

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente**



**TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DE LOS EQUIPOS  
HARVESTER 608 Y FORWARDER 1010 DE TIMBERJACK  
EN INTERVENCION DE RALEO SELECTIVO**



**RICARDO ENRIQUE LANDEROS BURGOS**

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

**CONCEPCION - CHILE  
1996**

**TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DE LOS EQUIPOS  
HARVESTER 608 Y FORWARDER 1010 DE TIMBERJACK  
EN INTERVENCION DE RALEO SELECTIVO**

Profesor Asesor



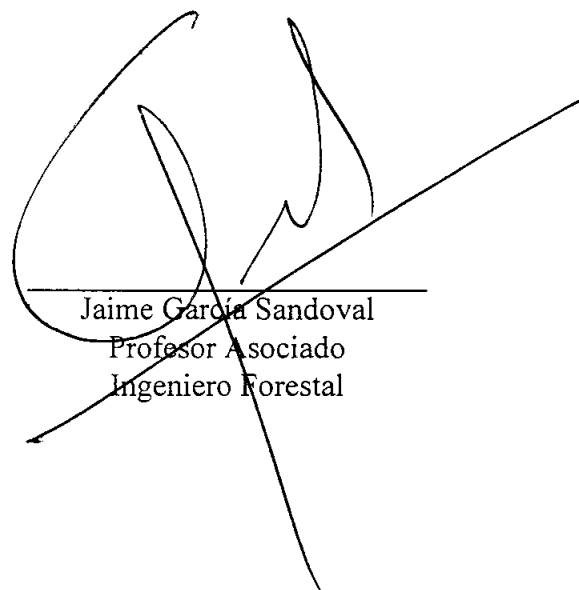
Manuel Lineros Parra  
Profesor Asistente  
Ingeniero Forestal; Mg. Sc.

Director Depto. Manejo de  
Bosques y Medio Ambiente



Fernando Drake Aranda  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal

Decano Facultad de Ciencias  
Forestales



Jaime García Sandoval  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal

## AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a todos los compañeros y amigos, que me estimularon, apoyaron y ayudaron por largo tiempo para el logro de esta tesis.

En especial, mis reconocimientos a don Manuel Lineros Parada y a don Waldo Cabezas Dávila, quienes con sus conocimientos y paciencia permitieron llevar a buen término esta Memoria.



## INDICE DE MATERIAS

CAPITULO	PAGINA
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
III. MATERIAL Y METODO.....	14
3.1 Materiales y equipo.....	14
3.2 Metodología.....	17
3.2.1 Selección del área de estudio.....	17
3.2.2 Programación de las operaciones.....	19
3.2.3 Estudio de tiempos y rendimientos.....	20
3.2.3.1 Medición de tiempos.....	20
3.2.3.2 Clasificación de los tiempos.....	21
3.2.3.3 Definición de los tiempos componentes del ciclo del harvester.....	21
3.2.3.4 Definición de los tiempos componentes del ciclo del forwarder.....	23
3.2.3.5 Estudio de rendimientos.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	27
4.1 Estudios de tiempos harvester.....	27
4.1.1 Tiempos fijos.....	27
4.1.2 Tiempos variables.....	29
4.1.2.1 Tiempo de volteo.....	29

CAPITULO	PAGINA
4.1.2.2	Tiempo de desrame..... 30
4.1.2.3	Tiempo de trozado..... 31
4.2	Estudio de tiempos forwarder..... 32
4.2.1	Tiempos fijos..... 32
4.2.2	Tiempos variables..... 33
4.3	Estudio de rendimientos..... 35
4.3.1	Determinación de rendimiento del harvester Timberjack 608..... 35
4.3.2	Determinación de rendimiento del forwarder Timberjack 1010..... 35
V.	CONCLUSIONES..... 36
VI.	RESUMEN..... 37
	SUMMARY..... 39
VII.	BIBLIOGRAFIA..... 40
VIII.	APENDICE..... 43

## INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Características dasométricas del rodal	18
2	Tiempos fijos harvester en raleo selectivo	27
3	Tiempo de volteo. Modelos probados con su estadística asociada.	29
4	Tiempo de desrame. Modelos probados con su estadística asociada.	30
5	Tiempo de trozado. Modelos probados con su estadística asociada.	31
6	Tiempos fijos forwarder en raleo selectivo	32
7	Tiempos variables forwarder. Modelos probados con su estadística asociada.	33
	<u>En el apéndice</u>	
1A	Funciones regresión volteo harvester Timberjack 608	44
2A	Funciones regresión desrame harvester Timberjack 608	44
3A	Funciones regresión trozado harvester Timberjack 608	44
4A	Función rendimiento volteo harvester Timberjack 608	44
5A	Función rendimiento desrame harvester Timberjack 608	45
6A	Función rendimiento trozado harvester Timberjack 608	45

TABLA N°		PAGINA
7A	Función rendimiento total harvester Timberjack 608	45
8A	Función regresión viaje vacío forwarder Timberjack 1010	46
9A	Función regresión viaje cargado forwarder Timberjack 1010	46
10A	Función rendimiento forwarder Timberjack 1010	46



## INDICE DE FIGURAS

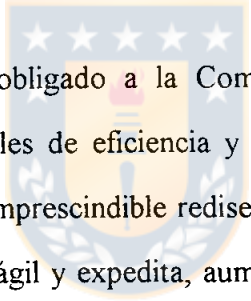
FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Harvester Timberjack 608	15
2	Forwarder Timberjack 1010	16





## I. INTRODUCCION

El sector forestal chileno, aun cuando sea capaz de responder a los desafíos de producción actuales y futuros, se encuentra a nivel externo con un preocupante proceso de pérdida de competitividad. Esto se debe en gran medida a la paulatina extinción de ventajas tradicionales, lo que se aprecia en: (1) desfavorable tasa de cambio, con un fortalecimiento del peso frente al dólar, (2) aumento en los costos de la obra de mano, (3) baja productividad del personal, (4) desarrollo de especies de rápido crecimiento en otros países, (5) internalización del sector, exigiendo los competidores una baja tasa de descuento, y (6) problemática ambiental.



La situación antes descrita ha obligado a la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC) a buscar niveles de eficiencia y costos similares a los competidores extranjeros, para lo cual resulta imprescindible rediseñar y simplificar procesos de manera tal de lograr una operación más ágil y expedita, aumentar la productividad de la obra de mano, reducir el riesgo de accidentes, controlar y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente.

En el área de la cosecha forestal, CMPC cree tener una buena solución con la incorporación de equipos con tecnología de última generación, tanto para sus intervenciones de tala rasa como para raleos. En la actualidad, el uso apropiado de cosechadoras, procesadores, clambunks y forwarders constituye la principal meta para el mediano plazo.

Las diferencias tecnológicas con los líderes forestales se han acortado y cada vez se tienen situaciones más parecidas, especialmente en lo que respecta a sistemas de producción. El

sistema de madera corta vuelve a ser importante, esta vez intensivo en capital y de alta productividad. Sin duda que las exigencias de eficiencia lo convertirán en un sistema preponderante en los próximos años.

Se debe concordar en el hecho de que el aumento en el grado de la mecanización en las faenas de cosecha forestal deberá ir necesariamente relacionado con una mejor planificación de las mismas, a objeto de que sean competitivas en términos de rentabilidad.

