



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Evaluación técnica y económica de
Sistema de astillado en bosque de *Eucalyptus* sp.**

Patrocinante: Sr. Patricio Carey B.

Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para optar
al Título de **Ingeniero Forestal**.

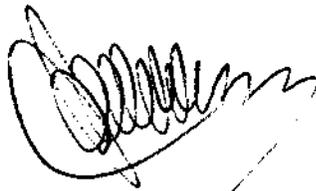
ALVARO CARLO JARAMILLO MENDOZA

VALDIVIA
2005

CALIFICACION DEL COMITE DE TITULACION

		Nota
Patrocinante:	Sr. Patricio Carey Briones	6.5
Informante:	Sr. Gabriel Duran Miranda	6.0
Informante:	Sra. Rosa M. Alzamora Mallea	6.3

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del comité de Titulación.



Sr. Patricio Carey B.

*A mis Padres, hermanas y
María Jesús, por su
constante apoyo y
preocupación.*

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis Profesores colaboradores Sra. Rosa M. Alzamora M. y Sr. Gabriel Duran M, por sus enseñanzas y en forma especial a mi Profesor Guía Sr. Patricio Carey Briones, a quien debo mucho, por entregarme sus conocimientos que me permitirán desenvolverme en forma correcta en esta nueva etapa de mi vida.

Agradezco a Forestal y Agrícola Monte Águila S.A. por la oportunidad de permitirme realizar el Trabajo de Titulación y de manera muy especial a la empresa KBM Chile, por brindarme las facilidades en su empresa lo que permitió el desarrollo del tema.

Detrás de este logro, no puedo dejar de reconocer y agradecer el apoyo y preocupación constante, en forma especial de mis padres, que con sus sabios consejos y formación de valores, me han permitido desarrollarme plenamente.

También agradezco excepcionalmente a María Jesús por su apoyo y comprensión constante durante gran parte de mi carrera.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes generales del género Eucalyptus	3
2.2 Concepto y descripción de sistema de cosecha y astillado en bosque	4
2.3 Subsistemas de cosecha y astillado en bosque	6
2.3.1 Volteo	6
2.3.2 Madereo	6
2.3.3 Astillado	6
2.3.4 Transporte	6
2.4 Estudio de tiempos	7
2.5 Estudio de rendimientos	7
2.6 Estudio de costos	7
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	9
3.1 Descripción del área de estudio	9
3.1.1 Ubicación del área de estudio	9
3.1.2 Clima	9
3.1.3 Bosque	9
3.2 Descripción del sistema de cosecha y astillado en bosque	10
3.3 Determinación de tiempos y volúmenes	14
3.3.1 Subsistema volteo	14
3.3.2 Subsistema madereo	14
3.3.3 Subsistema astillado	15
3.3.4 Subsistema transporte	15
3.4 Determinación de los costos	15
4. RESULTADOS	16
4.1 Tiempos y rendimientos	16
4.1.1 Subsistema volteo	16
4.1.2 Subsistema madereo	20

4.1.3	Subsistema astillado	26
4.1.4	Subsistema transporte	30
4.2	Determinación de costos	33
4.2.1	Costos para rendimientos con demoras inferiores a 10 minutos	33
4.2.2	Costos para rendimientos con demoras totales	36
5.	CONCLUSIONES	40
6.	BIBLIOGRAFÍA	41

ANEXOS

1	Abstract and key words
2	Formularios de terreno
3	Información del rodal
4	Estadística
5	Determinación de los costos

RESUMEN EJECUTIVO

Se plantea como objetivo general de este estudio, efectuar una evaluación técnica y económica de un sistema de cosecha y astillado en bosque de *Eucalyptus sp.*, el cual incorpora un equipo desramador – descortezador y astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G.

El área de estudio se ubica en el sector de Mulchén, en la provincia del Bío bío (VIII Región), en una faena de cosecha de un rodal de *Eucalyptus sp.* de 12 años de edad.

Para lograr el objetivo general del estudio, se plantean los siguientes objetivos específicos: 1) Describir el sistema utilizado en la faena de cosecha y astillado en bosque, 2) desarrollar un estudio de tiempos y rendimientos de cada subsistema y del sistema de cosecha en su conjunto y determinar la productividad ($m^3/hrpl$) del subsistema y del sistema en su conjunto y 3) desarrollar un estudio de costos (US\$/ m^3) para cada subsistema y del sistema de cosecha en su conjunto.

Los subsistemas que integran el sistema estudiado son el subsistema de volteo, subsistema de madereo, subsistema de astillado y el subsistema de transporte.

Para el estudio de rendimientos se realiza un inventario del rodal y se identifican tres tipos de categoría de árbol, dependientes del diámetro a la altura del pecho (DAP): Categoría 1, árboles menores a 25 cm. de DAP (Volumen medio individual $0.149 m^3$); categoría 2, árboles mayores o igual a 25 cm. y menores a 35 cm. de DAP (Volumen medio individual $0.657 m^3$) y categoría 3, árboles mayores o iguales a 35 cm. de DAP (Volumen medio individual $1.003 m^3$).

Los costos se calcularon según metodología utilizada por Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC), se incluyen costos fijos, costos variables y costos de mano de obra.

El estudio de tiempos y rendimientos se analiza clasificando las demoras del equipo dentro de cada subsistema en demoras inferiores a 10 minutos y demoras totales, las cuales incluyen las demoras menores y mayores a 10 minutos. Por esta razón se determinan dos productividades por subsistema en el estudio de tiempos. Las productividades determinadas para el subsistema de volteo son 85.8% y 68.4% respectivamente, para el subsistema de madereo 71.7% y 46.6% respectivamente, para el subsistema de astillado 81.9% y 64.3% respectivamente y para el subsistema de transporte se determina una productividad de 80.2% al no presentar demoras inferiores a 10 minutos.

Los rendimientos calculados por hora planificada para el subsistema de volteo son $106.5 m^3/HrPI$ y $84.8 m^3/HrPI$ respectivamente, para el subsistema de madereo $47.9 m^3/HrPI$ y $31.2 m^3/HrPI$, para el subsistema de astillado $22.2 m^3/HrPI$ y $17.4 m^3/HrPI$ y para el subsistema de transporte $4.9 m^3/HrPI$.

El costo horario del sistema se calcula de acuerdo a metodología aplicada por FERIC y se determina en 343.25 US\$/HrPI, el que incluye costos de propiedad de la maquinaria, los costos operacionales y de mano de obra directa. El subsistema con mayor participación en el costo total horario, es el subsistema de astillado con un 42.36% (145.41 US\$/HrPI).

El estudio de costos determina un costo unitario total del sistema de cosecha y astillado de 20.88 US\$/m³ para rendimientos planificados que incluyen solo las demoras inferiores a 10 minutos registradas.

El estudio de costos determina un costo unitario total del sistema de cosecha y astillado de 23.59 US\$/m³ para rendimientos planificados que incluyen el total de demoras registradas, obteniéndose de esta manera una diferencia de 2.71 US\$/m³ dependiendo de la eliminación de las demoras operacionales mayores a 10 minutos.

Palabra Clave: Subsistema, astillado, tiempos, rendimientos, costos.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cosecha forestal se han ido tecnificando progresivamente, principalmente con la implementación de nuevos equipos, máquinas y herramientas de mayor complejidad y eficiencia en sus funciones.

Los sistemas de cosecha de plantaciones de especies introducidas como *Pinus radiata* y *Eucalyptus* sp., han experimentado grandes cambios en las últimas dos décadas, lo cual se ve reflejado en un incremento de una alta mecanización y de nuevas tecnologías existentes en Chile.

Las plantaciones establecidas en Chile hoy en día, con especies del género *Eucalyptus*, alcanzan aproximadamente las 388 mil hectáreas, lo que corresponde al 18,7% del total de las plantaciones industriales. El volumen proyectado de la disponibilidad de *Eucalyptus* sp. en Chile, para el año 2012 es de 12.0 millones de metros cúbicos.

La cosecha mecanizada de *Eucalyptus* sp. se ha desarrollado en los últimos años en nuestro país con un sistema de cosecha de madera pulpable, utilizándose cortadoras-procesadoras, tractores con garra y autocargables, para el posterior transporte de las trozas, como madera corta hacia los puntos de transformación de astilla.

En países forestales como Canadá y Estados Unidos, entre otros, se han desarrollado sistemas y equipos de cosecha que realizan el astillado de la madera en el bosque.

El proceso de astillado en bosque se presenta como un método que aumenta el volumen de fibra de aprovechamiento en un área de cosecha, principalmente debido a que se incluye el procesamiento de árboles delgados, copas y madera que antes se consideraba inutilizable.

Según informes técnicos desarrollados en éstos países, revelan una buena alternativa para aplicar en nuestro país.

Actualmente, en Chile, existe poca información de productividad y evaluación técnica de equipos astilladores portátiles, los cuales realizan la transformación de la materia prima en el bosque. De esta manera, este estudio pretende responder a la necesidad de información respecto a la factibilidad técnica de la utilización de astilladores portátiles en faenas de cosecha en plantaciones de *Eucalyptus* sp. y realizar un análisis de las ventajas que presenta este sistema.

Los objetivos de este trabajo son:

General

- Efectuar una evaluación técnica y económica de un sistema de cosecha y astillado en bosque de *Eucalyptus* sp.

Específicos

- Describir el sistema utilizado en la faena de cosecha y astillado en bosque.
- Desarrollar un estudio de tiempos y rendimientos de cada subsistema y del sistema de cosecha en su conjunto y determinar la productividad (m^3/hrpl) del subsistema y del sistema en su conjunto.
- Desarrollar un estudio de costos ($\text{US}\$/\text{m}^3$) para cada subsistema y del sistema de cosecha en su conjunto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes generales del género *Eucalyptus*.

El término *Eucalyptus* significa en griego “cubro bien”, debido a que los opérculos de los botones florales cubren a sus flores mucho mejor que en el caso de otros géneros de plantas (Cozzo, 1955).

El género *Eucalyptus* comprende alrededor de 520 especies y más de 150 variedades, originarias de Australia y Malasia. Estas se encuentran adaptadas a los más diversos suelos y climas, y algunas de ellas han sido introducidas en España, Brasil, Portugal, Nueva Zelanda, Chile y otros países.

Según Ipinza (1993) y Prado (1989), la posición sistemática del género *Eucalyptus* L`Herit es:

- Familia : Myrtaceae
- Sub familia : Leptospermoideae
- Tribu : Leptospermae
- Sub tribu : Eucalyptinae
- Género : Eucalyptus

Muchas de estas especies han demostrado una alta capacidad de adaptación y rápido crecimiento con la posibilidad de obtener múltiples productos, destacando entre ellos pulpa de fibra corta y leña. El sistema de manejo de las plantaciones para obtener estos productos en rotaciones cortas, es con una silvicultura intensiva desde la producción en vivero hasta la cosecha.

Las plantaciones establecidas en Chile hoy en día, con especies del género *Eucalyptus*, alcanzan aproximadamente las 388 mil hectáreas, lo que corresponde al 18,7% del total de las plantaciones industriales establecidas en el país (Infor, 2004).

En Chile la madera de *Eucalyptus* sp. es usada para leña, madera aserrada, revestimientos, chapas, pulpa y madera con fines estructurales (Prado, 1989; Díaz, 1988).

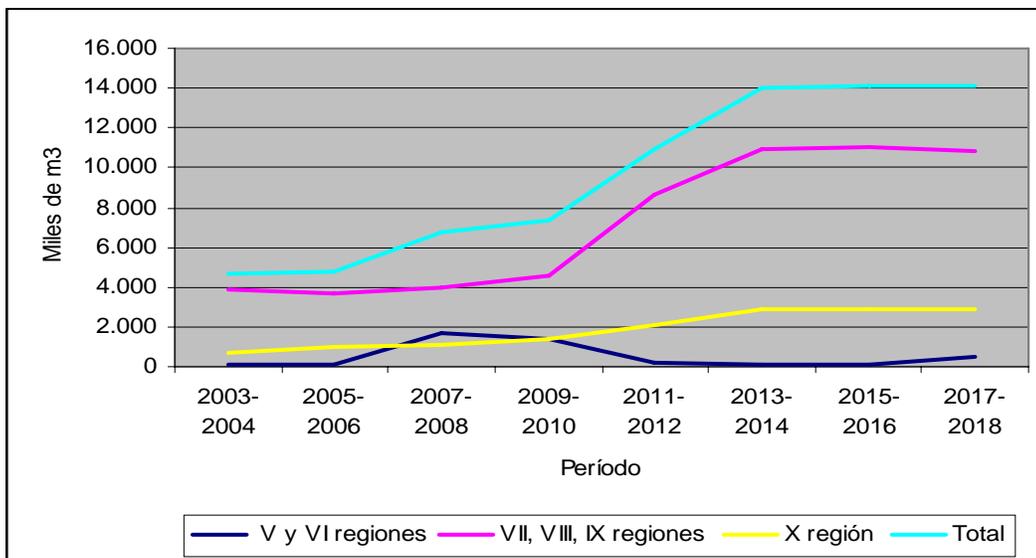


Figura 1. Disponibilidad futura de madera pulpable de *Eucalyptus* sp. (INFOR, 2004)

De acuerdo a estadísticas del Instituto Forestal, los volúmenes disponibles para cosecha de *Eucalyptus* se duplicarán en los próximos 6 años, desde aproximadamente 6.0 millones a 12.0 millones el año 2012, como se indica en la figura 1.

2.2 Concepto y descripción de sistema de cosecha y astillado en bosque

Según Conway (1976), un sistema comprende un grupo de componentes relacionados entre sí y que en conjunto contribuyen a un objetivo común. Además, cada sistema puede ser considerado como parte de uno mayor, un sistema dominante. Al mismo tiempo, el sistema en cuestión puede estar compuesto por varios sistemas pequeños llamados subsistemas, los cuales también están interrelacionados. El concepto de sistema, entonces se define como un conjunto de actividades y la interacción entre ellas. La palabra sistema sugiere planificación, metodología y orden.

Conway (1976), también se refiere a un sistema de cosecha como el proceso que incluye la corta de árboles, la manipulación de trozas largas o segmentos de trozas y el transporte de madera desde un punto a otro.

El sistema de cosecha de árbol completo y astillado en bosque (In wood chipping system), se caracteriza por realizar el madereo del árbol completo, es decir, sin desramar, trozar ni despuntar. El desrame, descortezado y astillado es realizado a orilla de camino por un equipo desramador, descortezador y astillador (DDC) portátil.

