV Taller Producción Forestal. Noviembre 1993. Cap. 3. Fundación Chile. Concepción, Chile.
18. INFOR, 1995. Estadística forestal 1994. Boletín Estadístico N°40. INFOR / CORFO. Santiago, Chile.

19. Largo, S. 1985. Principios y técnicas de extracción forestal con cables. Documento técnico N°9. Revista Chile Forestal. Santiago, Chile.
20. Largo, S., O. Larraín. 1986. Introducción de un sistema de cable aéreo en la extracción a tala rasa de Pino insigne. Renarres 8: 13-15.
21. Laroze. A., P. Backouse y R. De Toro. 1988. Modelo de planificación de la producción de rollizos. Tema 2. En: Fundación Chile. Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Actas I Taller Producción Forestal. Noviembre 1988. Concepción, Chile.
22. LIGNUM, 1996. Qué ocurrirá en el sector forestal durante 1996. Revista N°22, pp. 6-9. Marzo 1996. Santiago, Chile.
23. Lineros, M. 1989. Cátedra Maquinaria Forestal. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Veterinarias y Forestales. Chillán, Chile.

24. Lineros, M. 1992. Sistemas mecanizados de la cosecha forestal. Boletín de Extensión N°53. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Veterinarias y Forestales. Chillán, Chile.
25. Llona, O. 1995. Mecanización de faenas: Forestales en la noche. Lignum N°20, pp. 30-32. Septiembre 1995. Santiago, Chile.
26. Mery, G. 1991. Calidad y actividad forestal mecanizada. Chile forestal N°181, pp. 23-24. Febrero/Marzo 1991. Santiago, Chile.
27. Nader, S. 1992. Cosecha y transporte forestal. Empresas al servicio del desarrollo. Corma N°226, pp. 6-9. Mayo/Junio 1992. Santiago, Chile.
28. Pinto, J. 1990. Determinación de funciones de tiempo, rendimiento y costo en subsistemas de volteo, desrame y trozado. Memoria de Título, Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Veterinarias y Forestales. Departamento de Ciencias Forestales. Chillán, Chile.



29. Pinto, G. 1993. Determinación de funciones de tiempo, rendimiento y costo, para la torre de maderero Koller K-300 dependiente, en raleo comercial. Memoria de Título, Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Chillán, Chile.
30. Rubinstein, A. 1993. Cosecha mecanizada con harvester y forwarder. Corma N°235, pp. 36-40. Noviembre 1993. Santiago, Chile.
31. Staaf, K., N. Wiksten. 1984. Tree harvesting techniques. Dordrecht. The Netherlands.
32. Toro, J. 1991. La mecanización de faenas forestales y su relación con la degradación del suelo. En: Acta III Taller Producción Forestal. Noviembre 1991. Cap. XX. Fundación Chile. Concepción, Chile.
33. Tufts, R., R. Brinker. 1993. Productivity of a Scandinavian cut-to-length system while second thinning pine plantations. Forest Products Journal. Vol. 43, N°11/12. pp. 24-32. U.S.A..

34. Valdés, S., E. Apud. 1988. Orientación para el mejoramiento de las condiciones de trabajo de los trabajadores forestales. En: Acta Taller Producción Forestal: Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Noviembre 1988. Cap. XIII. Fundación Chile. Concepción, Chile.
35. Valdevenito, G. 1994. Modelo matemático para el cálculo de la distancia promedio de madereo. Documento técnico N°83. Revista Chile Forestal. Santiago, Chile.
36. Vignote, S., J. Martos, M. Gonzalez. 1993. Los tractores en la explotación forestal. Departamento de economía y gestión de las explotaciones e industrias forestales. Escuela técnica superior de ingenieros de montes. Publicaciones IRYDA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. De. Mundo Prensa. Madrid 1993. 150p.



**VIII. APENDICE**

TABLA 1A. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO FMG  
TIMBERJACK 2618.