Es debido a lo anterior que los estudios de tiempos y rendimientos deben ser preocupación permanente, de manera que constituyan la base fundamental para el desarrollo de modelos de simulación y optimización.

El objetivo del estudio fue determinar funciones de tiempos y rendimientos para equipos marca Timberjack, harvester modelo 608 y forwarder modelo 1010, en la intervención de raleo selectivo en terreno plano, definiendo una metodología estándar para realizar futuros estudios de este tipo en otras condiciones de operación.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

El sector forestal chileno duplicará su producción durante la presente década, lo que obliga a buscar e introducir tecnologías que permitan cumplir eficientemente con dichas proyecciones (Hermosilla, 1993).

Serón (1991) afirma que se puede apreciar en terreno que la mecanización de las faenas forestales puede constituir una buena alternativa para incrementar la producción y, al contrario de lo que podría suponerse, permite aprovechar y dar un mejor empleo a la obra de mano, redistribuyéndola en operaciones donde el factor humano es clave.

Spiers (1987) opina que los sistemas de maderero terrestre sobre terrenos planos o de pendiente moderada, dan una gran oportunidad para una mecanización eficiente. Respecto al desarrollo en cosecha mecanizada, el mismo autor afirma que ésta ha tomado dos direcciones: una es con máquinas de función simple - como los desramadores - las cuales se combinan para formar operaciones multimáquinas. La otra ha sido con máquinas polifuncionales - como las cosechadoras - que cortan, desraman y trozan. Los proponentes de estas máquinas argumentan que hay ganancias al localizar todas las funciones sobre un chasis y con un operador.

Comparadas con métodos manuales, estas últimas son particularmente competitivas en cortas finales, en operaciones a gran escala, para grandes árboles, y especialmente para árboles longevos, tales como el abeto. Sin embargo, máquinas multifuncionales livianas, diseñadas para pequeños árboles, y condiciones de raleo, están también comenzando a ser más competitivas (Hakkila, 1989).

El mismo autor destaca que con el aumento de la aplicación de máquinas de tecnología moderna, el microcomputador que controla la decisión del trozado y la medición automática del volumen está proporcionando más exactitud y competencia en costos. Esto se traduce en una reducción en los costos de medición, aumento en la utilización de madera para aserrío y datos inmediatos de inventario por largo de madera producida.

Específicamente en lo que concierne a raleos, Epalts (1987) opina que los métodos convencionales - motosierras - usados en intervenciones intermedias, parecen haber acabado sus posibilidades para aumentar la eficiencia y eliminar el trabajo manual.

Un substancial aumento de eficiencia y mejor ambiente de trabajo puede ser alcanzado sólo por la introducción de nuevos sistemas de madereo mecanizado.

Guimier (1991) analizando la mecanización en Canadá, indica que los sistemas de cosechadora y cabezales procesadores, han encontrado rápida aceptación en áreas que tradicionalmente habían usado sistemas de madera corta manuales o en fábricas que reciben madera en 4 u 8 pies.

Las nuevas cosechadoras ganan en popularidad al evitar la necesidad de desramar y depositar desechos a orilla de caminos; su habilidad para aumentar el rendimiento del volumen en rodales delgados y su bajo impacto sobre el suelo, los favorece para operar sobre terrenos sensibles y proteger el desarrollo de la regeneración .

Conway (1982) menciona una serie de ventajas de la corta mecanizada, pero no todas son aplicables a máquinas simples o multifuncionales; al respecto, nombra las siguientes ventajas:

(1) mejor utilización de la madera, debido a la baja altura de tocón; (2) puede ser usada sobre la base de múltiples turnos, proporcionando una mejor utilización de los equipos y (3) la corta mecanizada es segura, debido a que excluye al hombre del terreno.

Respecto al sistema forwarder, existen ventajas, tales como: (1) se puede aumentar la distancia de madereo, (2) menor daño sobre el rodal residual, comparado con operaciones convencionales, (3) debido a la habilidad para autocargarse, puede mover madera a grandes distancias y reducir el daño al rodal residual, siendo considerados también para operaciones de raleo, y (4) la producción y costos no son afectados por el tamaño de los árboles.

Kellogg (1992) menciona que investigadores, industriales y comerciantes están de acuerdo en que es más económico tener dos máquinas, por ejemplo: cosechadora y forwarder, trabajando en el sistema de madera corta, que tener tres o cuatro máquinas tradicionales en el sistema feller buncher, skidder, procesador.

En el sistema de madera corta, dos máquinas son usadas comúnmente, cosechadora y forwarder. La cosechadora corta el árbol, lo desrama y troza en largos produciendo trozos aserrables, pulpables o ambos. El forwarder sigue a la cosechadora y transporta la madera a orilla de camino y, en muchos casos, carga directamente sobre camiones (White, 1992).

Richardson (1988) caracterizando a las cosechadoras, menciona que la mayoría de las unidades procesadoras europeas tiran el árbol a través de unos cuchillos desramadores, más que pasar los cuchillos sobre el árbol. Todos están equipados con al menos tres cuchillos desramadores, un mecanismo de avance del fuste y sierras para trozar y/o voltear. La mayoría tiene sistemas de medición de largo de trozos y algunos, sensores de diámetro.

Richardson (1988) dice que la tecnología finlandesa moderna se basa fundamentalmente en el sistema de madera corta, donde se utilizan forwarder y máquinas multifuncionales.

Debido a la importancia vital del bosque y la industria forestal en la economía nacional, condiciones específicas de madereo, alto nivel de salarios y seguridad social, acelerada despoblación rural, estrictos estándares ergonómicos por legislación, predominancia de propietarios privados y fuerte influencia de medioambiente y conservación, los países nórdicos se han visto forzados a ser pioneros y desarrollar completamente nueva tecnología en madereo para satisfacer sus propios requerimientos.

Coincidiendo con Hakkila, Andersson (1993) destaca que las cosechadoras equipadas con sistema de trozado dirigido por computador normalmente producen piezas con un valor más alto que lo que en promedio puede realizar un trabajador forestal.

Hakkila (1989) analizando la cosecha en Finlandia, expone que los factores que favorecen el método de madera corta, son los siguientes: (1) una gran proporción de la madera es cosechada desde operaciones de raleo. Las investigaciones efectuadas en otros países indican que el sistema de fustes completos con skidders, causa daños más serios a los árboles y raíces del rodal; (2) los skidders son una solución económica cuando los árboles son grandes. Cuando el volumen por pieza es bajo, la productividad de los skidders se mantiene baja. La productividad de los tractores autocargadores, no obstante, es menos sensitiva al tamaño de las piezas; (3) los skidders circulan a altas velocidades, tienen cabinas simples y pocos neumáticos y su carga no es tan bien balanceada como en el caso de los forwarders. Por lo tanto, los problemas de vibración son más serios en los skidders; (4) los forwarders son capaces de almacenar la madera en pilas de más de cuatro metros de altura, reduciendo

radicalmente los requerimientos de canchas. Además, al momento de descargar dejan los distintos largos en distintas pilas, favoreciendo el trabajo posterior que es el transporte a fábricas. Sin embargo, el mismo autor, menciona algunos factores que todavía contrarrestan el uso de máquinas multifuncionales. Se debe considerar el alto nivel de entrenamiento vocacional de los motosierristas, por lo que en algunas condiciones de madereo son más competitivos y productivos, mantener la estabilidad laboral del personal para ocuparlo estacionalmente en plantaciones y raleos precomerciales, acelerada obsolescencia técnica en las máquinas, que desincentiva la inversión en los contratistas, inexperiencia de los operadores y prejuicios para su uso en raleos.