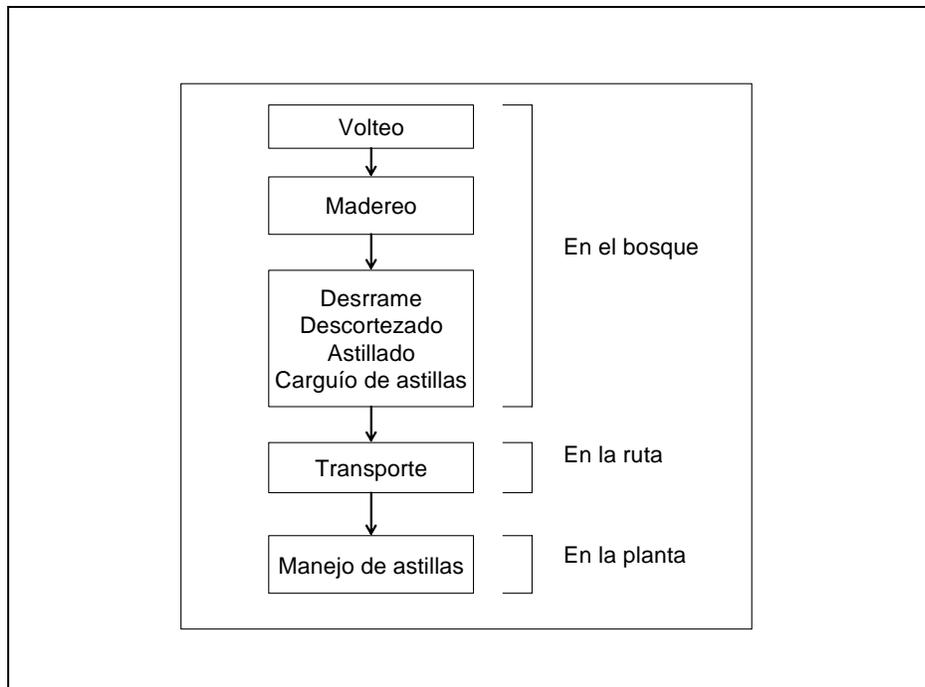


Figura 2. Fases de producción del sistema de cosecha de árbol completo (In wood chipping system).

Según Foot, J; Gonzáles, M y Barnes, G. (2000). El descortezar y astillar en el bosque provee el más alto valor de los árboles de menor calidad. Específicamente, los métodos de cosecha de madera pulpable dejan las puntas de los árboles y otros residuos en el bosque. Estas puntas, incluyendo las ramas gruesas de los árboles, más la madera que antes se consideraba como “no vendible”, una vez descortezadas y astilladas, pueden representar desde 10% a 33% más de fibra de madera.

Otra ventaja del astillado en el bosque es el menor costo de manejo por hectárea, la madera pulpable, en rollizo, es tradicionalmente manipulada 6 a 7 veces, antes de ser astillada, vale decir, volteo, desrame, trozado, descortezado, arrumado, clasificado y carguío, etc., en todos estos casos, siempre significa incurrir en costos. En comparación, al astillado del árbol entero en el bosque, el cual se hace más eficiente y solo requiere aproximadamente 4 manipulaciones de los mismos recursos. Lo que permite obtener un menor costo de producción de madera pulpable.

Por otra parte, en el sistema de astillado en bosque, si se decide no utilizar la corteza y ramas para energía, los skidders pueden retornar este material al bosque y de esta manera las ramas y corteza, ahora semi-procesadas, entrarán en descomposición en el bosque más rápidamente que las partes sólidas, devolviendo nutrientes al suelo y reduciendo la posibilidad de incendios forestales.

En un estudio realizado por Desrochers, L (2000) y por Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC) sobre la utilización de grapple skidders y bulldozer para el tratamiento de los residuos del delimber – debarker - chipper (DDC); se determinó que la utilización del skidder no afectaba la productividad de éste, en la faena de

madereo, ni tampoco incide en la productividad del astillador. Por otra parte se determinó que es más eficiente en esta tarea la utilización de un tractor bulldozer equipado con un rastrillo, para manipular los residuos en la salida de desechos del astillador, pero esta alternativa resulta de mayor costo y eventualmente se produce una pérdida de productividad y calidad del sitio.

2.3 Subsistemas de cosecha y astillado en bosque

2.3.1 Volteo

Esta labor es realizada por un *Feller buncher*. El trabajo de esta máquina se compone de un desplazamiento hacia el árbol seleccionado, cortarlo y desplazarse hacia el siguiente árbol, para luego de juntar un grupo de árboles, voltearlos y engavillarlos. Luego se desplaza hacia el próximo lugar de volteo y el ciclo continúa. También puede realizar esta operación con ciclos de árboles individuales. Se obtiene una mayor productividad m^3 /hombre-día, mejora sustancialmente la seguridad laboral.

2.3.2 Madereo

Esta labor es realizada por dos *Skidder grapple*. Esta actividad se realiza desde el lugar de volteo directamente hacia la orilla del camino donde se encuentra el astillador. El ciclo de trabajo comienza con el viaje vacío de la máquina al lugar en donde se encuentran las gavillas (grupo de árboles arrumados), donde se posiciona para tomar la carga, un viaje cargado y posterior descarga de la madera. Luego comienza otro ciclo con el viaje vacío. Como una de las ventajas del *Skidder grapple* frente al *Skidder huinche* es el mayor tamaño de carga entre 4 y 8 m^3 por gavilla.

2.3.3 Astillado

Esta labor es realizada por un astillador portátil como el Peterson Pacific o algún modelo Morbak. El ciclo de esta máquina comienza con la toma de la madera y el procesamiento de los árboles completos. Esta actividad se realiza, mediante la utilización de una grúa incorporada en la máquina, posteriormente se realiza, el desrame, descortezado, astillado de la madera y el carguío de las astillas directamente al camión para el transporte. El tipo de trabajo de esta máquina corresponde a un ciclo continuo y la productividad depende de la disponibilidad de madera para procesar y de la disponibilidad de un camión para el carguío de la astilla.

2.3.4 Transporte

Esta labor es realizada por camiones provistos de carrocerías “chiperas” metálicas. El ciclo de trabajo comienza con el acomodo del camión al lado del astillador, el carguío de las astillas, el viaje cargado hacia la planta de destino, la descarga de las astillas (la cual se realiza manualmente), y el viaje vacío de retorno al predio, donde se ubica en posición de espera de carga.

2.4 Estudio de tiempos

Cardiel (1982) señala que el estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y los ritmos del trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución establecida.

Carey (1992) utiliza los siguientes conceptos para clasificar los tiempos:

- Tiempo planificado (HrPI): Corresponde al tiempo total el ciclo de trabajo, el cual incluye los tiempos productivos (de trabajo) más el tiempo de las demoras. Por lo tanto, corresponde a la suma de los tiempos productivos y las demoras, y se expresa en minutos u horas planificadas.
- Tiempo productivo (HrPr): Corresponde a la suma de los tiempos parciales de los elementos productivos del ciclo de trabajo de los subsistemas, excluyendo las demoras y se expresa en minutos u horas productivas
- Tiempo de demoras: Corresponde a tiempos ocasionales, ya sea indirectamente productivos o tiempos muertos. Además estos se pueden clasificar en tres grupos: operacionales, mecánicas y personales. Estos tiempos son indispensables para el cálculo de productividades.

2.5 Estudio de rendimientos

Carey (1992) señala que un estudio de rendimiento corresponde al registro de los tiempos totales utilizados durante la realización de las actividades, su relación con los volúmenes extraídos y las condiciones físicas del trabajo en ese período. Estos tiempos están compuestos por tiempos productivos y no productivos o demoras.

Además indica que, el rendimiento productivo ($m^3/hrpr$) de una máquina o subsistema en general, corresponde al su rendimiento potencial, es decir, al máximo rendimiento alcanzable en condiciones ideales. Lo que busca este estudio es disminuir las demoras o tiempos muertos para así aumentar la productividad y por consecuencia el rendimiento planificado ($m^3/hrpl$).

2.6 Estudio de costos

Según FERIC (Forest engineering research institute of Canada), el costo de una máquina o equipo forestal deberá incluir el total de costos que provienen de la compra y de aquellos generados por su operación. Estos costos normalmente son agrupados en costos fijos y costos variables; sin embargo, el costo de mano de obra es considerado por separado.

Para el cálculo de los costos fijos y variables, el propietario o usuario requiere información preliminar de las especificaciones de los equipos, de la inversión inicial que ha ocasionado la adquisición del bien, los años en que se espera mantener en servicio la máquina, el valor de reventa esperado; información preliminar real o asumida que constituye la base para la mayoría de las decisiones y que puede tener decisiones funestas cuando no es claramente interpretada (Neuenschwander, 2001).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica en la precordillera andina de la VIII Región, provincia del Biobío, a una distancia aproximada de 23 Km. de la ciudad de Mulchén.

3.1.2 Clima

El clima del valle central y la precordillera andina de la parte sur de la VIII Región, corresponde a un clima templado mediterráneo subhúmedo. El régimen térmico se caracteriza por temperaturas que varían, en promedio, entre una máxima de enero de 27,1°C y una mínima de Julio de 4,1°C. El período libre de heladas es de 213 días, con un promedio de 14 heladas por año. El régimen hídrico observa una precipitación media anual de 1.226 mm, y un período seco de 5 meses (Santibáñez y Uribe, 1993).

3.1.3 Bosque

El bosque en estudio corresponde a una plantación de *Eucalyptus sp.* de 12 años de edad. Al tratarse de un rodal con objetivos pulpables, éste no presentaba manejo, en lo que a podas y raleos se refiere. El área de cosecha tiene una densidad de plantación de 1,320 plantas por hectárea y el inventario realizado para efectos del estudio, determinó un volumen total por hectárea de 517.5 m³ssc.



Figura 3: Bosque y caminos del Predio.



Figura 4: *Eucalyptus sp.* 12 años

Para los efectos del análisis de los resultados y según el inventario realizado, se determinaron tres categorías de árbol, dependiendo del DAP y por consiguiente por el volumen individual del árbol medio de la categoría, lo cual se explica en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de las categorías de árboles del rodal

Categoría	Descripción	Volumen medio (m ³)
1	Menor a 25 cm	0.149
2	≥ 25 y <35 cm	0.657
3	≥ 35 cm	1.003

3.2 Descripción del sistema de cosecha y astillado en bosque

El sistema de cosecha y astillado en bosque de *Eucalyptus sp.* utilizado en la faena estudiada, está catalogado como altamente mecanizado debido a la poca utilización de mano de obra en las diversas actividades, y está compuesto por los siguientes equipos por subsistema:

Volteo: El equipo utilizado corresponde a un Feller Buncher marca Tigercat modelo 720C. Posee un motor Cummins 6BTa 5,9 (165 hp). Sus dimensiones son: Alto 3.350 mm; ancho 2.540 mm; largo 5.260 mm. Presenta una articulación central que une los dos chasis permitiendo un quiebre en 45°, para facilitar la maniobras dentro del bosque y un despegue desde el piso de 510 mm. El peso total del equipo es de 10.850 kg. (ver Figura 5).



Figura 5: Feller Buncher Tigercat 720 C.

Madereo: En el subsistema madereo se utilizan dos Skidders grapple; uno de marca Tigercat modelo 620, que posee un motor Cummins QSB 5,9 (174 hp). Sus dimensiones son: Alto 3.050 mm; ancho 3.100 mm y largo 7.980 mm. Presenta una articulación central que une los dos chasis permitiendo un quiebre en 45°, para facilitar la maniobrabilidad dentro del rodal. Una altura desde el piso de 530 mm; y un peso total de 13.835 kg. La amplitud de la garra en su máxima extensión es de 2.640 mm. Soporta una capacidad de carga máxima de 4.000 kg. (ver Figura 6).



Figura 6: Skidder Tigercat 620.

El otro equipo corresponde a un John Deere modelo 748. Posee un motor John Deere 6068H (157 hp). Sus dimensiones son: Alto 3.030 mm; ancho 3.011 mm y largo 7.230 mm; También está provisto de una articulación central que une los dos chasis para facilitar el manejo del equipo en lugares restringidos. Una altura desde el piso de 535 mm; y un peso total de 12.083 kg. La amplitud de la garra en su máxima extensión es de 2.640 mm, y soporta una capacidad de carga máxima de 4.000 kg. (ver Figura 7).



Figura 7: Skidder John Deere 748.

Procesamiento: El proceso de desrame, descortezado, astillado y carguío de la madera, es realizado por un equipo marca Peterson Pacific modelo DDC 5000 (ver figura 8), que posee un motor Caterpillar 3412E (860 hp) y presenta dos tambores horizontales (desramadores – descortezadores) (ver figura 9), un disco astillador y un ciclón de aire para el carguío de la astilla (ver Figura 11). En su parte posterior está provisto de una grúa hidráulica Prentice modelo 180 para la realización de la alimentación de madera al tambor horizontal desramador – descortezador. Cada tambor tiene 96 tiras de cadena de 5/8” dispuestas en 6 ejes de 16 tiras de cadena cada uno, para golpear la madera (ver figura 9). El diámetro máximo de la madera para la operatividad del equipo es de 56 cm. Las dimensiones del equipo son: Alto 4.090 mm; ancho 3.250 mm; largo 15.800 mm; y el peso total es de 42.410 kg.



Figura 8: Astillador Peterson Pacific 5000.



Figura 9: Tambor descortezador.

Transporte: La operación del transporte de la astilla se realiza con un grupo de 9 camiones marca Freightliner modelo FL112 6x4, con motor Mercedes Benz de 410 Hp. equipados con ramplas metálicas doble puente diseñadas especialmente para el transporte de astillas.

Las dimensiones de la rampla son: Alto 4.100 mm; ancho 2.400 mm; largo 13.500 mm. con una capacidad de carga de 30 metros cúbicos. La tara del equipo (camión y Rampla vacío) es de 15.500 Kg. Con una capacidad Neta de carga es de 30.000 Kg. (ver figura 10).



Figura 10: Camión Freightliner FL 112 6x4.



Figura 11: Carguío de astillas.