Dimensiones	
Peso	23 882 kg (sin accesorios)
Largo	4 877 mm (sin pluma)
Ancho	2 896 mm
Alto	4 216 mm
Altura libre sobre el suelo	640 mm
Performance	
Velocidad de traslado alta	Rango infinito de 0 a 2.5 mph (4.0 km/hr)
Velocidad de traslado baja	Rango infinito de 0 a 1.1 mph (1.7 km/hr)
Motor	
Marca	Cummins
Modelo	6 CT-8.3
Configuración	6 cilindros, turbo alimentados
Tipo	Diesel
Potencia	202 hp (150 Kw) a 2000 rpm
Torque	567 lbs-pie (768 N-m) a 1500 rpm
Cilindrada	8 300 cm <sup>3</sup>
Desplazamiento	505 pulg <sup>3</sup> (8.3 lts)
Estanque combustible	195 galls (738 lts)
Sistema enfriamiento	12.9 galls (49 lts)
Capacidad lubricante	11.6 galls (44 lts)
Filtro aire	Seco de dos elementos
Bomba vaciado aceite	Integral con acoplamiento flexible.

continúa...

Sistema eléctrico	
Alternador	24 volts 70 amp
Baterías	2 de 12 volts
Luces de trabajo	8 halógenas
Luces interiores	Compartimiento del motor y caja de válvulas
Protección	Interruptor automático total con reconexión manual
Carrier propulsor	
Sistema	De oruga tipo D6
Rodillos	8 inferiores y 2 superiores por lado sellados y lubricados de por vida. Protección inferior contra rocas, con cobertura total lateral a ambos lados.
Zapatas	De servicio severo de 24'' (600 mm) con una pestaña tipo Dozer
Máxima fuerza tracción	53 900 lbs
Pendiente superable	0.95 coeficiente tracción
Presión sobre el suelo	7.9 psi (54 kpa)
Sistema propulsor	
Propulsor de orugas	Tipo, reducción planetaria triple
Frenos de tracción	Internos en los planetarios
Frenos de estacionamiento	Aplicación por resortes con desconexión hidráulica
Propulsión de giro	Rotación 540 grados con parada automática
Propulsión de bomba	Acopladas al volante del motor mediante un disco flexible y engranajes reductores de velocidad
Bombas	Dos tipo pistón, una para cada mando de tracción
Motores hidráulicos	Dos tipo de pistón de desplazamiento variable

continúa...

Sistema hidráulico	
Estanque	65 galls (360 lts) sellado y presurizado. Con bomba manual para llenado
Bombas	Dos de pistón 4.88 pulg <sup>3</sup> * rev (80 cc * rev.) Una de desplazamiento variable Una piloto de 11.5 gpm a 550 psi (30 lts a 3 792 kpa). Una de engranajes de 28 gpm a 2200 psi (106 lts a 15 172 kpa)
Presión de controles	550 psi (3 792 kpa)
Filtros	Flujo de retorno total de 5 micrones con 22 psi de by pass
Enfriador de aceite	Delante del radiador de tres corridas, tipo bisagra, de fácil limpieza
Motor de giro	7.6 rpm con 2500 lbs-pie (3 450 kg-m) de torque con freno integral
Mangueras	De 4 y 6 mallas en alta presión
Juegos de plumas	
Alcance mínimo	10' 3'' (3 124 mm)
Alcance máximo	24' 4'' (7 416 mm)
Capacidad de levante	15 600 lbs (7 076 kg) a 11' 9'' (3 581mm)
Cabina y controles	
Cabina espaciosa cerrada y presurizada, con estructura integral de protección. Vidrios Lexan de seguridad, con calefacción y aire acondicionado. Insonorizada con aislación y control de temperatura. Asiento ajustable con suspensión. Controles tipo Joystick, montados en los descansabrazos. Barra de seguridad bloqueadora de operaciones. Inclinación de cabina con control manual, lateral a ambos lados 19 grados (35% pendiente lateral) y delantera 27 grados (50% pendiente). Extintor de incendios, claraboya superior.	

TABLA 2A. FUNCIONES DE TIEMPO VARIABLE.