El Skogsarbeten (1982) destaca que los métodos suecos de madereo y extracción están diseñados para tamaños moderados de árboles y moderadas pendientes del terreno, condiciones similares a aquellas existentes en una gran proporción de las plantaciones y extensas áreas de bosques secundarios en naciones emergentes.

Andersson (1993) respecto a la cosecha en Suecia, menciona que un 75% de las operaciones de raleo a gran escala, utilizan cosechadoras de agarre único y forwarders. Comparados con operaciones manuales, las cosechadoras reducen los costos de volteo y procesamiento y crean grandes pilas de trozos junto al tocón, lo cual a su vez reduce los costos de madereo con forwarder.

Hakkila (1989) concluye que el uso de pulpa aumentará en Finlandia en los años 90 a más de 10 millones de metros cúbicos anualmente, mientras se espera una disminución en el número de volteadores. Consecuentemente se deberá incrementar la tasa de mecanización en la cosecha.

White (1992) opina que un trabajador con una motosierra y skidder de cable puede cosechar árboles grandes, pero que la productividad disminuye significativamente cuando éstos son pequeños. El tamaño de los árboles es la variable que, por sí sola, más afecta la productividad de las máquinas cosechadoras. Obviamente, la disminución en el tamaño de los árboles tiene un efecto adverso, y éste se transmite en la medición, manipulación y procesamiento en la fábrica.

Richardson (1988) refiriéndose al mismo tema, destaca que la producción es fuertemente afectada por la habilidad del operador. Además en las operaciones de raleo, la productividad del trabajo es baja y la mecanización es mucho más complicada que en la tala rasa. En Finlandia el mayor factor que está afectando la productividad y costos es el tamaño de los árboles extraídos.

Hakkila, Malinovski y Sirén (1992) destacan que las máquinas multifuncionales son sensibles a las condiciones del rodal.

El tamaño de los árboles, la cantidad de madera a extraer desde un área, el espaciamiento entre árboles remanentes, el daño a la regeneración, la forma de los árboles, el exceso de ramas y el terreno afectan de gran manera la productividad. Aunque el tiempo total consumido por una cosechadora para cortar y procesar un árbol no depende exclusivamente del tamaño del árbol, el volumen producido por hora productiva se incrementa rápidamente con el tamaño de las piezas. La velocidad de avance de un árbol a través del cabezal desramador en una operación normal, es de 3 a 5 metros por segundo; pero si existen ramas gruesas, o árboles grandes, que puedan causar problemas al cabezal, se generan interrupciones y reducción de la productividad.



Generalmente el tamaño del árbol se expresa por el DAP, que es una variable simple y sencilla de obtener en terreno. Por la variabilidad en los árboles de un rodal, adquiere gran importancia en el volteo mecanizado, alcanzando un máximo rendimiento a un determinado diámetro (Linerós, 1992).

Según Peltola (1991) el factor considerado como más importante en la productividad de la cosechadora es el tamaño del fuste. Otros factores que también afectan la productividad son la concentración de sotobosque, el método de corta - tala rasa o raleo - la densidad del rodal y las condiciones del terreno.

Hakkila (1992) destaca que la productividad y competitividad en costos de las máquinas multifuncionales son típicamente sensibles al tamaño de los árboles. La productividad de una cosechadora en un raleo final y corta final varían entre 15 y 50 m<sup>3</sup> por hora efectiva de operación, dependiendo del tamaño del árbol y el tipo de máquina.

Cosechadoras pequeñas, montadas sobre vehículos de tracción liviana y neumáticos, pueden producir 4 a 5 m<sup>3</sup> de madera por hora operativa bajo condiciones difíciles en primeros raleos, con un promedio por pieza de 0,04 m<sup>3</sup>.

Respecto a los factores que afectan el rendimiento del forwarder, se dice que el tamaño de los trozos no es muy significativo; sin embargo, los factores que tienen mayor relevancia en la productividad son: la distancia promedio de madereo, el volumen por faja, la cantidad de madera cortada que puede ser cargada desde un punto, la temporada y la capacidad de soporte del terreno (Peltola, 1991).

Otros estudios, hechos por Andersson (1991) señalan que los factores que tienen un efecto significativo en la producción del forwarder son el volumen de las rumas procesadas por la cosechadora y la distancia de madereo.

El tiempo total de carga - carga activa y movimiento entre pilas - constituye la mayor parte del ciclo de trabajo, aumentando significativamente cuando el volumen de la ruma disminuye.

La distancia de madereo es una de las variables fundamentales en la planificación de la extracción forestal; a mayor distancia de madereo, menor productividad (Peltola, 1991). Con el empleo de este tipo de maquinaria se puede aumentar las distancias de madereo, aunque su principal desventaja reside en el requerimiento de encontrar la madera arrumada en el bosque para obtener una aplicación óptima de la máquina (Neueschwander, 1987).

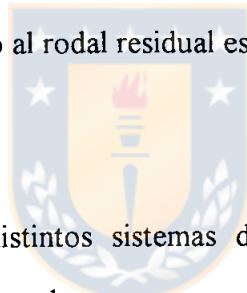
Respecto a las condiciones de mecanización en raleos, White (1992) puntualiza que aunque la cosechadora y el forwarder puedan físicamente manipular un amplio rango de tamaño de árboles, puede no ser económicamente factible su uso en árboles muy pequeños o muy grandes, más allá de la capacidad de las máquinas. El uso de especies o tamaño de árboles determinan la factibilidad de mecanizar el raleo del bosque.

Algunos beneficios sociales del raleo mecanizado se refieren a reducir el trabajo manual, mejorar el ambiente de trabajo y desarrollar grandes habilidades en los operadores.

Richardson (1993) al comparar operaciones manuales con aquellas mecanizadas, explica que en operaciones manuales las fajas no pueden espaciarse más de 10 metros unas de otras. El uso de cosechadora de función simple aumenta el espaciamiento a fajas de 15 metros. Para el

caso de cosechadoras equipadas con extensión en la garra, el distanciamiento puede llegar a 20 metros. Las ventajas de este último incluye limpieza, trozos no quebrados, los residuos del desrame permanecen en el sitio, ramas y hojas quedan sobre la faja para protección y mayor flotación y los caminos pueden ser más sinuosos, con menor posibilidad de daño con la carga a los árboles remanentes que en los otros dos sistemas. Finalmente, los trozos pueden ser apilados en altura para reducir el área afectada.

Respecto al daño en los raleos, Andersson (1993) indica que en Suecia, estudios conducidos por el Ministerio Nacional Forestal, concluyen que es la habilidad del operador, más que el tamaño de la cosechadora, lo que determina la calidad de la operación de raleo. Estos estudios también concluyen que el mayor daño al rodal residual es causado por el forwarder y no por la cosechadora.



Epalts (1986) en un estudio de distintos sistemas de cosecha, concluye que el volteo mecanizado en raleos no significa virtualmente un aumento en daños al rodal. Los daños al sistema de raíces y suelos causados por pasadas sobre la faja de extracción de los feller bunchers y las cosechadoras, una o dos generalmente, son muy pequeños. Sin embargo, en todos los sistemas considerados el madereo con método de madera corta, que es realizado con tractores, es responsable por el incremento en el daño a los árboles residuales en las raíces y suelo.