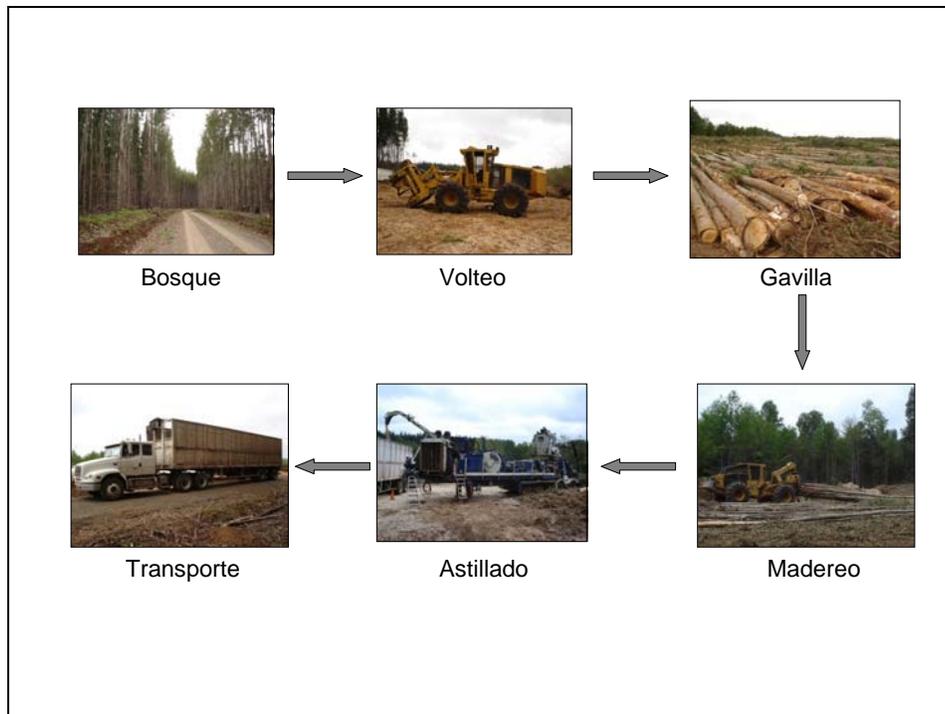


Figura 12. Esquema del sistema de cosecha y astillado en bosque.

La figura 12 muestra el ciclo de trabajo del sistema de cosecha y astillado en bosque en su conjunto, determinando la secuencia de los diferentes subsistemas involucrados en el ciclo productivo.

Las variables independientes consideradas en cada subsistema son:

- Volteo : Volumen árbol medio.
- Madereo : Tamaño de carga, distancia de madereo.
- Astillado : Volumen árbol medio.
- Transporte : Tamaño de carga, distancia de transporte y número de camiones.

3.3 Determinación de tiempos y volúmenes

En esta etapa se obtuvo la información necesaria para el cálculo de estadísticas descriptivas básicas de cada subsistema midiendo el tiempo consumido por cada uno de éstos. Incluyendo tiempos productivos y no productivos o demoras (operacionales, mecánicas, personales). Para la realización de este estudio se utilizó un cronómetro centesimal, y el método de medición utilizado fue el de vuelta a cero. Los registros de tiempos fueron anotados en formularios especialmente diseñados para ésta labor.

3.3.1 Subsistema Volteo

Medición del tiempo: Como primera tarea se realizó un seguimiento a la máquina para determinar todas las actividades comúnmente realizadas por ésta en el desarrollo de un ciclo de trabajo. Luego se procedió a clasificar y codificar cada una de las operaciones por separado, para facilitar el registro en el formulario. Además se agregaron las operaciones no productivas como por ejemplo, carga de combustible, mantención, detenciones, etc.

Terminada la clasificación y codificación de cada una de las operaciones realizadas por la máquina, se procedió a realizar el registro de tiempos. Cada lectura quedó registrada junto a su código en el formulario de registros.

Medición del volumen: Para la medición del volumen cosechado, se clasificaron los árboles en categorías por volumen de árbol medio. Cada vez realizada la operación de corta, junto con registrar el tiempo, se registraron la cantidad de árboles cortados y la categoría de volumen medio de cada uno. Con esta información se determina el rendimiento promedio del equipo.

El volumen por árbol se obtuvo por medio de la siguiente función de volumen*.

$$VT = - 0.007673 - 0.000054972 * DAP^2 + 0.001280 * HT + 0.000027170 * DAP^2 * HT$$

Donde:

VT = Volumen total (m³)
DAP = Diámetro a la altura del pecho (1.3 m)
HT = Altura total del árbol (m)

3.3.2 Subsistema Madereo

Medición del tiempo: Para la toma de tiempos de este equipo se determinó cada actividad realizada en el desarrollo de un ciclo de trabajo, tales como, toma de desechos (tiempo), viaje con desechos (tiempo y distancia), viaje vacío (tiempo y distancia), toma de carga (tiempo), Viaje cargado (tiempo y distancia) y descarga y acomodo de gavilla (tiempo).

* Cátedra de Inventario Forestal, 2004, Universidad Austral de Chile.

Medición del volumen: El rendimiento del skidder se determina a partir del volumen transportado por el tractor en cada ciclo, el cual se calcula a partir del número de árboles transportados por gavilla y el volumen del árbol medio por árbol.

3.3.3 *Subsistema Astillado*

Medición del tiempo: Para la toma de tiempos del astillador se registró el tiempo productivo y el tiempo no productivo, detallándose cada una de las actividades realizadas por la máquina. Actividades no productivas comunes del astillador son: Espera de madera, espera de camiones, cambio de cuchillos, cambio de equipo de transporte, demoras mecánicas y demoras operacionales.

Medición del volumen: El rendimiento del astillador se determinó a partir del volumen de madera procesada por hora de trabajo, expresado en árboles/hora y m³/hora. Este volumen se obtiene a partir del número de piezas por categoría de volumen del árbol procesado.

3.3.4 *Subsistema Transporte*

Medición del tiempo: Para el caso del transporte, se registraron los tiempos de las diferentes actividades realizadas por el camión en la cancha y durante el viaje cargado y el viaje vacío. Siendo estos tiempos productivos y/o no productivos o demoras. En el caso de los tiempos improductivos se separaron en operacionales, mecánicos, o personales.

Medición del volumen: El rendimiento del subsistema de transporte se determina a partir del volumen de astillas transportadas y por el número de camiones por hora y por jornada. Se medirá el volumen en m³ por camión o toneladas por camión.

3.4 **Determinación de los costos**

El estudio de costos se realizará una vez determinados los estudios de tiempos y rendimientos de cada subsistema y del sistema en su conjunto. Para la determinación de los costos, se desarrollará una planilla de costos por subsistema en base a la maquinaria nueva, la cual contendrá los costos reales de operación de cada equipo en la faena estudiada.

Se calcularán los costos horarios de operación (US\$/HrPI) de cada subsistema y del sistema de cosecha y astillado en general. También se calcularán los costos unitarios de producción de un metro cúbico de madera pulpable (US\$/m³) para cada subsistema y para el sistema de cosecha y astillado en general.

4. RESULTADOS

4.1 Tiempos y rendimientos determinados para cada subsistema

4.1.1 Subsistema volteo

Para la operación de volteo se utiliza un equipo cortador - arrumador (feller buncher) marca Tigercat modelo 720C. El ciclo de trabajo de esta máquina está compuesto por una operación de corte y volteo, seguido de un desplazamiento corto vacío. La operación de corte la realiza el equipo avanzando por las líneas de plantación y el volteo lo realiza lateralmente en la dirección al avance del equipo. El desplazamiento vacío es el movimiento desde el lugar en que deposita los árboles en el suelo, formando la gavilla, hasta el próximo árbol a cortar en la hilera de plantación.

Luego de terminada la hilera de plantación, se realiza un desplazamiento largo vacío, el cual consiste en retomar el inicio de la nueva hilera de plantación, para realizar así el mismo avance de corte y volteo sobre la nueva línea de plantación. Cabe destacar que la topografía del lugar es casi totalmente plana y no hay presencia de sotobosque, lo que facilita el desplazamiento y maniobrabilidad del equipo en el rodal.

Cuadro 2. Resumen de tiempos totales y productividad del subsistema Volteo

Parámetros	
Tiempo total (minutos)	365.7
Tiempo total productivo (minutos)	250.1
Número de ciclos (n)	527.0
Tiempo total demoras < 10 minutos (minutos)	41.3
Tiempo de demoras Totales (minutos)	115.6
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	285.2
Utilización de maquinaria demoras < 10 minutos (%)	85.8
Utilización de maquinaria Total demoras (%)	68.4

En el cuadro 2 se presentan los datos totales del estudio de tiempos y rendimientos y se determina la utilización del equipo en un 85.8%, si se consideran las demoras menores a 10 minutos (41.3 minutos). Si se consideran las demoras totales del equipo (115.6 minutos), la utilización de la maquinaria se determina en un 68.4%. En términos cuantitativos, el rendimiento del equipo por hora productiva es de 285.2 árboles.

Los parámetros obtenidos de productividad se detallan en el cuadro 3. Estos corresponden a la producción de una hora promedio del equipo cortador - arrumador (feller buncher) por categoría de árbol para la faena estudiada.

Cuadro 3. Resumen de tiempos totales y productividad por categoría de árbol para subsistema Volteo

Parámetros	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Total
Tiempo total registrado (minutos)	106.8	84.0	59.2	250.1
Total de árboles registrados (árboles)	647	373	169	1189
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	156.3	90.6	41.1	287.9
Volumen del árbol medio (m ³)	0.149	0.657	1.003	
Volumen por hora productiva (m ³ /HrPr)	23.3	59.5	41.2	124.0
Volumen Planificado demoras < 10 min. (m ³ /HrPI)	20.0	51.1	35.4	106.5
Volumen Planificado Total demoras (m ³ /HrPI)	15.9	40.7	28.2	84.8
Porcentaje de volumen por categoría (%)	18.8	48.0	33.2	100.0

El trabajo del equipo ha sido analizado diferenciando los árboles en tres categorías de volumen medio individual, determinando así una productividad individual por categoría.

El rendimiento planificado para el total de las categorías, considerando la productividad con demoras menores a 10 minutos, es de 106.5 m³/HrPI. Si se considera el tiempo total de demoras, el rendimiento total se determina en 84.4 m³/HrPI.

La categoría de mayor rendimiento por hora planificada corresponde a la categoría 2, que contiene árboles entre 25 y 35 cm. de DAP. y presentan un volumen medio por árbol de 0.657 m³. Para esta categoría de árboles se determina una producción de 51.1 m³ por hora planificada, considerando las demoras menores a 10 minutos y considerando las demoras totales, la productividad del equipo para esta categoría es de 40.7 m³ por hora planificada; aportando el 48.0% del volumen total producido por hora planificada, superando considerablemente al 18.8% determinado para categoría 1, esto debido al bajo volumen individual de los árboles de esta categoría.

En el cuadro 4 se estima la producción potencial del equipo cortador – arrumador (Feller buncher), realizando una simulación del trabajo de éste con árboles de cada una de las categorías por separado, durante una hora promedio de la faena estudiada.

Cuadro 4. Productividad potencial por categoría de árbol para subsistema Volteo

Parámetros	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Tiempo total registrado (minutos)	106.8	84.0	59.2
Total de árboles registrados (árboles)	647	373	169
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	363.4	266.4	171.2
Volumen del árbol medio (m ³)	0.149	0.657	1.003
Volumen por hora productiva (m ³ /HrPr)	54.1	175.1	171.7
Volumen Planificado demoras < 10 min. (m ³ /HrPI)	46.5	150.3	147.4
Volumen Planificado Total demoras (m ³ /HrPI)	37.0	119.7	117.4

El cuadro anterior estima la productividad potencial del equipo cortador – arrumador (Feller buncher) según categoría de árbol, durante el cual se considera el trabajo del feller sólo con árboles de una misma categoría. Se estima un volumen potencial planificado, con árboles de la categoría 2, de 150 m³; muy similar al rendimiento estimado para el trabajo con árboles de la categoría 3. Donde se estima una baja productividad es para árboles de la categoría 1 con 46.5 m³, debido al bajo volumen medio individual de los árboles de esta categoría.

Luego se separan las demoras registradas del equipo en demoras mecánicas y no mecánicas u operacionales, las cuales se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Detalle de tiempos de demoras por categoría e intervalos de tiempos del volteo.

Descripción	Menores a 10 minutos			Mayor o igual a 10 minutos			Demoras totales		
	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%
Mecánicas									
Revisión manguera hidráulica	1	1,5	3,6	0	0,0	0,0	1	1,5	1,3
Total demoras mecánicas		1,5	3,6		0,0	0,0		1,5	1,3
No mecánicas									
Acomodo gavillas	16	10,3	24,9	0	0,0	0,0	16	10,3	8,9
Colación	2	8,0	19,4	0	0,0	0,0	2	8,0	6,9
Desplazamiento Largo	12	11,3	27,4	0	0,0	0,0	12	11,3	9,8
Maniobras	7	6,8	16,5	0	0,0	0,0	7	6,8	5,9
Planificación	0	0,0	0,0	2	74,4	100,0	2	74,4	64,3
Limpieza sotobosque	1	3,3	8,0	0	0,0	0,0	1	3,3	2,9
Total demoras No mecánicas		39,7	96,1		74,4	100,0		114,1	98,6
Totales generales demoras		41,3	100,0		74,4	100,0		115,7	100,0
Porcentaje por categoría (%)			35,7			64,3			100,0

En el cuadro 5 se detallan las demoras registradas en terreno; se puede observar que el 35.7% de las demoras, 41.3 minutos, corresponden a demoras inferiores a 10 minutos, donde las principales demoras a considerar son las demoras no mecánicas u operacionales como a) el *acomodo de gavillas*, en que el equipo cortador – arrumador (Feller buncher) acomoda y ordena las gavillas para el posterior traslado de la madera por el skidder y b) el *desplazamiento largo*, que corresponde al viaje vacío desde el término de una línea de plantación hasta el comienzo de la línea siguiente, ya que solo puede voltear los árboles en un sentido para dejar las gavillas en la misma dirección para facilitar el madereo.

El 64.3% del tiempo de demoras corresponde a demoras mayores o iguales a 10 minutos, en donde, la “planificación” registra dos observaciones las cuales suman 74.4 minutos.

A partir del análisis de los tiempos registrados, se determina el tiempo del ciclo medio productivo y del ciclo medio planificado del equipo cortador – arrumador (Feller buncher) en la faena de volteo estudiada.