N°	Funciones
1.	$T_v = 2.5489551 + 25.817506 * \text{Ln}(\text{Nc})$
2.	$T_v = 59.534642 - 230.5625 * \text{Ln}(\text{Nc})/\text{Nc}^2$
3.	$T_v = 20.723399 + 2.6913117 * \text{Nc} * \text{Ln}(\text{Nc})$
4.	$T_v = 23.182518 + 0.72797539 * \text{Nc}^2$
5.	$T_v = 11.305532 + 5.7796935 * (\text{Ln}(\text{Nc}))^2 + 10.853758 * \text{Ln}(\text{Nc})$
6.	$T_v = 23.978698 + 4.8876366 * \text{Nc} - 24.494628/\text{Nc}$
7.	$T_v = 97.255587 - 148.47284/\text{Nc}^{0.5} + 180.75914/\text{Nc} - 349.58714 * \text{Ln}(\text{Nc})/\text{Nc}^2$
8.	$T_v = -79.293828 - 14.027662 * (\text{Ln}(\text{Nc}))^2 + 86.586571 * \text{Ln}(\text{Nc}) + 33.314943/\text{Ln}(\text{Nc})$
9.	$T_v = 14.976492 + 50.876049 / (1 + (\text{Nc}/4.3888081)^{-2.3740264})$
10.	$T_v = -397.84729 + 456.81762 / (1 + ((\text{Nc} - 9.8358075)/26.273462)^2)$

Donde:

$T_v$  : Tiempo variable de procesamiento, seg.  
 $N_c$  : Número de cortes.

TABLA 3A. FUNCIONES DE TIEMPO TOTAL.

N°	Funciones
1.	$Tt = 35.3589551 + 25.817506 * \ln(Nc)$
2.	$Tt = 92.344642 - 230.5625 * \ln(Nc)/Nc^2$
3.	$Tt = 53.533399 + 2.6913117 * Nc * \ln(Nc)$
4.	$Tt = 55.992518 + 0.72797539 * Nc^2$
5.	$Tt = 44.115532 + 5.7796935 * (\ln(Nc))^2 + 10.853758 * \ln(Nc)$
6.	$Tt = 56.788698 + 4.8876366 * Nc - 24.494628/Nc$
7.	$Tt = 130.065587 - 148.47284/Nc^{0.5} + 180.75914/Nc - 349.58714 * \ln(Nc)/Nc^2$
8.	$Tt = -46.483828 - 14.027662 * (\ln(Nc))^2 + 86.586571 * \ln(Nc) + 33.314943/\ln(Nc)$
9.	$Tt = 47.786492 + 50.876049 / (1 + (Nc/4.3888081)^{-2.3740264})$
10.	$Tt = -365.03724 + 456.81762 / (1 + ((Nc - 9.8358075)/26.273462)^2)$

Donde:

Tt : Tiempo total, seg.

Nc : Número de cortes.



TABLA 4A. FUNCIONES DE RENDIMIENTO.

N°	Funciones
1.	$R = \frac{46.02 * 60}{35.3589551 + 25.817506 * \ln(Nc)}$
2.	$R = \frac{46.02 * 60}{92.344642 - 230.5625 * \ln(Nc) / Nc^2}$
3.	$R = \frac{46.02 * 60}{53.533399 + 2.6913117 * Nc * \ln(Nc)}$
4.	$R = \frac{46.02 * 60}{55.992518 + 0.72797539 * Nc^2}$
5.	$R = \frac{46.02 * 60}{44.115532 + 5.7796935 * (\ln(Nc))^2 + 10.853758 * \ln(Nc)}$
6.	$R = \frac{46.02 * 60}{56.788698 + 4.8876366 * Nc - 24.494628 / Nc}$
7.	$R = \frac{46.02 * 60}{130.065587 - 148.47284 / Nc^{0.5} + 180.75914 / Nc - 349.58714 * \ln(Nc) / Nc^2}$
8.	$R = \frac{46.02 * 60}{-46.483828 - 14.027662 * (\ln(Nc))^2 + 86.586571 * \ln(Nc) + 33.314943 / \ln(Nc)}$
9.	$R = \frac{46.02 * 60}{47.786492 + 50.876049 / (1 + (Nc / 4.3888081)^{-2.3740264})}$
10.	$R = \frac{46.02 * 60}{-365.03724 + 456.81762 / (1 + ((Nc - 9.8358075) / 26.273462)^2)}$

Donde:

R : Rendimiento, m<sup>3</sup>/hr.  
Nc : Número de cortes.