Peltola (1991) citando a Terävä, en Finlandia, indica que el promedio de árboles residuales dañados después de raleos mecanizados es de alrededor de 1,5%.

En el primer raleo comercial la proporción es alta - sobre el 2,5% - debido a la gran cantidad de árboles residuales. Alrededor del 85% del daño total es causado a los fustes y copas de los árboles y el 15% restante, a las raíces. Los estándares recomendados indican que la proporción de árboles dañados no puede exceder el 5%.

Evanson y Mc Conchie (1991) al estudiar un raleo mecanizado en pino radiata en Nueva Zelanda, encontraron que las parcelas para control de calidad después de la operación indicaban que los niveles de daños fueron bajos. En total, para todas las categorías de daño, definidas como cualquier cantidad de corteza removida desde cualquier lugar del árbol, incurridas durante volteo o extracción, fue de 4%, del cual un tercio fue atribuido a las operaciones del forwarder.



### III. MATERIAL Y METODO

#### 3.1 Materiales y equipos

El estudio se realizó en una faena de raleo en bosque de pino insigne, de propiedad de Forestal Mininco S.A., ejecutada por la empresa de servicios Serfocol Ltda.

Los equipos en estudio fueron: cosechadora marca Timberjack modelo 608 y forwarder modelo 1010.

Para la toma de datos se utilizó huinchas de distancia (30 m), clinómetro, cronómetro y forcípula.



Las especificaciones técnicas, según catálogo de los equipos, son las que se indican a continuación:

#### **HARVESTER TIMBERJACK 608**

Largo (extremos oruga)	4.064 mm
Ancho (extremos oruga)	2.895 mm
Alto (punto más elevado cabina)	3.022 mm
Altura libre sobre el suelo	508 mm
Peso	19 toneladas
Motor	Cummins 6 Bt
Cilindros	6 en línea
Potencia	137 HP (a 2.000 rpm)
Transmisión	Hidrostática
Capacidad estanque combustible	570 lt
Ancho zapatas	610 mm
Presión sobre el suelo	43 Kpa
Velocidad de giro cabina	7,4 vuelt/min (continuo)

Características del cabezal

FMG 762 B

Velocidad de desrame	4,0 m/s
Abertura máxima cuchillos superiores	550 mm
Abertura máxima cuchillos inferiores	630 mm
Diámetro máximo de corte	600 mm
Velocidad cadena	32 m/s
Presión de trabajo	25 mpa
Peso	1.130 kg
Altura	1.880 mm

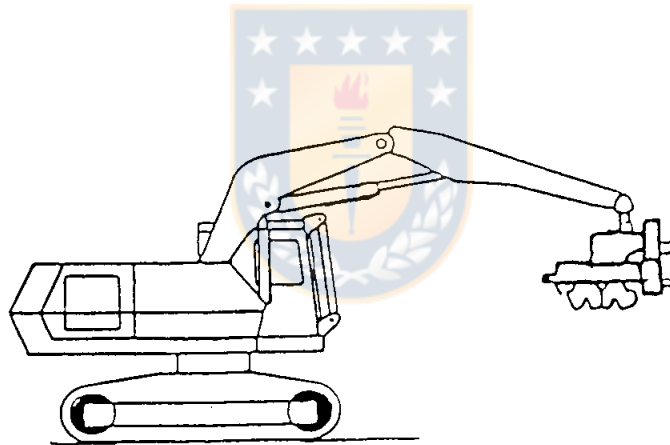


Figura 1. Harvester Timberjack 608

## FORWARDER TIMBERJACK 1010

Largo	8.220 mm
Ancho	2.680 mm
Alto	3.550 mm
Altura libre sobre el suelo	600 mm
Peso	11 Ton
Capacidad de carga	11 Ton
Velocidad máxima	34 Km/hr
Motor	Perkins
Cilindros	4 en línea
Potencia	110 HP (a 2.400 rpm)
Transmisión	Clark (con convertidor de torque)
	3 marchas adelante
	3 marchas atrás
	ejes con diferenciales hidráulicos
Frenos	Tipo multidisco
Grúa	Loglift F 60
Alcance	10 m

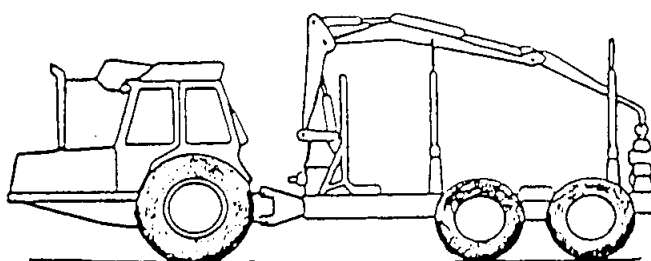


Figura 2. Forwarder Timberjack 1010

## **3.2 Metodología**

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

Para la selección del área se utilizó información de inventarios, fotografías aéreas escala 1:10.000, plano de rodalización del predio en escala 1:20.000 y reconocimiento del terreno.

### **Características del área y terreno**

El estudio se realizó en el fundo Membrillar y Coihuico, perteneciente a la empresa Forestal Mininco S.A., ubicado a 4 Km del suroeste de la ciudad de Cabrero.

El terreno presenta una topografía plana y baja sinuosidad, con un suelo arenoso perteneciente a la serie Dunas.

### **Características del bosque**

El bosque es una plantación de Pino insigne del año 1982, con una superficie de 148,8 ha. Este presentó una densidad inicial de 551 árb/ha, con un 75% de ellos podados, quedando, luego de la intervención, 250 árb/ha .

Las características dasométricas del rodal antes del raleo eran las que se indican en la Tabla 1.



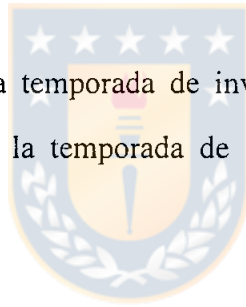
TABLA 1. Características dasométricas del rodal

Edad	Indice Sitio	Superf. Total ha	Volumen a Extraer		Densidad (Arb/ha)		Area Basal (m <sup>2</sup> /ha)	
			m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /Arb	Total	Residual	Total	Residual
12	27	148,8	55	0,183	551	250	20,3	10,3

La presencia de sotobosque es escasa, con árboles de baja altura, especialmente *Lomatia hirsuta* (Radal), *Lithrea caústica* (Litre) y *Peumus boldus* (Peumo).

### **Estacionalidad**

La evaluación se realizó durante la temporada de invierno. Para el caso de este tipo de equipos, en Forestal Mininco S.A. la temporada de invierno está definida desde abril a diciembre de cada año.



### **Tipo de intervención**

La evaluación de los equipos se realizó en una intervención de raleo comercial de tipo selectivo.

Lo anterior significa que se voltearon y extrajeron aquellos árboles de mala calidad, no deseables para la rotación final.

### **Sistema de aprovechamiento**

Las máquinas evaluadas trabajaron en un sistema de aprovechamiento de madera corta. Los árboles fueron volteados, desramados y trozados al interior del rodal, para luego ser extraídos hasta orilla del camino.

**3.2.2. Programación de las operaciones.** Para la programación de la faena, con los equipos en estudio - Timberjack Harvester 608 y Forwarder 1010 - se consideraron los aspectos que se explican a continuación.