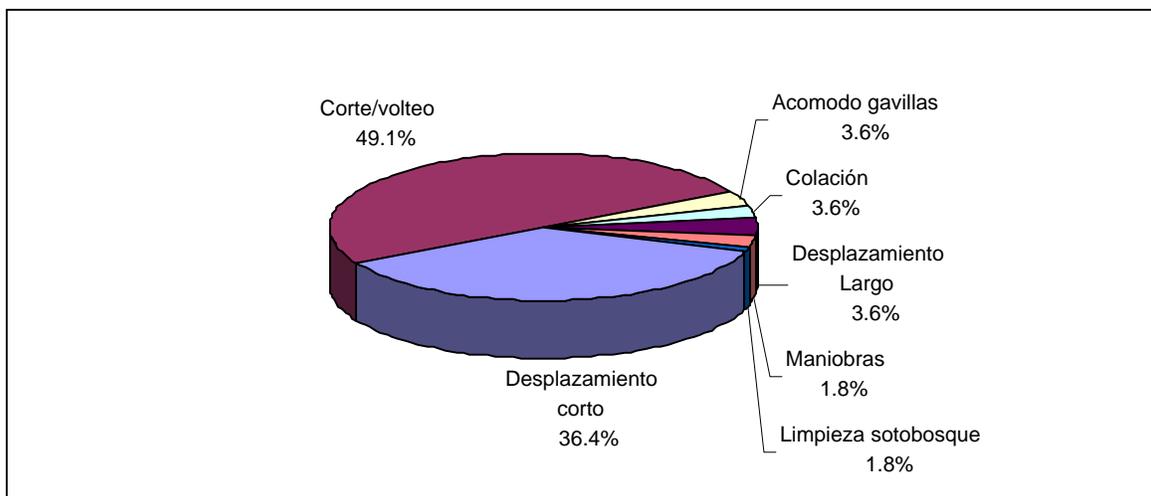


Figura 13. Distribución porcentual de tiempos del ciclo medio planificado del subsistema volteo

En la figura 13 se presenta la distribución porcentual de los tiempos involucrados en el ciclo planificado de trabajo del equipo cortador – arrumador (Feller buncher), en la faena estudiada. Se puede observar que el 49.1% y 36.4% corresponden a los tiempos productivos principales que son corte/volteo y desplazamiento corto respectivamente.

Cuadro 6. Detalle de tiempos del ciclo medio planificado de trabajo para subsistema Volteo

Actividad	Tiempo medio (min.)	% Tiempo
Tiempo Productivo		
Desplazamiento corto	0.20	36.4
Corte/volteo	0.27	49.1
Tiempo medio del ciclo productivo	0.47	85.5
Tiempo de Demoras		
Acomodo gavillas	0.02	3.6
Colación	0.02	3.6
Desplazamiento Largo	0.02	3.6
Maniobras	0.01	1.8
Limpieza sotobosque	0.01	1.8
Tiempo medio de demoras por ciclo	0.08	14.5
Tiempo medio del ciclo planificado	0.55	100.0

En el cuadro 6 se detalla la participación de tiempos de cada actividad involucrada dentro del ciclo de trabajo planificado del Feller buncher.

Se determina un tiempo medio del ciclo productivo de 0.47 minutos, y un tiempo medio de demoras por ciclo de 0.08 minutos; dentro de estos, los que presentan una mayor participación son el desplazamiento largo y el acomodo de gavillas con 3.6 % respectivamente del tiempo del ciclo medio total. Cabe considerar que estas demoras son completamente necesarias para efectuar la labor de la forma planificada del volteo y corresponden a demoras no mecánicas, o también denominadas operacionales. También se determina que el equipo cortador – arrumador (Feller buncher) corta un promedio de 2.3 árboles por ciclo.

4.1.2 *Subsistema maderero*

En la operación de maderero se utiliza un tractor forestal con garra (Skidder grapple) marca Tigercat modelo 620. La tarea de este equipo es la realización del traslado de la madera, la cual se encuentra en el rodal, hacia el equipo astillador que se encuentra instalado a orillas de camino.

Durante la operación del maderero, el equipo debe realizar diversas operaciones para efectuar el maderero y el ordenamiento de los desechos simultáneamente y sin descuidar el abastecimiento continuado del astillador.

Para tal efecto se identificaron cuatro tipos de ciclos durante el trabajo del equipo, los cuales se presentan en la figura 14 y se definen de la siguiente manera:

1) Ciclo completo: El tractor, aparte de la realización del maderero, adicionalmente realiza el ordenamiento de los desechos del astillador, determinando así un ciclo de trabajo compuesto de dos fases, de la siguiente forma: 1) Toma de desechos, viaje cargado con desechos, descarga y acomodo de los desechos, 2) viaje vacío, acomodo y toma de carga (gavillas), viaje cargado y acomodo con descarga de las gavillas en el astillador.

2) Ciclo de Acanche: En esta actividad el tractor sólo acerca las gavillas y las ordena para dejarlas de tal manera que simplifiquen su posterior traslado hacia el astillador y así requieran un menor tiempo de maderero.

3) Ciclo de Acercamiento: En este tipo de actividad el tractor realiza un maderero desde el lugar de acanche hasta una distancia cercana al astillador, aproximadamente a 100 metros, para tener madera disponible para la alimentación cuando las distancias de maderero son mayores y no incurrir en la detención del astillador por la falta de madera disponible para su funcionamiento. Este trabajo lo realiza el tractor generalmente en momentos en que no se encuentra funcionando el astillador, vale decir, entre un camión y otro, para así cuando comience el astillado no presente problemas de continuidad de abastecimiento de madera.

4) Ciclo de Alimentación al astillador: Esta operación corresponde al abastecimiento de madera al astillador desde la madera de acercamiento y ocurre en situaciones de maderero largos en donde se encuentra alcanzado el tractor por el funcionamiento del

astillador; por lo tanto corresponde a un madereo corto de aproximadamente 100 metros.

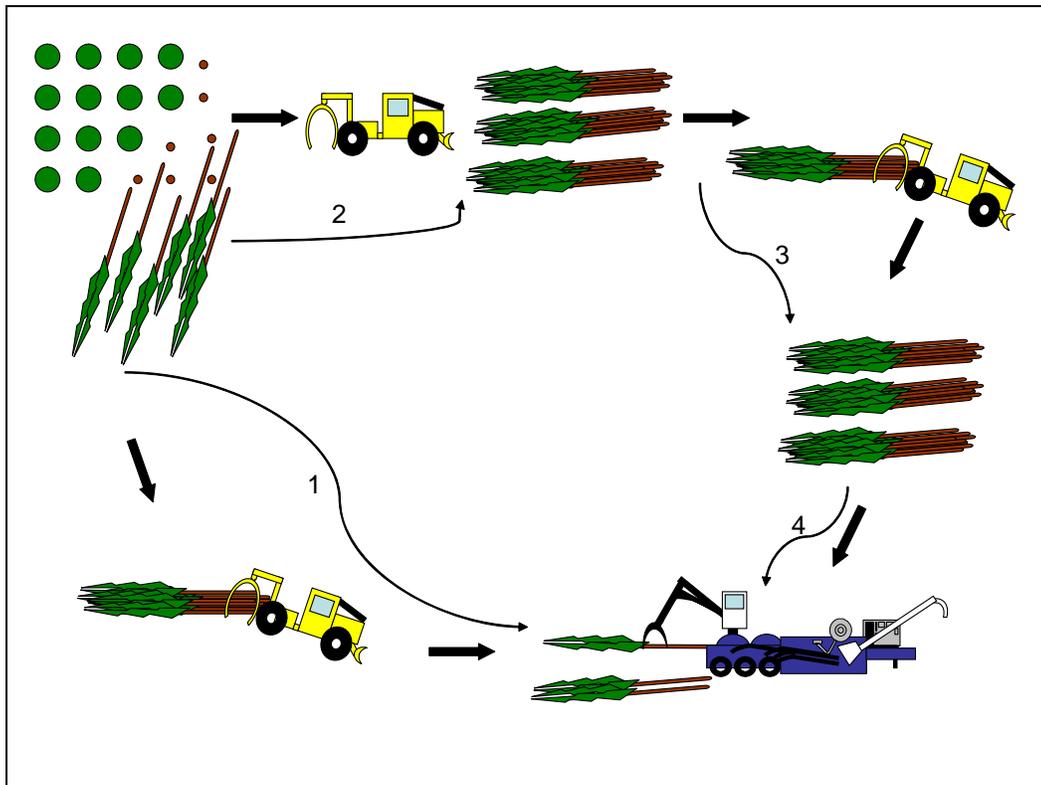


Figura 14. Esquema de los tipos de ciclos de madereo.

En el cuadro 7 se presenta el análisis de los datos registrados en terreno del subsistema madereo, mediante la utilización de un tractor forestal con garra (Skidder grapple) marca Tigercat modelo 620, se determina un porcentaje de utilización de la maquinaria de 71.7%, esto es considerando solo las demoras inferiores a 10 minutos. Si además se consideran las demoras operacionales mayores a 10 minutos, el porcentaje de utilización de la maquinaria disminuye a un 46.6%.

Cuadro 7. Resumen de tiempos totales y productividad del subsistema Madereo con Skidder

Parámetros	
Tiempo total registrado (minutos)	1141.8
Tiempo total productivo (minutos)	531.9
Número de ciclos total (n)	146.0
Tiempo total demoras < 10 minutos (minutos)	209.7
Tiempo total demoras Totales (minutos)	609.9
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	169.7
Utilización de maquinaria demoras < 10 minutos (%)	71.7
Utilización de maquinaria Total demoras (%)	46.6

En el cuadro 8 se detallan los parámetros de productividad y rendimientos para el subsistema madero separados en los cuatro tipos de ciclos realizados por el equipo durante su jornada de trabajo.

Cuadro 8. Resumen de tiempos totales y productividad por tipo de ciclo del subsistema Madero

Parámetros	C. completo	Acanche	Acercamiento	A. astillador	Total
Tiempo total registrado (minutos)	395.6	112.0	15.9	8.4	531.9
Total de árboles registrados (árboles)	910	468	76	50	1504
Número de ciclos (n)	84	50	6	6	146
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	102.1	52.7	8.6	7.1	170.5
Volumen del árbol medio (m ³)	0.392	0.392	0.392	0.392	
Volumen por hora productiva (m ³ /HrPr)	40.0	20.6	3.4	2.8	66.8
Volumen Planificado demoras < 10 min. (m ³ /HrPI)	28.7	14.8	2.4	2.0	47.9
Volumen Planificado Total demoras (m ³ /HrPI)	18.7	9.6	1.6	1.3	31.2
Porcentaje de volumen por categoría (%)	59.9	30.9	5.0	4.2	100

Como resultado del análisis de tiempos y productividades para este subsistema, se determina un rendimiento por hora productiva de 66.8 m³/HrPr. En cuanto al rendimiento por hora planificada considerando las demoras inferiores a 10 minutos, se determina un rendimiento planificado de 47.9 m³/HrPI. Si se consideran además las demoras operacionales mayores a 10 minutos, el rendimiento por hora planificada del subsistema se determina en 31.2 m³/HrPI.

Al realizar un análisis de productividad por tipo de madero, el ciclo completo aporta el 59.9% de la producción por hora planificada, con un volumen planificado de 28.7 m³/HrPI al considerar solo las demoras inferiores a 10 minutos y 18.7 m³/HrPI al considerar el tiempo total de demoras.

Los otros tres tipos de ciclos de madero son realizados necesariamente por condiciones particulares de la faena, como el caso del acercamiento, el cual se realiza esporádicamente en situaciones donde se encuentra detenido el astillador y con el objetivo de no descuidar el abastecimiento de madera al astillador.

Además se realizó un análisis de la productividad potencial del equipo para cada tipo de ciclo de madero por separado. Asumiendo la hipótesis de que realice solamente este tipo de ciclo durante toda la jornada, estimando así los siguientes rendimientos potenciales por hora productiva y por hora planificada, que son detallados en el cuadro 9.

Cuadro 9. Productividad potencial por tipo de ciclo del subsistema Madereo

Parámetros	C. completo	Acanche	Acercamiento	A. astillador
Tiempo total registrado (minutos)	395.6	112.0	15.9	8.4
Total de árboles registrados (árboles)	910	468	76	50
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	138.0	250.7	286.8	357.1
Volumen del árbol medio (m ³)	0.392	0.392	0.392	0.392
Volumen por hora productiva (m ³ /HrPr)	54.1	98.3	112.4	140.0
Volumen Planificado demoras < 10 min. (m ³ /HrPI)	38.8	70.5	80.6	100.4
Volumen Planificado Total demoras (m ³ /HrPI)	25.2	45.8	52.4	65.2

En la estimación de la productividad potencial de la máquina al realizar cada tipo de ciclo de madereo por separado, el rendimiento mas bajo por hora planificada lo obtiene el ciclo de madereo completo con 38.8 m³/HrPI para una productividad de la maquinaria de 71.7% y 25.2 m³/HrPI para una productividad de 46.6%. La mayor productividad se obtiene en ciclos alimentación al astillador con 100.4 m³/HrPI y 65.2 m³/HrPI respectivamente.

Cuadro 10. Detalle de tiempos de demoras por categoría e intervalos de tiempos del madereo

Descripción	Menores a 10 minutos			Mayor o igual a 10 minutos			Demoras totales		
	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%
Mecánicas									
Calentar motor	1	1,7	0,8	0	0,0	0,0	1	1,7	0,3
Combustible	0	0,0	0,0	1	12,1	3,0	1	12,1	2,0
<i>Subtotal demoras mecánicas</i>		1,7	0,8		12,1	3,0		13,8	2,3
No mecánicas									
Desrrame	19	49,7	23,7	0	0,0	0,0	19	49,7	8,2
Detención término de tarea	1	9,0	4,3	2	25,4	6,3	3	34,4	5,6
Formación de gavilla	23	50,0	23,8	1	13,2	3,3	24	63,1	10,3
Arreglo caminos	0	0,0	0,0	1	50,7	12,7	1	50,7	8,3
Maniobras en gavillas	14	14,1	6,7	0	0,0	0,0	14	14,1	2,3
Maniobras en desechos	9	11,9	5,7	0	0,0	0,0	9	11,9	2,0
Planificación	2	4,3	2,0	0	0,0	0,0	2	4,3	0,7
Acomodo gavillas (toma de carga)	8	10,1	4,8	0	0,0	0,0	8	10,1	1,7
Acomodo desechos	0	0,0	0,0	3	102,5	25,6	3	102,5	16,8
Acomodo gavillas (descarga)	3	3,2	1,5	0	0,0	0,0	3	3,2	0,5
Ordenamiento gavillas (bosque)	13	44,6	21,3	3	32,0	8,0	16	76,6	12,6
Acomodo de carga (viaje)	3	11,2	5,3	3	41,5	10,4	6	52,7	8,6
Detención No programada	0	0,0	0,0	3	105,9	26,5	3	105,9	17,4
Otros	0	0,0	0,0	1	16,8	4,2	1	16,8	2,8
<i>Subtotal demoras No mecánicas</i>		208,1	99,2		388,0	97,0		596,0	97,7
Totales generales demoras		209,8	100,0		400,1	100,0		609,8	100,0
Porcentaje por categoría (%)			34,4			65,6			100,0

En el cuadro 10 se detallan los tiempos de demoras para el tractor forestal, se determina que el 34.4% de las demoras corresponden a demoras inferiores a 10 minutos, dentro de estas, el 99.2% son consideradas no mecánicas. Dentro de esta categoría son tres las actividades que demandan un mayor porcentaje del tiempo de demoras y presentan además una alta frecuencia de observaciones, estas son:

1) Desrame, 2) formación de gavilla y 3) ordenamiento de gavillas en el bosque, con un 23.7, 23.8 y 21.3% respectivamente.