### **Modalidad de trabajo**

El equipo Harvester 608 ingresó al bosque realizando un circuito, volteó, desramó, midió y trozó los árboles en el interior del bosque, quedando las ramas sobre la huella de la faja del circuito.

Los árboles extraídos fueron previamente seleccionados y marcados con un anillo de pintura color blanco, visible en la noche, y a una altura de 1.30 m desde la base del árbol.

El equipo Forwarder 1010 ingresó posteriormente al bosque utilizando la faja determinada por el harvester, cargó los trozos y los madereó hasta orilla de camino o zonas de cancha.

### **Personal**

Los equipos y operarios pertenecen a la empresa Serfocol Ltda. y con las máquinas en estudio cuentan con la experiencia suficiente para ejecutar el trabajo.

### **Productos a extraer**

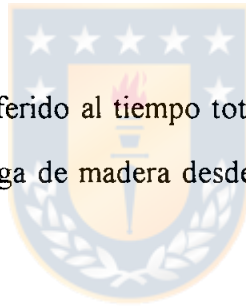
El producto extraído fue de largos 2.44 m y 4.90 m, con un diámetro mínimo de utilización de 10 cm sin corteza y fue destinado a producción de celulosa, Fábrica Laja.

### **3.2.3. Estudio de tiempos y rendimientos**

**3.2.3.1 Medición de tiempos.** Se midió el tiempo de cada etapa del ciclo de trabajo con cronómetros digitales graduados en minutos y segundos.

Ciclo de Trabajo del Harvester: Referido al tiempo total utilizado - separado en distintos componentes - en procesar un árbol.

Ciclo de Trabajo del Forwarder: Referido al tiempo total utilizado - separado en distintos componentes - en trasladar una carga de madera desde el lugar de volteo, hasta el lugar de acopio a orilla de camino.



### **3.2.3.2 Clasificación de los tiempos**

Tiempos Variables : Dependen directamente de una variable independiente.

Tiempos Fijos: No están en función directa de alguna variable, es decir, tienden a ser constantes.

Tiempos Complementarios: Tienden a ser fijos, pero no son componentes permanentes del ciclo (Demoras).

### **3.2.3.3 Definición de los tiempos componentes del ciclo del harvester**

#### **Ciclo principal**

- Desplazamiento: Comprende el tiempo de traslado del equipo entre un árbol y otro.
  
- Volteo: Tiempo comprendido desde el momento en que el cabezal comienza a cortar el fuste hasta que el árbol cae sobre el terreno.
  
- Desrame: Se refiere al tiempo empleado en eliminar con el cabezal las ramas y conos del fuste.
  
- Trozado: Tiempo empleado en seccionar el fuste en trozos, de acuerdo a la orden de producción (Largos 4.90 m. y 2.44m. hasta un diámetro menor, límite de 10 cm.)

#### **Tareas secundarias**

- Limpieza o despeje del sotobosque: Se considera esta tarea como los movimientos del cabezal destinados a mejorar la accesibilidad de un grupo de fustes o la visibilidad del operador.
  
- Traslados: Son los movimientos del Harvester destinados al traslado del mismo entre la zona de trabajo y el lugar de abastecimiento y mantención.
  
- Mantención normal: Son los tiempos destinados a asistencias mecánicas rutinarias. Incluye los abastecimientos de combustibles, aceite hidráulico y de motor, engrases, y los servicios propios de la etapa de puesta en marcha que deben realizarse antes de cumplir determinadas horas de servicio.

- Fallas y reparaciones: Son los tiempos que se destinan a asistencias mecánicas no rutinarias que se originan en diferentes fallas. Se incluyen las detenciones debidas a salidas o corte de cadena, fallas hidráulicas, otros.
- Instrucciones: Se refiere a los tiempos destinados a entregar a los operadores órdenes o sugerencias y a la calibración de largos y diámetros.

### **3.2.3.4 Definición de los tiempos componentes del ciclo del forwarder**

#### **Ciclo principal**

- Viaje vacío: Se refiere al traslado sin carga desde el camino hasta la zona de carguío al interior del rodal. Comienza cuando el Forwarder inicia el movimiento en el camino y termina con su detención en el primer punto de carguío.
- Viaje cargado: Se refiere al traslado con carga desde el último punto de carguío hasta el punto de descarga en el camino. Se inicia cuando el Forwarder, con la garra en posición de traslado, comienza a moverse con una carga en el rodal y termina cuando se detiene en el punto de descarga en el camino.
- Carga: Es la tarea de llenar el espacio de carga del Forwarder con los trozos procesados del Harvester. Se inicia con la detención del Forwarder vacío en el lugar de volteo y el comienzo del movimiento del brazo del mismo y termina cuando la garra asume la posición de traslado y el Forwarder inicia el viaje cargado. Incluye la acomodación de carga y las operaciones para tomar los trozos.
- Descarga: Es la tarea de ubicar los trozos transportados sobre el camino, en una ruma determinada correspondiente al producto y el día de extracción. Se inicia con la detención del

del Forwarder cargado sobre el camino y el movimiento del brazo asumiendo la posición de traslado. Incluye la acomodación de los trozos y los movimientos del Forwarder para facilitar la descarga.

### **Tareas secundarias**

- Detención por falta de madera: Ocurre cuando el harvester es alcanzado en su avance por el forwarder y éste debe esperar a que se acumule suficiente madera procesada en el bosque para reiniciar el madereo. Se la considera como una demora del ciclo.

- Mantenimiento normal: Son los tiempos destinados a asistencias mecánicas rutinarias, incluye los abastecimientos de combustible, aceite hidráulico y de motor, engrases y los servicios propios de la etapa de puesta en marcha que deben realizarse al cumplir determinadas horas de servicio.

- Fallas y reparaciones: Son los tiempos que se destinan a asistencias mecánicas no rutinarias y que se originan en diferentes fallas, incluyen las detenciones debidas a pinchazos de neumáticos, fallas hidráulicas, otros.

- Traslados: Son los movimientos del forwarder destinados al traslado del mismo entre las zonas de trabajo y el lugar de abastecimiento y mantención.

- Instrucciones: Se refiere a los tiempos destinados a entregar a los operadores órdenes o sugerencias. Se las considera como una demora del ciclo.

### **Definición de variables a medir**

Para el estudio del harvester se midieron las variables de: Diámetro de tocón (cm), DAP (cm), Altura de árboles (m), Número de cortes y Tiempo por árbol y actividades (min., seg.).

Para el estudio del forwarder se midieron las variables de: Distancia de Madereo (m), Número de trozos transportados, Volumen por trozo y Tiempo por ciclo y actividades (min., seg.).

### **Tamaño de la muestra**

Se determinó de acuerdo a un muestreo aleatorio simple para una población infinita en base al coeficiente de variación obtenido para los distintos tiempos medidos, luego de premuestreo, para un error máximo admisible del 10% y un nivel de confianza del 95%.

Para el harvester se determinaron los coeficientes de volteo, desrame y trozado en cada nivel de la variable DAP. Posteriormente se calculó el coeficiente de variación seleccionándose el mayor para definir el tamaño de la muestra.

Para el forwarder se determinó el coeficiente de variación para los tiempos de viaje vacío y viaje cargado en distintos niveles de la variable distancia promedio de madereo.

De acuerdo al tipo de relación que se presentó en las diversas variables dependientes y explicativas, se determinaron los modelos matemáticos para las operaciones en estudio, generando funciones de tiempo y de rendimientos con su respectiva estadística asociada.

**3.2.3.5 Estudio de rendimiento.** Las funciones de rendimiento se construyeron a partir de las funciones de tiempo total para cada equipo.

En el caso del harvester, el volumen del árbol se determina para el DAP respectivo. Para el forwarder, se trabajó con un volumen promedio por ciclo.

$$\text{Función rendimiento (m}^3\text{/hr) harvester} = \frac{\text{Vol. del árbol (m}^3\text{/árbol)}}{\text{Función T. Total (min / ciclo)}} \times 60$$

$$\text{Función rendimiento (m}^3\text{/hr) forwarder} = \frac{\text{Vol. promedio (m}^3\text{/ciclo)}}{\text{Función T. Total (min / ciclo)}} \times 60$$





#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos para los dos equipos en estudio.

##### 4.1 Estudio de tiempos harvester

4.1.1 Tiempos fijos. En la Tabla 2 se entregan los tiempos fijos obtenidos para el harvester Timberjack 608 en raleo selectivo.

Tabla 2. Tiempos fijos harvester en raleo selectivo

Item	Tiempos fijos (Seg/Ciclo)	Distribución (%)
Limpieza o despeje	0,7	3,0
Desplazamiento	7,5	32,2
Traslados	1,4	6,0
Fallas mecánicas	6,1	26,2
Demoras	7,6	32,6
Total	23,3	100,0

Se observa que las demoras constituyen el ítem más significativo, incluyendo bajo éste el calentamiento que se realiza al motor en cada jornada antes de iniciarse el trabajo productivo, la comunicación de instrucciones, el abastecimiento de combustible al equipo y mantenciones menores, realizadas estando el motor en funcionamiento.

La alta incidencia de fallas mecánicas - 26.2% - registradas resultan de las roturas de mangueras en el sistema hidráulico y las salidas de cadena de la espada de corte.

El ítem traslados considera el tiempo empleado en trasladar la máquina diariamente desde el lugar de trabajo hasta un punto en el cual el equipo pueda permanecer en forma segura. Adicionalmente, se incluyen los traslados del equipo por sus propios medios cuando se presenta un cambio en el frente de trabajo dentro del mismo predio.

Un alto porcentaje de los tiempos fijos (32,2%) es explicado por el desplazamiento que realiza el equipo entre árboles sucesivos para luego ejecutar el proceso completo; en lo que respecta a las limpiezas, se presentan cuando se acumulan ramas de árboles en el cabezal y que no son posibles de eliminar con los movimientos propios del equipo. Debido a ello, desciende el operador, generándose una pérdida de tiempo.

#### 4.1.2 Tiempos variables

4.1.2.1 Tiempo de volteo. En la Tabla 3 se presentan los modelos probados para el tiempo variable de volteo con sus principales estimadores estadísticos.

Tabla 3. Tiempo de volteo. Modelos probados con su estadística asociada.

Modelo	R <sup>2</sup>	EEE	F
$T_v = a + b \cdot DAP$	0,72	0,53	36,42
$T_v = a \cdot DAP^b$	0,66	0,13	28,05
$T_v = e^{(a + b \cdot DAP)}$	0,74	0,11	40,75

De acuerdo al análisis estadístico, se concluye que las funciones de tiempo de volteo presentan una bondad de ajuste significativa, nivel de probabilidades del 95%, oscilando el coeficiente de determinación ajustada ( $R^2$ ) entre 0,66 y 0,74. Con respecto a la precisión de los estimadores, expresada a través del Error Estándar de la Estimación (EEE), se obtiene que el mayor valor corresponde al entregado por el modelo lineal y alcanza al 13,5%.

El análisis de varianza para determinar la significancia de los modelos de regresión mediante los valores de F, comprueba que son significativos en todas las regresiones.

Analizando los valores obtenidos en los estimadores estadísticos considerados, se concluye que la predicción más confiable del tiempo variable de volteo se obtendría con la aplicación del modelo exponencial.

**4.1.2.2 Tiempo de desrame.** En la Tabla 4 se presentan los modelos probados para el tiempo variable de desrame con sus principales estimadores estadísticos.

Tabla 4. Tiempo de desrame. Modelos probados con su estadística asociada.

Modelo	$R^2$	EEE	F
$Tv = a + b \cdot DAP$	0,66	3,18	26,22
$Tv = a \cdot DAP^b$	0,83	0,20	62,65
$Tv = e^{(a + b \cdot DAP)}$	0,82	0,20	60,84

La bondad del ajuste, medida a través del coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ) es significativa para todos los modelos, alcanzando valores entre 0,66 y 0,83. Sin embargo, el

Error Estándar de Estimación logrado para el modelo lineal es de 31,7%, lo que lo descarta de inmediato para ser utilizado en la predicción del tiempo de desrame.

En los otros dos casos, la precisión en la estimación es significativamente mayor, lográndose valores en el EEE del 1,9%, para ambos modelos.

El análisis de varianza (F), mediante la prueba de Fisher, indica que todos los modelos son significativos. Sin embargo, los mayores valores de F se presentaron en los dos últimos modelos. También en este caso el modelo lineal resulta el menos apropiado para predecir.

**4.1.2.3 Tiempo de trozado.** En la Tabla 5 se presentan los modelos probados para el tiempo variable de trozado, con los estimadores estadísticos considerados.

Tabla 5. Tiempo de trozado. Modelos probados con su estadística asociada.

Modelo	R <sup>2</sup>	EEE	F
$T_v = a + b \cdot DAP$	0,69	0,57	31,77
$T_v = a \cdot DAP^b$	0,76	0,11	44,76
$T_v = e^{(a + b \cdot DAP)}$	0,73	0,12	37,24

Con respecto a la bondad del ajuste, se deduce que los tres modelos son significativos, con valores que oscilan entre 0,69 y 0,76.

En relación con la precisión de la estimación, el mayor Error Estándar de Estimación se obtiene para el modelo lineal alcanzando un 12,5%.

El análisis de varianza señala que los tres modelos son significativos. Sin embargo, la baja precisión que demuestra tener el modelo lineal en base al EEE aconseja utilizar en la predicción del tiempo variable de trozado los dos modelos restantes.

## 4.2 Estudio de tiempos forwarder

4.2.1 Tiempos fijos. En la Tabla 6 se entregan los tiempos fijos obtenidos para el forwarder Timberjack 1010 en raleo selectivo.

Tabla 6. Tiempos fijos forwarder en raleo selectivo

ítem	minutos/ciclo	distribución (%)
Carga	26,40	57,73
Descarga	6,30	13,77
Mantenición normal	4,31	9,42
Fallas y Reparaciones	0,45	1,00
Traslados	0,42	1,00
Demoras	7,85	17,08
Total	45,73	100,00

De entre los 45,73 min/ciclo correspondientes a tiempos fijos, un 57,73% corresponde a carga. La explicación radica en que para completar la capacidad de carga de la máquina, es

necesario recorrer un tramo considerable debido a lo dispersa que queda la madera procesada por el cosechador (por tratarse de un raleo).

**4.2.2 Tiempo variable.** La Tabla 7 presenta los modelos probados para la obtención de los tiempos variables viaje vacío y viaje cargado del forwarder madereando en raleo selectivo.