La actividad de desrame de la madera con la pala desramadora del tractor forestal, se realiza con el objetivo de facilitar, posteriormente el desrame realizado con el tambor de cadenas del equipo astillador.

En cuanto a la formación y el ordenamiento de las gavillas en el bosque son actividades realizadas para facilitar el posterior madereo de éstas.

En el cuadro 10 también se aprecia que dentro de la categoría de demoras totales, son las mismas actividades que demandan un mayor porcentaje del tiempo de demoras que en el caso de las demoras inferiores a 10 minutos (Desrame, 8.2%; formación de gavilla, 10.3%; ordenamiento de gavillas en el bosque, 12.6%), pero aquí se agregan otras categorías que son: 1) Detención no programada, que corresponde a detenciones del equipo durante la jornada, que no tienen relación a ninguna causa específica y participa en un 17.4% del tiempo total de demoras. 2) Acomodo de desechos, dentro de la jornada de trabajo el equipo realiza el acomodo de los desechos del astillador, demandando así un 16.8% del tiempo total de demoras.

En el cuadro 11 se presenta el ciclo medio de madereo del tractor Tigercat 620 a partir de los tiempos registrados en terreno para la categoría de ciclo completo.

Cuadro 11. Tiempos del ciclo medio de trabajo para subsistema madereo

Actividad	Tiempo Medio (min.)	% Tiempo
Tiempo productivo		
Toma desechos	0.61	9.3
Viaje desechos	1.42	21.6
Viaje vacío	0.45	6.8
Toma de carga	0.57	8.7
Viaje cargado	1.66	25.3
<i>Tiempo medio del ciclo productivo</i>	<i>4.71</i>	<i>71.7</i>
Tiempo de demoras		
<i>Tiempo medio de demoras por ciclo</i>	<i>1.85</i>	<i>28.3</i>
Tiempo medio del ciclo planificado	6.56	100.0

Se determina un tiempo productivo por ciclo de 4.71 minutos, que es calculado para la actividad de ciclo completo, en la cual el skidder realiza todas las operaciones involucradas en la faena de madereo y además el ordenamiento de desechos. Considerando el tiempo de demoras registradas por ciclo, de 1.85 minutos, el ciclo medio planificado se determina en 6.56 minutos. También se calcula que el skidder realiza el madereo por ciclo, con un volumen de carga promedio de 10.8 árboles, lo que aproximadamente corresponde a 4.2 m³/ciclo.

A continuación se presenta la figura 15 que detalla la distribución porcentual del tiempo del ciclo medio planificado para el tractor forestal en la faena estudiada.

El tiempo del ciclo medio productivo corresponde a un 71.7% del tiempo total, la mayor incidencia corresponde a la actividad de viaje cargado, con un 25.3%. Otra participación importante es el viaje con desechos, con un 21.6%, en el cual el skidder realiza el viaje cargado con desechos desde el astillador hacia el bosque, en donde los desechos son ordenados en hileras, con lo cual el terreno queda apto para la plantación sin necesidad de realizar una preparación del sitio posterior a la cosecha.

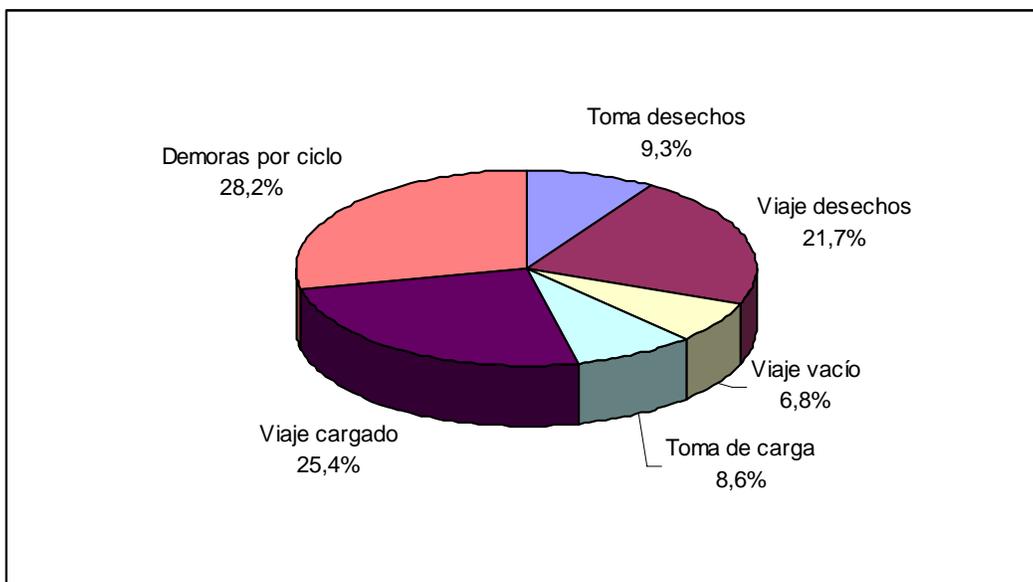


Figura 15. Distribución porcentual de los tiempos del ciclo medio de madereo

En la figura 16 se presenta la distribución porcentual del tiempo total de trabajo para el tractor forestal en la faena estudiada.

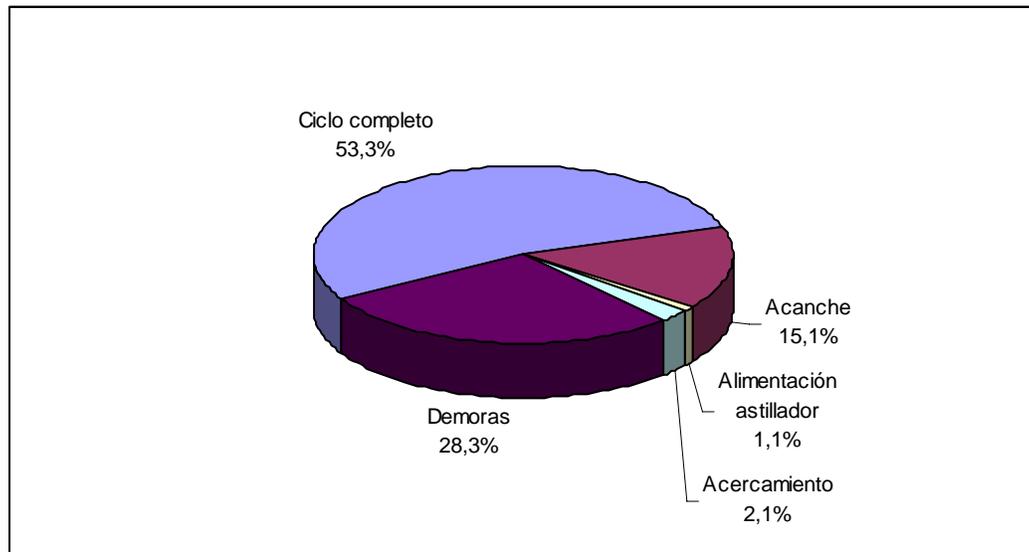


Figura 16. Distribución porcentual de los tiempos según tipo de actividades.

Durante una hora planificada de trabajo del tractor forestal en la faena estudiada, su distribución de tiempos corresponde a un 53.3% del tiempo, al madereo en ciclo completo, el cual incluye todas las actividades antes mencionadas, un 15.1% del tiempo se dedica al acanche de madera con motivos de agilizar la toma de carga y madereo de las gavillas; un 2.1% del tiempo realiza un acercamiento, donde la labor que realiza es acercar gavillas al astillador para mantener madera disponible, a corta distancia, con el fin de no desabastecer el equipo de astillado y el 1.1% que corresponde a la alimentación del astillador con la madera acercada. El 28.3% del tiempo corresponde a demoras ocurridas dentro de un ciclo de trabajo.

4.1.3 Subsistema astillado

En el subsistema astillado se utiliza un equipo desramador – descortezador – astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G, que realiza tres procesos para la elaboración de astillas, los cuales son el desrame, descortezado y astillado de la madera, que son las actividades directas del proceso de la maquinaria. Además se deben considerar las actividades indirectas de trabajo, las cuales son la alimentación propia de la madera, por medio de una grúa marca Prentice modelo 180, incorporada al equipo astillador, y para el carguío de la astilla al sistema de transporte, posee un ciclón de aire.

A continuación en el cuadro 12 se presenta un resumen de los tiempos totales registrados en terreno para el subsistema de astillado.

Cuadro 12. Resumen de tiempos totales y productividad del subsistema Astillado

Parámetros	
Tiempo total (minutos)	230.7
Tiempo total productivo (minutos)	148.3
Tiempo total demoras < 10 minutos (minutos)	32.7
Tiempo total demoras Totales (minutos)	82.4
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	69.2
Utilización de maquinaria demoras < 10 minutos (%)	81.9
Utilización de maquinaria Total demoras (%)	64.3

Luego del análisis de los ciclos de astillado (un ciclo= una carga de un camión de astillas) registrados en terreno, al considerar las demoras inferiores a 10 minutos, se determina una utilización de la maquinaria de 81.9%. Si se consideran el total de demoras, la utilización de la maquinaria disminuye a un 64.3%.

En el cuadro 13 se detallan parámetros de productividad y rendimientos para el subsistema astillado durante su jornada de trabajo.

Cuadro 13. Productividades para subsistema Astillado

Parámetros	
Tiempo total productivo registrado (minutos)	148.3
Total de árboles registrados (árboles)	171
Número de árboles por hora productiva (arb/HrPr)	69.2
Volumen del árbol medio (m ³ ssc)	0.392
Volumen por hora productiva (m ³ /HrPr)	27.1
Volumen Planificado demoras < 10 min. (m ³ /HrPI)	22.2
Volumen Planificado Total demoras (m ³ /HrPI)	17.4

Debe considerarse que la productividad del subsistema astillado por tratarse de un sistema continuo, está determinada por factores tanto directos como indirectos al equipo, tales como disponibilidad de madera y ubicación de un camión para el carguío de la astilla, como también depende directamente del tipo de bosque, organización y planificación de la faena.

El rendimiento planificado considerando solo las demoras inferiores a 10 minutos corresponde a 27.1 m³/HrPI y si se considera el total de demoras el rendimiento planificado disminuye a 22.2 m³/HrPI.

En el cuadro 14 se presenta el análisis de las demoras realizadas por el equipo de astillado y se clasifican en mecánicas y no mecánicas u operacionales.

Cuadro 14. Detalle de tiempos de demoras por categoría.

Descripción	< 10 minutos			Mayor o igual a 10 minutos			Demoras totales		
	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%	Frec. (n)	Tiempo (min.)	%
Mecánicas									
Mantenimiento	0	0,0	0,0	1	49,7	100,0	1	49,7	60,3
<i>Subtotal demoras mecánicas</i>		0,0	0,0		49,7	100,0		49,7	60,3
No mecánicas									
Acomodo desechos	1	2,2	6,7	0	0,0	0,0	1	2,2	2,7
Atollado	3	15,2	46,5	0	0,0	0,0	3	15,2	18,4
Espera de camiones	1	5,8	17,7	0	0,0	0,0	1	5,8	7,0
Espera de madera	2	8,0	24,5	0	0,0	0,0	2	8,0	9,7
Maniobras	1	1,5	4,6	0	0,0	0,0	1	1,5	1,8
<i>Subtotal demoras No mecánicas</i>		32,7	100,0		0,0	0,0		32,7	39,7
Totales generales demoras		32,7	100,0		49,7	100,0		82,4	100,0
Porcentaje por categoría (%)			39,7			60,3			100,0

En el análisis de las demoras se observa que el 39.7% del tiempo total de demoras corresponde a demoras inferiores a 10 minutos, dentro de esta categoría, la demora mecánica “atollado” representa el 46.5% del tiempo, lo que incide principalmente en la productividad del astillador.

En relación al tiempo total de demoras, el 60.3% corresponde a demoras mecánicas, en donde se realiza la mantención del equipo, que considera el cambio de cuchillos y cadenas del equipo.

En el cuadro 15 se analizan los tiempos que el proceso de astillado requiere para completar la carga de un camión de astillas.

Cuadro 15. Tiempos del ciclo medio de trabajo para subsistema astillado

Actividad	Tiempo Medio (min.)	% Tiempo
Tiempo productivo		
Procesamiento	49.4	81.9
<i>Tiempo medio del ciclo productivo</i>	<i>49.4</i>	<i>81.9</i>
Tiempo de demoras		
Acomodo de desechos	0.7	1.2
Atollado	5.1	8.4
Espera de camiones	1.9	3.2
Espera de madera	2.7	4.4
Maniobras	0.5	0.8
<i>Tiempo medio de demoras por ciclo</i>	<i>10.9</i>	<i>18.1</i>
Tiempo medio del ciclo planificado	60.3	100.0

Incluyendo los tiempos de demoras registradas por ciclo, el ciclo medio planificado se determina en 60.3 minutos. También se determina que el astillador procesa un promedio de 57 árboles por ciclo, lo que aproximadamente corresponde a 25.4 m³/camión de astillas.

El estudio determina un tiempo productivo por ciclo de 49.4 minutos representando un 81.9% del tiempo total, que se corresponde al ciclo completo de procesamiento, vale decir, desde que comienza el astillado del primer árbol hasta que termina el astillado del último árbol cargado al camión. Durante este tiempo el equipo astillador realiza el desrame, descortezado, astillado de los árboles y el carguío de las astillas que determinan la carga del equipo de transporte.

En la figura 17 se presenta la distribución porcentual de los tiempos en el trabajo del astillador.