Tabla 7. Tiempos variables del forwarder. Modelos probados con su estadística asociada.

modelo	variable	R <sup>2</sup>	EEE	F
$T_{vv} = a + b \cdot DM1$	V. vacío	0,69	0,62	31,77
$T_{vv} = a \cdot DM1^b$	V. vacío	0,76	0,19	44,76
$T_{vv} = e^{(a + b \cdot DM1)}$	V. vacío	0,73	0,20	37,24
$T_{vc} = a + b \cdot DM2$	V. cargado	0,92	0,69	474,93
$T_{vc} = a \cdot DM2^b$	V. cargado	0,91	0,14	439,51
$T_{vc} = e^{(a + b \cdot DM2)}$	V. cargado	0,84	0,19	230,52

El coeficiente de determinación ajustado para los modelos que predicen el tiempo de viaje vacío señala que entre un 69% y 76% de la variación en esta variable es explicada por la variable independiente distancia promedio de madereo, es decir, la bondad de ajuste en cada regresión es significativa, nivel de probabilidades del 95%. Similar es la situación que se presenta del análisis del R<sup>2</sup> para los modelos que explica el comportamiento del viaje cargado, oscilando el coeficiente entre 84% y 92%.

En relación al Error Estándar de Estimación, en ambos casos el modelo lineal entrega una baja precisión. A su vez, el análisis de varianza permite concluir que todos los modelos son significativos.

### **4.3 Estudio de rendimientos**

**4.3.1 Determinación de rendimientos harvester Timberjack 608.** En base al volumen determinado para cada D.A.P., tiempos fijos y funciones de tiempo variable, se obtuvieron funciones de rendimiento para las operaciones de volteo, desrame y trozado, las cuales se presentan en el apéndice (Tablas 4.A, 5.A y 6.A).

**4.3.2 Determinación de rendimientos forwarder Timberjack 1010.** El volumen promedio obtenido luego de la medición del producto en cancha para la totalidad de los ciclos muestreados, correspondió a 12,6 m<sup>3</sup>/ciclo.

Este antecedente relacionado con las funciones de tiempo total logradas con el forwarder permitió obtener las funciones de rendimiento para el equipo.

Las distancias de madereo medidas para el viaje vacío comprendieron entre 20 y 650 metros. Para el viaje cargado del forwarder se evaluaron distancias de madereo entre los 50 y 950 metros.

## V. CONCLUSIONES

1. En el ciclo de trabajo del harvester Timberjack 608, en raleo selectivo, el ítem demoras es el más significativo, incluyendo calentamiento del motor en cada jornada, comunicación de instrucciones, abastecimiento de combustible y mantenciones menores. La alta incidencia de fallas mecánicas registradas son explicadas por la rotura de mangueras en el sistema hidráulico y salidas de cadena de la espada de corte. Ambas son altamente incidentes en el tiempo fijo total, por lo que se debe procurar disminuir dichos ítems.

2. Las funciones de tiempo obtenidas para el harvester Timberjack 608 son significativas, lo que permite hacer estimaciones confiables, confirmado por sus estimadores estadísticos. Sin embargo, la de tipo exponencial ( $T = e^{(a + b \cdot DAP)}$ ) es la que presenta mejor comportamiento para volteo y desrame.

3. En el ciclo de madereo del forwarder Timberjack 1010, en raleo selectivo, el ítem carga es el más significativo, explicado por la baja cantidad de madera disponible para ser evacuada en sectores concentrados. Esto obliga al equipo a recorrer un tramo extenso para poder completar la capacidad de carga.

4. No es posible establecer una distancia promedio de madereo que permita explicar los tiempos variables en conjunto del forwarder, ya que la distancia en viaje vacío es distinta a la de viaje cargado, concluyéndose que deben determinarse diferentes funciones para cada ítem del tiempo variable.



## VI. RESUMEN

Este estudio proporciona los resultados obtenidos del ensayo realizado con equipos Timberjack: Harvester 608 y Forwarder 1010, utilizados para el procesamiento - volteo, desrame y trozado - y madereo, respectivamente.

El experimento se ejecutó en un predio con bosque de Pinus radiata D.Don, ubicado en la provincia de Bío Bío VIII Región, Chile, perteneciente a la empresa Forestal Mininco S.A. La topografía corresponde a terreno plano con suelo arenales clasificado como serie Dunas.

La experiencia comprendió la toma de información en la intervención de raleo, extracción de largos múltiples de 2,44 metros.

Ambos equipos trabajaron complementariamente, evaluándose en primer lugar el procesamiento del árbol por parte del harvester, y luego el madereo, ejecutado por el autocargador.

Finalmente, con la información de terreno se determinaron funciones de tiempos y rendimientos para las operaciones realizadas por cada equipo.

De los resultados de este trabajo se puede concluir lo siguiente:

- El harvester Timberjack 608 estudiado arroja resultados satisfactorios al ser utilizado en raleo.

- Los tiempos fijos para ambos equipos resultan considerablemente altos. En el caso del harvester, la mayor incidencia la registra el ítem demoras.
- Las funciones de tiempo obtenidas para ambos equipos son significativas. Sin embargo, las de tipo exponencial son las que presentan mejor comportamiento.



## SUMMARY

This study contains the results obtained from processing -felling, delimiting and cutting - and transporting trials carried out on Timberjack 608 harvester and 1010 forwarder equipment respectively.

The trial took place at a Forestal Mininco's radiata pine plantations in the Bío Bío province, 8th region, Chile. The site topography is flat and the soil is classified as sandy.

This experience included data collected during thinning operations, pulpwood logging in multiple lengths of 2,44 m.

Both machines worked together, measuring in the first place, the processing of trees by the harvester, and secondly, the transportation by the forwarder.

Finally, time and yield equations were determined for the operations of both equipments. From the results of this experience, it is possible to conclude that:

- the Timberjack harvester 608 is a suitable machine for thinning operations;
- the fixed times for both machines were higher. For the harvester, the delays were the most important;
- the time equations determined have statistical significance. However, the exponential curves show the best behaviour.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Andersson, B., 1991. *Evaluation of Rotne Cut-to-Length Harvesting Systems*. Mechanized Harvesting: The Future is Here. Conference Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis, USA.
2. Andersson, B., 1993. *Mechanical Thinning Operations in Sweden, some Observations*. Forest Engineering Research Institute of Canada, Vancouver, B.C., Canada.
3. Conway, S., 1982. *Logging Practices: Principles of Timber Harvesting Systems*. Field Note N° General-36, Segunda Edición. Miller-Freeman, USA.
4. Epalts, A., 1987. *The impact of Mechanized Thinnings on the Remaining Stand*. Research and Production Association Silava, Salaspils, Latvia.
5. Evanson, T. and Mc Conchie, M., 1990. *Mechanized Thinnings with a Waratah Grapple Harvester and Timberjack Forwarder*. Logging Industry Research Organization, Rotorua, New Zealand.
6. Guimier, D., 1991. Canadian Perspective of Mechanized Harvesting Development. Mechanized Harvesting: The Future is Here. Conference Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis, USA.
7. Hakkila, P., 1989. *Logging in Finland*. Acta Forestalia Fennica 207, The Society of Forestry in Finland and The Finnish Forest Research Institute, Helsinki, Finland.