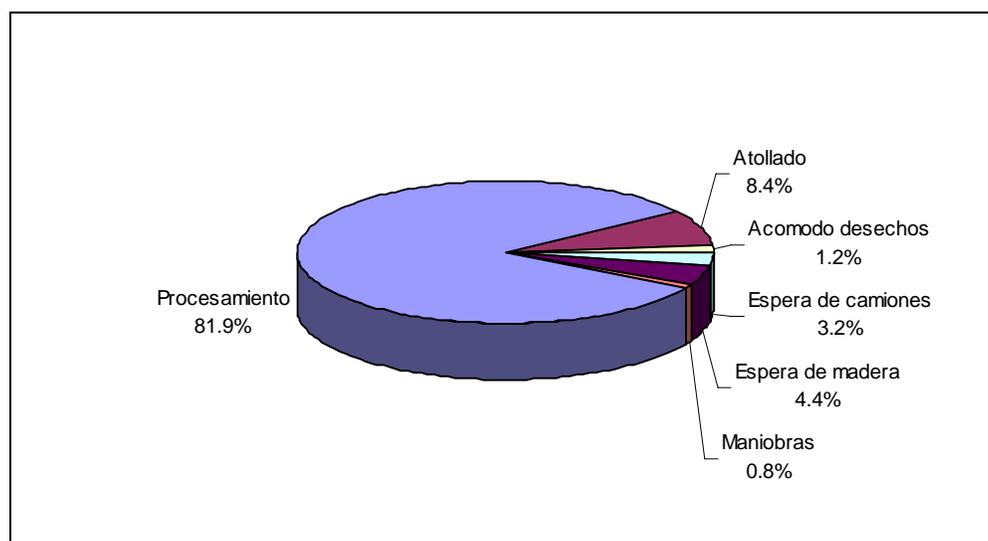


Figura 17. Distribución porcentual de los tiempos para subsistema astillado.

De los tiempos de demoras que corresponden al 18.1% del tiempo total del ciclo medio, el de mayor incidencia corresponde al “atollamiento” del astillador, con un 8.4% del tiempo planificado, que corresponde al enredo de corteza en los tambores horizontales de la máquina. Por tal razón, debe detenerse el proceso para cortar la corteza, con el fin de liberar el funcionamiento normal del tambor, para seguir con el procesamiento de la madera.

4.1.4 Subsistema Transporte

El subsistema transporte realiza el traslado de la astilla desde orillas de camino en la faena hasta la planta de celulosa ubicada a 122 Km. de distancia. De acuerdo a la ubicación del predio, el trayecto presenta una distancia de 25 a.m. de ripio y el resto se encuentra asfaltado.

En el cuadro 16 se presenta un resumen de los tiempos registrados en terreno para el subsistema de transporte realizado por camiones Freightliner FL112 equipados con ramplas chiperas.

Cuadro 16. Resumen de tiempos totales y productividad para subsistema Transporte

Parámetros	
Tiempo total (minutos)	1123,5
Tiempo total productivo (minutos)	901,5
Volumen total transportado (toneladas)	91,2
Distancia media de viaje (kilómetros) ida y vuelta	244,0
Tiempo total demoras Totales (minutos)	222,0
Utilización de maquinaria Total (%)	80,2
Volumen medio transportado (toneladas)	30,4
Volumen transportado por hora productiva (toneladas/HrPr)	6,1
Volumen transportado planificado (toneladas/HrPI)	4,9

El estudio de tiempos determina una utilización de la maquinaria de 80.2%, considerando los tiempos productivos tales como: viaje cargado, descarga, viaje vacío y carguío.

En el cuadro 16 se presenta un resumen de la productividad por equipo del subsistema de transporte.

Como el tiempo de transporte planificado es de 374.5 minutos, es decir 6.2 horas y el volumen transportado por viaje corresponde a 30.4 toneladas. De esta manera se obtiene un rendimiento de 4.9 toneladas por hora planificada.

En el cuadro 17 se analizan los tiempos registrados de demoras para el subsistema de transporte de la astilla.

Cuadro 17. Detalle porcentual de tiempos de demoras para subsistema Transporte

Descripción	Menores a 10 minutos			Mayor o igual a 10 minutos			Demoras totales		
	Frec. (n)	Tiempo	%	Frec. (n)	Tiempo	%	Frec. (n)	Tiempo	%
Mecánicas									
Mantenimiento	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
<i>Subtotal demoras mecánicas</i>		<i>0,0</i>	<i>0,0</i>		<i>0,0</i>	<i>0,0</i>		<i>0,0</i>	<i>0,0</i>
No mecánicas									
Espera de carga	0	0,0	0,0	3	72,0	32,4	3	72,0	32,4
Espera ingreso de planta	0	0,0	0,0	3	150,0	67,6	3	150,0	67,6
<i>Subtotal demoras No mecánicas</i>		<i>0,0</i>	<i>0,0</i>		<i>222,0</i>	<i>100,0</i>		<i>222,0</i>	<i>100,0</i>
Totales generales demoras		0,0	0,0		222,0	100,0		222,0	100,0
Porcentaje por categoría (%)		0,0			100,0			100,0	

Luego de realizado un análisis de la distribución de tiempos ocupados en las diferentes actividades del equipo, se puede determinar que el total de los tiempos de demoras corresponden a la categoría no mecánicos u operacionales. El 32.4% corresponde a la espera de carga, por realizarse mantenimiento al equipo de astillado. El 67.6% de las demoras son causa de la planificación de la descarga, debiendo esperar un turno de ingreso a la planta y además de una lenta descarga manual (3 operarios provistos de picotas).

No se registran demoras mecánicas del subsistema ni tampoco recarga de combustible, ya que esta operación se realiza fuera del horario de trabajo.

En el cuadro 18 se presenta el ciclo medio de trabajo productivo y planificado para el subsistema de transporte.

Cuadro 18. Tiempos del ciclo medio de trabajo del subsistema transporte

Actividad	Tiempo Medio (min.)	% Tiempo
Tiempo productivo		
Viaje cargado	125.0	33.4
Descarga	42.0	11.2
Viaje vacío	91.0	24.3
Carguío	42.5	11.3
Tiempo medio del ciclo productivo	300.5	80.2
Tiempo de demoras		
Espera de carga	24.0	6.4
Espera ingreso de planta	50.0	13.4
Tiempo medio de demoras por ciclo	74.0	19.8
Tiempo medio del ciclo planificado	374.5	100.0

Se determina un tiempo productivo por ciclo de 300.5 minutos, que corresponde al 80.2% del tiempo total, el cual comprende el viaje cargado desde el predio hacia la planta celulosa (122 Km.), descarga de las astillas en la planta, viaje vacío de retorno al predio (122 Km.) y carguío de las astillas en el predio.

En la figura 18 se presenta la distribución porcentual de los tiempos del subsistema de transporte de astillas.

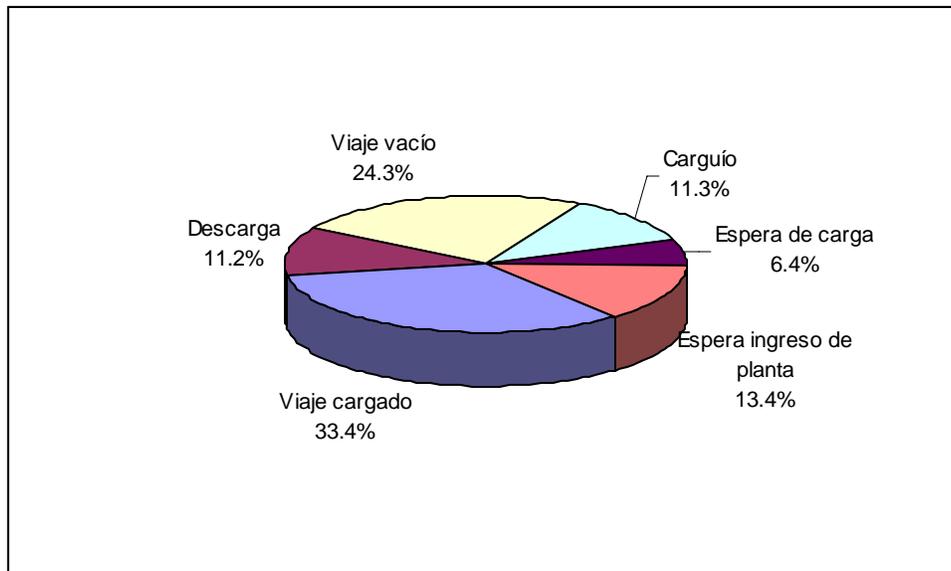


Figura 18. Distribución porcentual de los tiempos para subsistema transporte.

El tiempo de demoras registradas por ciclo es de 74 minutos, que corresponde al 19.8% del tiempo total. Dentro de los tiempos de demoras, el 13.4% corresponde a espera de ingreso a la planta, debido a que los camiones tienen asignado un horario de ingreso, de tal manera que al llegar el equipo de transporte antes de la hora de ingreso asignada debe esperar su turno.

Los tiempos de descarga de astillas fueron de un promedio de 42.0 minutos, considerados altos debido a que la descarga de la astilla se realiza de forma manual con el uso de picotas y tres operarios, lo que se evidencia en los altos tiempos registrados durante esta operación.

El equipo de transporte realiza el traslado de aproximadamente 30.000 kilos de astillas por viaje.

4.2 Determinación de Costos

El sistema de cosecha utilizado en la faena estudiada, está catalogado como altamente mecanizado, con la utilización de un feller buncher marca Tigercat modelo 720, un skidder grapple marca Tigercat modelo 620, un equipo desramador - descortezador - astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G y un grupo de 9 camiones forestales marca Freightliner modelo FL 112, equipados con ramplas chiperas.

Se realiza un análisis de costos de la maquinaria utilizada en la faena. Este análisis se considera en base a maquinaria nueva y determina para cada subsistema y para el sistema en su conjunto, el costo unitario de producción de un metro cúbico de madera pulpable para la producción de astillas en el bosque.

Para el efecto de cálculo de los costos involucrados en el sistema de cosecha, se utilizó una planilla Excel, en donde se determinan los costos fijos, costos variables y costos de mano de obra para cada subsistema y del sistema de cosecha en general (anexo 3).

Los costos fijos o de propiedad de los equipos incluyen depreciación, interés, seguro e impuestos. No incluyen costos de administración ni logística.

Los costos variables u operacionales, los cuales están directamente relacionados con el funcionamiento de la máquina son: Consumo de combustible, consumo de lubricantes, mantención y reparación del equipo, accesorios y costo de neumáticos.

El costo de mano de obra se calcula como un costo mensual y considera el equipamiento completo del trabajador.

4.2.1 Costos por hora planificada para el sistema de cosecha y astillado.

Para la determinación de los costos variables por hora planificada para cada subsistema y del sistema en general, se utiliza la productividad que incluye las demoras inferiores a 10 minutos, lo que determina los costos individuales para cada subsistema presentado en el cuadro 20 y la figura 19.

Cuadro 20. Costos horarios (US\$/HrPI) para Sistema de Cosecha y Astillado.

Subsistema	C. Fijos	%	C. Variables	%	Mano de obra	%	Total	%
Volteo	\$11,76	3,4	\$54,37	15,8	\$6,37	1,9	\$72,50	21,1
Madereo	\$10,42	3,0	\$48,30	14,1	\$6,37	1,9	\$65,10	19,0
Astillado	\$32,26	9,4	\$105,34	30,7	\$7,82	2,3	\$145,41	42,4
Transporte	\$5,94	1,7	\$48,66	14,2	\$5,64	1,6	\$60,24	17,5
TOTAL	\$60,38	17,6	\$256,67	74,8	\$26,20	7,6	\$343,25	100,0

El costo hora planificada del sistema de cosecha y astillado alcanza un costo total de 343.25 US\$/HrPI. Los costos fijos participan en un 17.6%, los costos variables en un 74.8% y la mano de obra en un 7.6%.

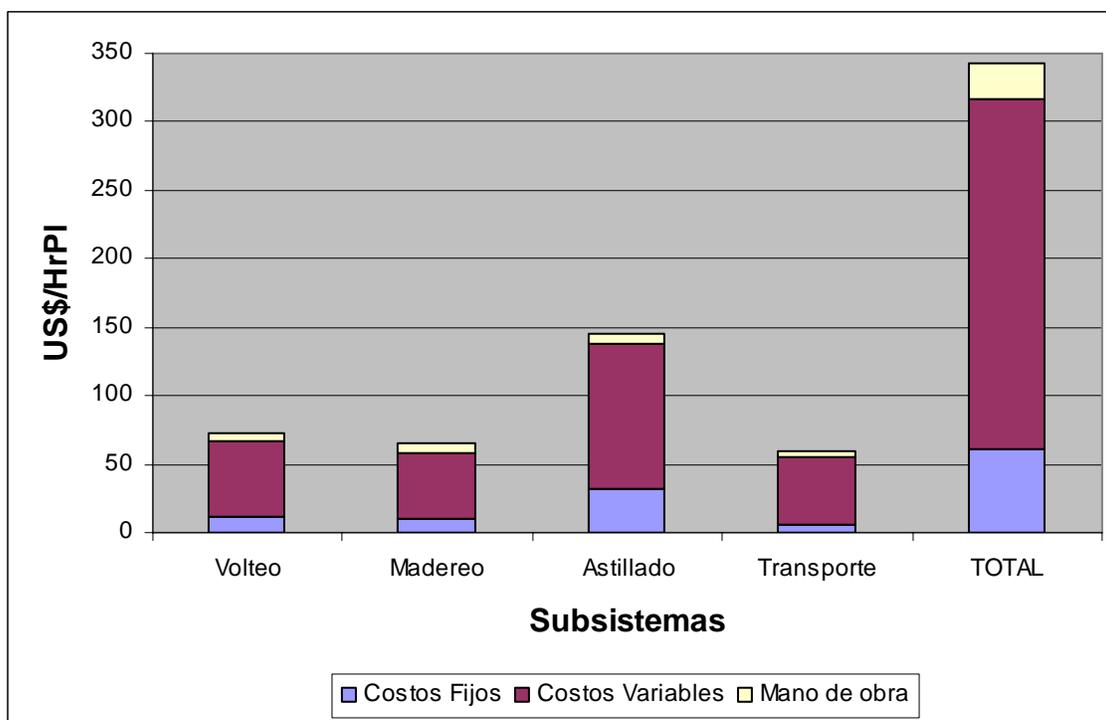


Figura 19. Costo por hora planificada por subsistema y del sistema de cosecha y astillado en general.

Se observa que una proporción baja del costo total por subsistema corresponde a costos fijos y costos de mano de obra, esto es por efecto de la utilización de la maquinaria en doble turno. Por el contrario el mayor porcentaje del costo total, depende directamente de los costos variables de cada subsistema. Esto se explica a la gran mecanización de la faena estudiada, por lo que sobretodo la mano de obra dentro de cada equipo pasa a ser un costo no significativo en la operación del sistema.

Durante una hora planificada de trabajo del sistema de cosecha utilizado en esta faena, el subsistema con mayor incidencia sobre el costo horario es el de astillado o procesamiento de la madera, el cual es realizado por el equipo Peterson Pacific 5000G con 145.41 US\$/HrPI, representando el 42.4% del costo total horario.

De esta manera se refleja la alta incidencia de costo máquina en todos los subsistemas, característico de un sistema altamente mecanizado.

Los costos variables asociados al subsistema de astillado corresponden a 105.34 US\$/HrPI (30.7%) y radican en los consumos de combustibles y accesorios involucrados al equipo (anexo 3).

4.2.2 Costos unitarios por subsistema y para el sistema de cosecha en general.

Una vez determinado el costo horario para cada subsistema y el sistema de cosecha y astillado en general, se determinan los costos unitarios de acuerdo a las productividades obtenidas para cada subsistema en el estudio de tiempos y rendimientos.

El estudio de tiempos y rendimientos considerando las demoras inferiores a 10 minutos, determinó para el subsistema de volteo una productividad de 85.8% y un rendimiento de 106.5 m³/HrPI, para el subsistema de madereo una productividad de 71.7% y un rendimiento de 47.9 m³/HrPI, para el subsistema de astillado una productividad de 81.9% y un rendimiento de 22.2 m³/HrPI y para el subsistema de transporte una productividad de 80.2% y un rendimiento de 4.9 m³/HrPI.

A continuación en el cuadro 21 y la figura 20 se indican los costos de producción unitarios de un metro cúbico de madera pulpable determinados por subsistema y para el sistema en su conjunto.

Cuadro 21. Costos unitarios (US\$/m³) por subsistema y sistema en general para rendimientos con demoras menores a 10 minutos

Subsistema	C. Fijos	%	C. Variables	%	Mano de obra	%	Total	%
Volteo	\$0,11	0,5	\$0,51	2,4	\$0,06	0,3	\$0,68	3,3
Madereo	\$0,22	1,0	\$1,01	4,8	\$0,13	0,6	\$1,36	6,5
Astillado	\$1,45	7,0	\$4,74	22,7	\$0,35	1,7	\$6,55	31,4
Transporte	\$1,21	5,8	\$9,93	47,6	\$1,15	5,5	\$12,29	58,9
TOTAL	\$2,99	14,3	\$16,19	77,5	\$1,70	8,1	\$20,88	100,0

En la estimación del costo unitario de producción de un metro cúbico de madera pulpable en el sistema de cosecha estudiado este alcanza un costo de 20.88 US\$/m³.

Los costos fijos de producción unitarios corresponden a 14.3% (2.99 US\$/m³), los costos variables a 77.5% (16.19 US\$/m³) y la mano de obra 8.1% (1.70 US\$/m³).

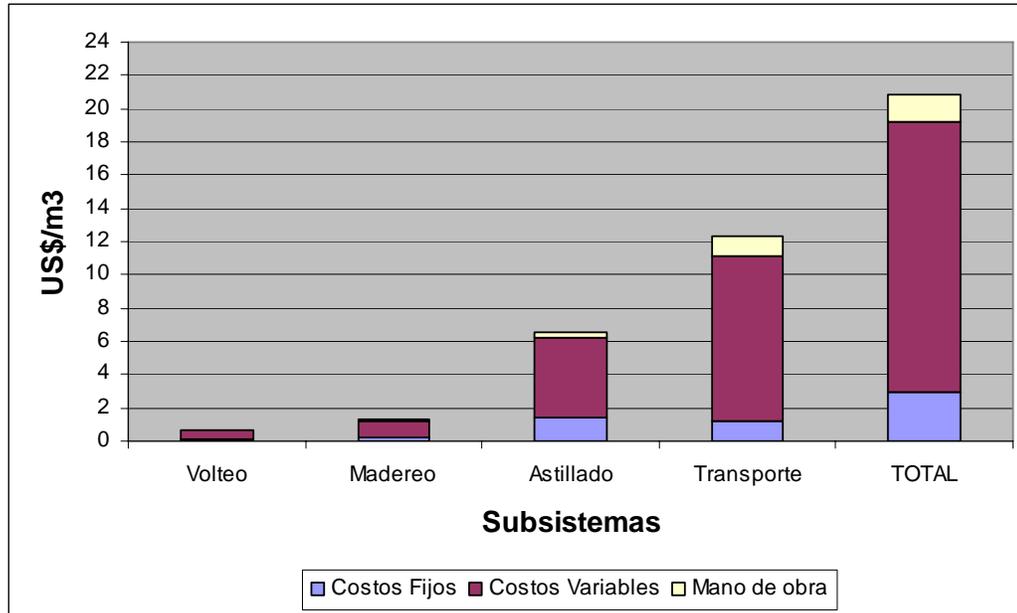


Figura 20. Costos fijos, variables y de mano de obra por subsistema y total, para rendimientos con demoras menores a 10 minutos.

El subsistema de transporte es el que presenta la mayor participación dentro del costo unitario, con un 58.9% (12.29 US\$/m³), determinado por la distancia de transporte que se observa en el rango máximo para esta faena (122 Km.). El astillado incide en un 31.7% (6.55 US\$/m³) del costo total unitario, principalmente por el alto costo horario que implica la propiedad y operación de la máquina astilladora.

El estudio de tiempos y rendimientos considerando las demoras totales de cada subsistema, determinó para el subsistema de volteo una productividad de 68.4% y un rendimiento de 84.8 m³/HrPI, para el subsistema de madereo una productividad de 46.6% y un rendimiento de 31.2 m³/HrPI, para el subsistema de astillado una productividad de 64.3% y un rendimiento de 17.4 m³/HrPI y para el subsistema de transporte una productividad de 80.2% y un rendimiento de 4.9 m³/HrPI, al no registrar demoras inferiores a 10 minutos.

A continuación en el cuadro 22 y la figura 21 se indican los costos de producción unitarios de un metro cúbico de madera pulpable determinados por subsistema y para el sistema en su conjunto.

Cuadro 22. Costos unitarios (US\$/m³) por subsistema y sistema en general para rendimientos con demoras totales

Subsistema	C. Fijos	%	C. Variables	%	Mano de obra	%	Total	%
Volteo	\$0,14	0,6	\$0,64	2,7	\$0,08	0,3	\$0,85	3,6
Madereo	\$0,33	1,4	\$1,55	6,6	\$0,20	0,9	\$2,09	8,8
Astillado	\$1,85	7,9	\$6,05	25,7	\$0,45	1,9	\$8,36	35,4
Transporte	\$1,21	5,1	\$9,93	42,1	\$1,15	4,9	\$12,29	52,1
TOTAL	\$3,54	15,0	\$18,17	77,0	\$1,88	8,0	\$23,59	100,0

En el cuadro 22 se observa que los costos unitarios de producción aumentan debido a la disminución de la productividad de cada uno de los subsistemas y se determina un costo unitario de producción de 23.59 US\$/m³.

Los costos fijos de producción unitarios corresponden a 3.54 US\$/m³ (15.0%), los costos variables a 18.17 US\$/m³ (77.0%) y la mano de obra 1.88 US\$/m³ (8.0%).

El subsistema de transporte es el que presenta la mayor participación dentro del costo unitario, con un 52.1% (12.29 US\$/m³), el astillado incide en un 35.4% (8.36 US\$/m³), el madereo incide en un 8.8% (2.09 US\$/m³) y el volteo en un 3.6% (0.85 US\$/m³).

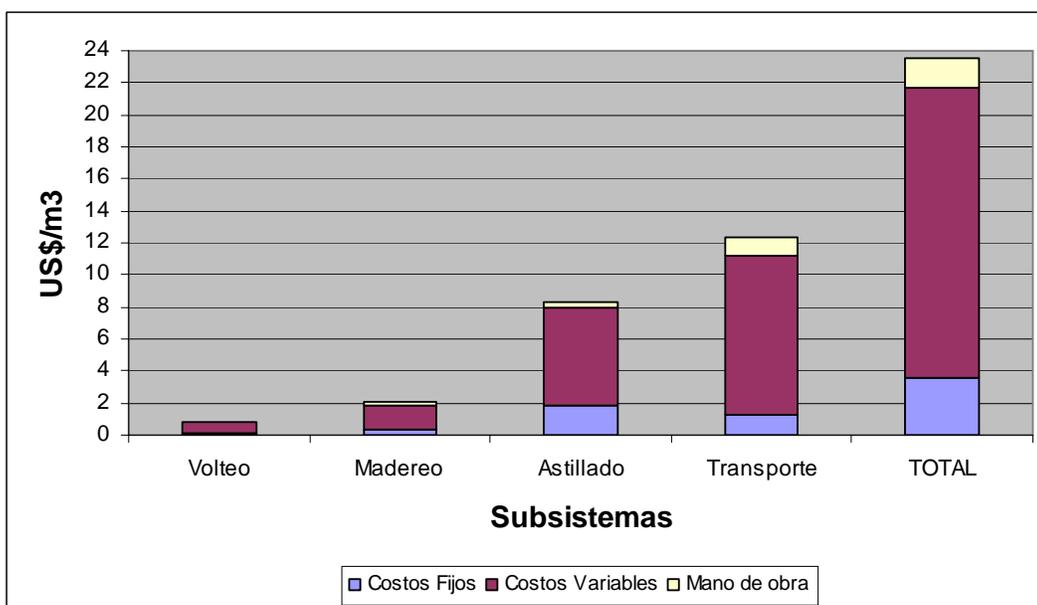


Figura 21. Costos fijos, variables y de mano de obra por subsistema y total, para rendimientos con demoras totales.

En la figura 21 se aprecia la participación de los costos por subsistema y del sistema en general, en la producción de un metro cúbico de madera pulpable para rendimientos con demoras totales. Se aprecia que los costos fijos y los costos de mano de obra son mayores que para el análisis de rendimientos consideradas solamente las demoras inferiores a 10 minutos, y los costos variables son más bajos debido al menor rendimiento de los equipos que el caso anterior (ver figura 21).

Cuadro 24. Resumen de costos para dos productividades por subsistema

Item	Volteo	Madereo	Astillado	Transporte	Total
Costo Total Horario Maquinaria	\$ 72,50	\$ 65,10	\$ 145,41	\$ 60,24	\$ 343,25
Rendimiento 1 (m3/HrPI)	106,5	47,9	22,2	4,9	
Rendimiento 2 (m3/HrPI)	84,8	31,2	17,4	4,9	
Costo metro cúbico Rendimiento 1 (US\$/m ³)	\$ 0,68	\$ 1,36	\$ 6,55	\$ 12,29	\$ 20,88
Costo metro cúbico Rendimiento 2 (US\$/m ³)	\$ 0,85	\$ 2,09	\$ 8,36	\$ 12,29	\$ 23,59
Diferencia Costo unitario (US\$/m ³)	\$ 0,17	\$ 0,73	\$ 1,81	\$ 0,00	\$ 2,71
Aumento Costo unitario %	25,6	53,5	27,6	0,0	13,0

Donde:

Rendimiento 1: Rendimiento planificado del subsistema consideradas las demoras inferiores a 10 minutos.

Rendimiento 2: Rendimiento planificado del subsistema consideradas las demoras totales.

El objetivo de realizar un análisis diferenciado de las demoras, en menores a 10 minutos y en demoras totales, tiene relación con determinar en que proporción varía el costo unitario de producción de cada subsistema y del sistema de cosecha y astillado en general.

Al cambiar la productividad del equipo, debido a que se incluyen todos los tiempos de demoras registrados, el costo por metro cúbico de madera pulpable aumenta. Para la actividad de volteo aumenta en un 25.6% (0.17 US\$/m³), para el madereo un 53.5% (0.73 US\$/m³), para el astillado un 27.6% (1.81 US\$/m³) y el subsistema transporte no presenta cambios en su productividad, al no presentar demoras inferiores a 10 minutos, manteniéndose esta constante.

De esta manera, se determina, que el costo unitario de producción de un metro cúbico de madera pulpable aumenta para el sistema en general en un 13.0% (2.71 US\$/m³); siendo el subsistema más afectado el de madereo con un 53.5% (0.73 US\$/m³) de aumento en el costo unitario, debido a que se observaron los mayores tiempos de demoras, por lo que se recomienda una evaluación de los tiempos de madereo efectuados por los Skidders.

5. CONCLUSIONES

1. El estudio de tiempos y rendimientos determinó para el subsistema de volteo una productividad de 85.8% y un rendimiento de 106.5 m³/HrPI si se consideran solo las demoras inferiores a 10 minutos. Por otra parte, si se considera el tiempo total de demoras del subsistema la productividad disminuye a 68.4% y se obtiene un rendimiento de 84.8 m³/HrPI.
2. El estudio de tiempos y rendimientos determinó para el subsistema de volteo una productividad de 71.7% y un rendimiento de 47.9 m³/HrPI si se consideran solo las demoras inferiores a 10 minutos. Por otra parte, si se considera el tiempo total de demoras del subsistema la productividad disminuye a 46.6% y se obtiene un rendimiento de 31.2 m³/HrPI.
3. El estudio de tiempos y rendimientos determinó para el subsistema de volteo una productividad de 81.9% y un rendimiento de 22.2 m³/HrPI si se consideran solo las demoras inferiores a 10 minutos. Por otra parte, si se considera el tiempo total de demoras del subsistema la productividad disminuye a 64.3% y se obtiene un rendimiento de 17.4 m³/HrPI.
4. El estudio de tiempos y rendimientos determinó para el subsistema de transporte una productividad de 80.2% y un rendimiento de 4.9 m³/HrPI, al no registrar demoras inferiores a 10 minutos.
5. El estudio de costos determinó para el sistema de cosecha y astillado un costo horario de 343.25 US\$/HrPI, el que incluye el costo de propiedad de la maquinaria, los costos operacionales y de mano de obra directa. El subsistema con mayor participación en el costo total horario, es el subsistema de astillado con un 42.36% (145.41 US\$/HrPI).
6. El estudio de costos determinó un costo unitario total del sistema de cosecha y astillado de 20.88 US\$/m³ para rendimientos planificados que incluyen solo las demoras inferiores a 10 minutos registradas.
7. El estudio de costos determinó un costo unitario total del sistema de cosecha y astillado de 23.59 US\$/m³ para rendimientos planificados que incluyen el total de demoras registradas, obteniéndose de esta manera una diferencia de 2.71 US\$/m³ dependiendo de la eliminación de las demoras operacionales mayores a 10 minutos.
8. Se puede concluir que el sistema de cosecha y astillado en bosque de *Eucalyptus* sp. en cuanto a rendimiento y costos, es sensible a las demoras ocasionales mayores a 10 minutos por lo que se recomienda un estudio detallado a las diferentes actividades del sistema, con el objeto de eliminar estos tiempos improductivos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Araki, D. 1994. Observations of the Peterson Pacific DDC 5000 log delimeter-debarker-chipper. Technical Note TN-214. Forest Engineering Research Institute of Canada. 8 p.
- Araki, D. 1996. Recovery of wood chips from low grade fibre sources. Special Report SR-115. Forest Engineering Research Institute of Canada. 22 p.
- Cardiel, L. 1982. Tiempos y tareas. Limusa. México. 289 p.
- Carey, P. 1992. Estudio de productividad y rendimiento de un Sistema de explotación con Skidder. Valdivia. Facultad de Ciencias Forestales. 38 p. (Informe de Convenio, 206).
- Carey, P.; M. Parra. 2000. Consideraciones metodológicas para la evaluación de la cortadora – procesadora (harvester) en operaciones forestales. Bosque (Chile) 21(2): 137-146
- Conway, S. 1976. Logging Practices: Principles of Timber Harvesting Systems. San Francisco, USA. Miller Freeman. 411 p.
- Donoso, C. 1997. Ecología Forestal; El bosque y su medio ambiente; 5ª ed. Santiago (Chile), Universitaria. 369 p.
- Favreau, J. 1992. In – Woods chipping: A comparative cost analysis. Technical Report TR-105. Forest Engineering Research Institute of Canada. 16 p.
- Figuroa, A. 2004. Evaluación técnica y económica de sistema de cosecha tradicional de *Eucalyptus* sp. en la X Región. Trabajo de Titulación Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 36 p.
- Follert, A. 2002. Evaluación de rendimientos y costos de un sistema de cosecha mecanizado de *Eucalyptus globulus* (Labill.) a tala rasa en la provincia de Llanquihue (X Región). Trabajo de Titulación Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 37 p.
- Instituto Forestal de Chile. 2004. Estadísticas Forestales. **INTERNET:** <http://www.infor.cl> (Junio 15, 2004).
- Morales, R. 1993. Estudio de rendimiento y costos para dos sistemas de raleo de plantaciones de Pino Insigne (*Pinus radiata* D. Don) en la provincia de Valdivia. Tesis Ing. Forestal. Chile. Instituto de Manejo Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. UACH. Valdivia. 88 p.