8. Hakkila, P., Malinovski, J. & Sirén, M.. 1992. *Feasibility of Logging Mechanization in Brazilian Forest Plantations*. The Finish Forest Research Institute, Research Papers 404, Helsinki.
9. Hermosilla, R., 1993. *Mininco introduce alta tecnología en faenas de cosecha*. Lignum N°11, Fundación Chile, Santiago, Chile, pág.31-32.
10. Kellogg, L., 1991. *Mechanized Harvesting Equipment and Systems in the Pacific Northwest*. Mechanized Harvesting: The Future is Here. Conference Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis, USA.
11. Lineros, M, 1992. *Sistemas Mecanizados de la Cosecha Forestal*. Boletín de Extensión N° 53, Departamento de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
12. Neuenschwander, R.,1987. *Tractores Forestales para el Madereo*. Documento Técnico N°26, Chile Forestal, Santiago, Chile.
13. Peltola, A.,1991. *Nordic Mechanized Harvesting Methods*.Mechanized Harvesting: The Future is Here. Conference Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis, USA.
14. Richardson, R., 1988. *An Introduction to off road Processors and Harvesters*. Wood Harvesting Technical Note TN-126, Group Forest Engineering Research Institute of Canada, Vancouver, B.C., Canadá.

15. Richardson, R., 1993. *Partial cuts: Part of the answer*. Annual Meeting of the CPPA Woodlands Section, Penticton, B.C., Canadá.
16. Serón, J., 1990. *Evalúan Faena de Cosecha Forestal Mecanizada en la VIII Región*. Lignum N°1, Fundación Chile, Santiago, Chile, pág. 18-20.
17. Skogsarbeten, 1982. *Swedish Forestry Techniques with possible applications in the third world*. Sweden.
18. Spiers, J., 1987. *Introduction to Harvesting Systems*. A Handbook for Harvest Planning, New Zealand Logging Industry, Research Association Rotorua, New Zealand.
19. White, T., 1992. *Tree size and its effects on the Machines and Productivity*. Product information Bulletin. FMG Timberjack Inc, Ontario, Canadá.
20. White, T., 1992. *Cut-to-Length Mechanical Thinning*. Reference Manual, FMG Timberjack Inc, Ontario Canadá.

## VIII. APENDICE



TABLA 1A. FUNCIONES REGRESION VOLTEO HARVESTER TIMBERJACK 608

Función	r	EEE	F
$T_{vv} = 1,1083 + 0,1247 \times DAP$	0,84	0,14	36,42
$T_{vv} = - 0,5262 \times DAP^{0,6076}$	0,82	0,12	28,05
$T_{vv} = EXP^{(0,7276 + 0,0273 \times DAP)}$	0,86	0,11	40,75

TABLA 2A. FUNCIONES REGRESION DESRAME HARVESTER TIMBERJACK 608

Función	r	EEE	F
$T_{vd} = -8,6669 + 0,9284 \times DAP$	0,82	3,17	26,22
$T_{vd} = - 3,1208 \times DAP^{1,7865}$	0,91	0,19	62,65
$T_{vd} = EXP^{(0,3703 + 0,0906 \times DAP)}$	0,90	0,19	60,84

TABLA 3A. FUNCION REGRESION TROZADO HARVESTER TIMBERJACK 608

Función	r	EEE	F
$T_{vt} = - 1,3241 + 0,1472 \times DAP$	0,83	0,13	31,77
$T_{vt} = - 0,7258 \times DAP^{0,7261}$	0,87	0,11	44,76
$T_{vt} = EXP x^{(0,7895 + 0,0321 \times DAP)}$	0,85	0,12	37,24

$T_{vv}$  = Tiempo volteo (min/árbol)

$T_{vd}$  = Tiempo desrame (min/árbol)

$T_{vt}$  = Tiempo trozado (min/árbol)

DAP = Diámetro altura de pecho (cm)

TABLA 4A. FUNCION RENDIMIENTO VOLTEO HARVESTER TIMBERJACK 608

Función
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401 \times DAP}{1,1083 + 0,1247 \times DAP}$
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401 \times DAP}{-0,5262 \times DAP^{0,6076}}$
$R = \frac{-993,4278 \times 78,7401 \times DAP}{Exp^{(0,7276 + 0,0273 \times DAP)}}$

TABLA 5A. FUNCION RENDIMIENTO DESRAME HARVESTER TIMBERJACK 608



Función	r	EEE	F
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401xDAP}{-8,6669 + 0,9284xDAP}$	0,82	3,17	26,22
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401xDAP}{-3,1208xDAP^{1,7865}}$	0,91	0,19	62,65
$R = \frac{-993,4278x78,7401xDAP}{Exp^{(0,3703+0,0906xDAP)}}$	0,90	0,19	60,84

TABLA 6A. FUNCION RENDIMIENTO TROZADO HARVESTER TIMBERJACK 608

Función
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401xDAP}{-1,3241 + 0,1472xDAP}$
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401xDAP}{-0,7258xDAP^{0,7261}}$
$R = \frac{-993,4278x78,7401xDAP}{Exp^{(0,7895+0,0321xDAP)}}$

R = Rendimiento m3/hr

Funciones válidas para los siguientes límites de DAP:

Menor: 12 cm

Mayor: 30 cm

TABLA 7A. FUNCION RENDIMIENTO TOTAL HARVESTER TIMBERJACK 608

Función
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401xDAP}{-8,8827 + 1,2003xDAP}$
$R = \frac{-993,4278 + 78,7401xDAP}{(-0,5262xDAP^{0,6076}) + (-3,1208xDAP^{1,7865}) + (-0,7258xDAP^{0,7261})}$
$R = \frac{-993,4278x78,7401xDAP}{(Exp^{(0,7276+0,0273xDAP)}) + (Exp^{(0,3703+0,0906xDAP)}) + (Exp^{(0,7895+0,0321xDAP)})}$

TABLA 8A. FUNCION REGRESION VIAJE VACIO FORWARDER TIMBERJACK

1010

Función	r	EEE	F
$T_{vv} = 0,5798 + 0,0097 \times DM1$	0,94	0,69	31,77
$T_{vv} = - 3,3837 DM1^{0,8133}$	0,87	0,11	44,76
$T_{vv} = Exp^{(0,4046+0,0024 \times DM1)}$	0,85	0,11	37,24

TABLA 9A. FUNCION REGRESION VIAJE CARGADO FORWARDER TIMBERJACK 1010

Función	r	EEE	F
$T_{vc} = 0,8211 + 0,0098 \times DM2$	0,95	69	474,32
$T_{vc} = - 3,7049 \times DM2^{0,8778}$	0,95	14	439,77
$T_{vc} = EXP^{(0,6981 + 0,0019 \times DM2)}$	0,91	19	230,11

$T_{vv}$  = Tiempo viaje vacío, min/ciclo

$T_{vc}$  = Tiempo viaje cargado, min/ciclo

$DM1$  = Distancia madereo vacío, min/ciclo

$DM2$  = Distancia madereo cargado, min/ciclo

TABLA 10A. FUNCION RENDIMIENTO FORWARDER TIMBERJACK 1010

Función
$R = \frac{756}{(47,13 + 0,0097 \times DM1 + 0,0098 \times DM2)}$
$R = \frac{756}{45,73 + (-3,3836 \times DM1^{0,8132} - 3,7049 \times DM2^{0,8777})}$
$R = \frac{756}{45,73 + (Exp^{(0,4046+0,024 \times DM1)}) + Exp^{(0,6981+0,0019 \times DM2)}}$