- Neuenschwander, R. 2001. Maquinaria de explotación forestal; Métodos, Máquinas, Costos. Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Producción, Universidad de Talca. Serie técnica N°4. 150 p.
- Provoste, F. 2004. Descripción técnica y económica de un sistema de cosecha tradicional de *Eucalyptus* sp. con la incorporación de descortezado mecánico en la X Región. Trabajo de Titulación Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 36 p.
- Raymond, K.A.; Franklin, G.S. 1990. Chain flail delimeter – debarkers in eastern Canada: a preliminary assessment. FERIC, Tech. Note TN-153. 8p.
- Revista Mi Papel. 2004. Importantes inversiones en CMPC. **INTERNET:** <http://www.mipapel.cmpc.cl> (Enero 6, 2005).
- Santibáñez, F; Uribe, J. 1993. Atlas agroclimático de Chile. Regiones VI, VII, VIII y IX. Universidad de Chile. Santiago.

ANEXOS

ANEXO 1
Abstract and Keywords

Abstract and Key words

This study describes a mechanical harvest and chipping system of *Eucalyptus* sp, whit the incorporation of the delimeter – debarker – chipper Peterson Pacific 5000G and all the subsystems that conform it. A detailed times study of the system was developed including productive times and delays.

The total cost per hour (US\$/HrPI) and the unitary cost (US\$/m³) were determined for every subsystem and finally, for the complete system.

Key words: Mechanical harvest system, delimeter – debarker - chipper, times, cost.

ANEXO 2
Formularios de terreno

ANEXO 3
Información del rodal

Tabla de rodal e inventario

MC	Frecuencia	DAP Prom.	HT Prom.	VT (m3)
5	60	5.3	10.3	0.71
7	70	6.7	11.0	1.22
9	20	9.0	10.0	0.45
11	50	10.8	14.6	2.54
13	120	12.6	17.0	9.42
15	50	14.3	15.4	4.32
17	90	16.5	22.6	15.58
19	150	18.5	24.1	34.32
21	80	20.3	23.6	21.18
23	60	22.3	27.0	21.92
25	50	24.6	28.4	23.12
27	130	26.4	29.8	72.58
29	130	28.3	30.5	84.79
31	110	30.8	30.7	84.72
33	60	32.3	30.5	50.41
35	80	34.6	31.3	78.75
37	10	37.0	32.0	11.48
Total general	1320	20.6	22.9	517.52

VT/ha m3	517.5
Arb/ha	1320

- Especie: *Eucalyptus sp.*
- Edad: 12 años.

ANEXO 4
Estadística

Determinación del tamaño de muestra del control de tiempos

Para la obtención de una muestra estadísticamente significativa, se calculó el número mínimo de observaciones en base a un muestreo, considerando un error estimado de hasta un 10% y un nivel de confianza de un 95%, para lo cual se empleó las siguientes fórmulas:

$$(1) n = \frac{t^2 \times s^2}{x^2} \quad \text{y} \quad (2) E = \frac{s}{\sqrt{n}} \times \sqrt{1 - n/N}$$

donde:

n = Tamaño de muestra

t = Distribución, t Student

s = Desviación estándar

x = Media

E = Error, estándar

N = Muestra observada

Estadística básica

Volteo

Código	Descripción
DCV	Desplazamiento corto vacío (minutos)
C/VT	Corte y volteo (tiempo)
TT	Tiempo total
NARB	Número de árboles

Categoría	Diámetro basal
1	Menor a 25 cm.
2	Mayor o igual a 25 cm. y menor que 35 cm.
3	Mayor o igual a 35 cm.
4	Categoría 1 y 2
5	Categoría 2 y 3
6	Categoría 1 y 3

Categoría 1

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
DCVt (min)	135	0.041	0.739	25.197	0.187	0.145
C/VT (min.)	135	0.056	0.759	42.407	0.314	0.149
TT (min.)	135	0.152	1.382	67.605	0.501	0.253
NARB/ciclo	135	1	6	439	3.252	1.189

Categoría 2

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
DCVt (min)	112	0.045	0.669	23.909	0.213	0.144
C/VT (min.)	112	0.116	1.048	29.927	0.267	0.139
TT (min.)	112	0.199	1.201	53.836	0.481	0.241
NARB/ciclo	112	1	4	218	1.946	0.642

Categoría 3

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
DCVt (min)	137	0.000	0.847	26.818	0.196	0.149
C/VT (min.)	137	0.045	0.547	26.047	0.190	0.101
TT (min.)	137	0.078	1.251	52.866	0.386	0.223
NARB/ciclo	137	1	2	139	1.015	0.120

Categoría 4

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
DCVt (min)	114	0.000	1.710	24.669	0.216	0.201
C/VT (min.)	114	0.112	1.206	37.365	0.328	0.153
TT (min.)	114	0.241	2.019	62.033	0.544	0.294
NARB/ciclo C1	114	1	4	184	1.614	0.710
NARB/ciclo C2	114	1	3	144	1.263	0.499
TARB/ciclo	114	2	5	328	2.877	0.754

Categoría 5

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
DCVt (min)	10	0.097	0.952	2.166	0.217	0.260
C/VT (min.)	10	0.152	1.140	3.432	0.343	0.295
TT (min.)	10	0.294	2.093	5.598	0.560	0.548
NARB/ciclo C2	10	1	2	11	1.100	0.316
NARB/ciclo C3	10	1	1	10	1.000	0.000
TARB/ciclo	10	2	3	21	2.100	0.316

Categoría 6

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
DCVt (min)	19	0.108	0.264	2.915	0.153	0.043
C/VT (min.)	19	0.143	0.485	5.199	0.274	0.082
TT (min.)	19	0.267	0.638	8.114	0.427	0.106
NARB/ciclo C1	19	1	2	24	1.263	0.452
NARB/ciclo C3	19	1	2	20	1.053	0.229
TARB/ciclo	19	2	3	44	2.316	0.478

Skidder

Código	Descripción
TD	Toma de desechos
VDDT	Viaje y descarga desechos (tiempo)
VDDD	Viaje y descarga desechos (distancia)
VVT	Viaje vacío (tiempo)
VVD	Viaje vacío (distancia)
TC	Toma de carga (gavilla)
VCT	Viaje cargado (tiempo)
VCD	Viaje cargado (distancia)
NARB	Número de árboles

Categoría 1: Viajes completos.

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
TD	84	0.099	1.779	51.130	0.609	0.375
VDDT	84	0.496	3.554	119.538	1.423	0.561
VDDD	84	50.000	400.000	15850.000	188.691	85.627
VVT	84	0.076	1.255	37.541	0.447	0.242
VVD	84	8.000	100.000	2798.000	33.310	18.910
TC	84	0.051	1.565	47.537	0.566	0.351
VCT	84	0.170	4.560	139.863	1.665	0.879
VCD	84	20.000	450.000	15890.000	189.167	104.250
NARB	84	3	18	910	10.833	2.969

Categoría 2: Acanche

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
VVT	50	0.060	3.170	32.352	0.647	0.473
VVD	50	4.000	300.000	2468.000	49.360	41.970
TC	50	0.098	1.473	20.948	0.419	0.298
VCT	50	0.272	4.983	58.724	1.174	0.987
VCD	50	20.000	350.000	5170.000	103.400	99.706
NARB	50	1	19	468.000	9.360	3.674

Categoría 3: Alimentación astillador

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
TC	6	0.228	0.876	2.679	0.447	0.332
VCT	6	0.409	1.805	5.681	0.947	0.672
VCD	6	30.000	200.000	520.000	86.667	87.788
NARB	6	6	11	50.000	8.333	2.251

Categoría 4: Acercamiento

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
TC	6	0.095	0.639	2.075	0.346	0.246
VCT	6	1.165	4.084	13.867	2.311	1.393
VCD	6	100.000	300.000	1200.000	200.000	89.443
NARB	6	10	16	76.000	12.667	2.733

ANEXO 5
Determinación de los costos

Planilla de costos para sistema de cosecha y astillado en bosque.

Costos Fijos	Tigercat 720C	Tigercat 620C	DDC 5000G	FL 112
Inversión Inicial (P) US\$	220.000	195.000	720.000	114.000
Vida útil (A) años	5	5	7	5
Vida útil (H) horas	22.800	22.800	31.920	22.800
Horas Planificadas por año (h)=(H/A) horas	4.560	4.560	4.560	4.560
Valor de reventa % de la inversión (s) %	25	25	20	30
Tasa de interés (Int) %	10	10	10	10
Seguro (Seg) %	5	5	5	5
Valor de reventa (S)=((s*P)/100) US\$	55.000	48.750	144.000	34.200
Inversión media anual (IMA)=((P+S)/2) US\$	137.500	121.875	432.000	74.100
Depreciación por hora ((P-S)/H) US\$/h	7,24	6,41	18,05	3,50
Interés (Int*IMA)/h) US\$/h	3,02	2,67	9,47	1,63
Seguro (Seg*IMA)/h) US\$/h	1,51	1,34	4,74	0,81
Total Costos Fijos (CF) US\$/h	11,76	10,42	32,26	5,94
Productividad % (Pr) horas	85,80	71,70	81,90	80,20
Horas Productivas por año (hp)=(h*(Pr/100) horas	3.912	3.270	3.735	3.657
Costos Variables				
Consumo de combustible (C) L/h	28	30	80	40
Costo de combustible por litro (Cc) US\$/L	0,75	0,75	0,75	0,75
Costo por hora productiva (C*Cc) US\$/hp	21,00	22,50	60,00	30,00
Lubricantes y aceites % costo combustible (Cl) %	30	30	30	30
Costo por hora productiva ((C*Cc)*Cl/100) US\$/hp	6,30	6,75	18,00	9,00
Mantenimiento y reparación anual (Rp) %	60	60	20	60
Costo Reparación y mantenimiento ((Rp/100)*P/h) US\$/h	33,74	35,79	38,56	18,70
Costo cadenas y cuchillos por año US\$/A			42.575	
Costo cadenas y cuchillos por hora productiva US\$/hp			11,40	
Costo de Neumáticos US\$	1.750	1.750	495	495
Número de neumáticos	4	4	8	18
Vida útil horas	3.000	3.000	6.000	3.000
Costo de neumáticos por hora US\$/h	2,33	2,33	0,66	2,97
Total Costos Variables (CV) US\$/hp	63,37	67,37	128,62	60,67
Total Costos Variables (CV) US\$/h	54,37	48,30	105,34	48,66
Mano de Obra				
Mano de obra equipada (MO) US\$/h	6,37	6,37	7,82	5,64
Costo Total				
Costos fijos Totales (US\$/HrPI)	11,76	10,42	32,26	5,94
Costos Operacionales Totales (US\$/HrPI)	54,37	48,30	105,34	48,66
Costos Mano de obra Totales (US\$/HrPI)	6,37	6,37	7,82	5,64
Costo Total Horario máquina (US\$/HrPI)	72,50	65,10	145,41	60,24
Rendimiento 1 (m3/h)	106,5	47,9	22,2	4,9
Rendimiento 2 (m3/h)	84,8	31,2	17,4	4,9
Costo metro cúbico Rendimiento 1 (US\$/m3)	0,68	1,36	6,55	12,29
Costo metro cúbico Rendimiento 2 (US\$/m3)	0,85	2,09	8,36	12,29
Costo Total Sistema Rendimientos 1 (US\$/m3)				20,88
Costo Total Sistema Rendimientos 2 (US\$/m3)				23,59
Diferencia en costo unitario (US\$/m3)				2,71

Sueldos y equipamiento

500.000	liq. Incluido gratificación legal
125.000	leyes sociales 7+13%
625.000	Bruto imponible
18.750	Seguro cesantía
9.375	Mutualidad
653.125	Costo empresa
54.427	Prov. Indemnización
40.820	Vacaciones 15 días hábiles
748.372	Total

400.000	liq. Incluido gratificación legal
100.000	leyes sociales 7+13%
500.000	Bruto imponible
15.000	Seguro cesantía
7.500	Mutualidad
522.500	Costo empresa
43.542	Prov. Indemnización
32.656	Vacaciones 15 días hábiles
598.698	Total

	Cantidad/año	Valor	Total
Overol	2	\$ 6.300	\$ 12.600
Guantes	12	\$ 950	\$ 11.400
Antiparras	6	\$ 950	\$ 5.700
Casco	1	\$ 2.100	\$ 2.100
Zapatos seguridad	1	\$ 18.900	\$ 18.900
Chaleco Reflectante	1	\$ 3.750	\$ 3.750
			\$ 54.450

Sueldo	748.372	598.698
Equipo	54.450	\$ 54.450
Total	802.822	653.148
Horas/mes	180	180
Costo/hora	4460,1	3628,6
Valor dólar	570	570
US\$/hora	7,82	6,37