

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

COSECHA FORESTAL ALTAMENTE MECANIZADA

por

Martín IBARRA VIERA
Mauricio RODRIGUEZ MENDEZ

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2010

Tesis aprobada por:

Director: _____
Ing. Agr. Gustavo Daniluk

Ing. Agr. Lucia Gutierrez

Ing. Agr. Rafael Escudero

Fecha: _____ 21/05/2010 _____

Autores: _____
Martín Ibarra Viera

Mauricio Rodriguez Méndez

AGRADECIMIENTOS

Facultad de Agronomía por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

A los profesores del Departamento Forestal. Gracias por su atención amistad y respeto, por compartir sus experiencias y conocimientos y por darnos las herramientas necesarias para desarrollarnos en el ámbito forestal.

Prosilva y Forestal Oriental. Por brindarnos los medios para realizar este trabajo de tesis así como el financiamiento al la investigación.

A Lic. Sully Toledo y Ing. Agr Rafael Escudero por su amable colaboración como por sus los valiosos comentarios y recomendaciones vertidos hacia el presente trabajo.

Al Ing. Agr. Gustavo Daniluk, e Ing. Agr. Lucia Gutiérrez por su apoyo incondicional, por su amistad, por la ayuda y aclaración de nuestras dudas durante la realización de nuestra tesis profesional.

A Gustavo Hernández por darnos la oportunidad de trabajar en su parque de maquinarias, por su confianza y espacio para poder realizar este trabajo de investigación, así como por la dedicación y apoyo recibido para la culminación de nuestra tesis. Así como también hacemos patente el agradecimiento a todo el personal obrero por el apoyo brindado durante la colecta de datos.

Un agradecimiento especial a nuestras familias que nos han apoyado durante nuestras carreras.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
1.1.1 <u>Objetivos generales</u>	2
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 ESTUDIO DE TIEMPOS.....	5
2.2 MODELOS DE TIEMPO POR METODOLOGIA DE CONSTRUCCIÓN ...	6
2.2.1 <u>Modelos globales</u>	6
2.2.2 <u>Modelos pormenorizados o analíticos</u>	7
2.3 MEDICION DE TIEMPOS.....	7
2.3.1 <u>Método continuo</u>	8
2.3.2 <u>Método multimomento</u>	8
2.3.3 <u>Método de vuelta a cero</u>	9
2.4 CLASIFICACION DE LOS TIEMPOS PARA ESTUDIO.....	9
2.5 TERMINOLOGÍA EN ESTUDIOS DE TIEMPOS.....	10
2.5.1 <u>Tiempo de trabajo u operativo (Tt)</u>	11
2.5.2. <u>Tiempo no operativo (Tno)</u>	13
2.6 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD.....	14
2.6.1 <u>Pendiente</u>	15
2.6.2 <u>Tipo de suelo</u>	17
2.6.3 <u>Condiciones climáticas</u>	18
2.6.4 <u>Características de las poblaciones forestales</u>	18
2.6.5 <u>Finalidad de la producción</u>	23
2.6.6 <u>Disponibilidad operacional</u>	23
2.6.7 <u>Disponibilidad mecánica</u>	24
2.6.8 <u>Resultados de estudios de tiempos</u>	26
2.7 SISTEMAS MECANIZADOS DE COSECHA FORESTAL.....	27
2.8 DESCRIPCION DE UN HARVESTER.....	28
2.8.1 <u>Cabezal cosechador</u>	29
2.9 PROCEDIMIENTO OPERATIVO EN COSECHADORAS.....	31

2.9.1 Cosechadoras con cabezales de apeo y procesado	31
2.10 RENDIMIENTOS OPERACIONALES DEL HARVESTER.....	32
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	35
3.1 CARACTERISTICAS DEL AREA BAJO ESTUDIO.....	35
3.1.1 <u>Ubicación</u>	35
3.1.2 <u>Caracterización del rodal</u>	36
3.1.3 <u>Geología</u>	36
3.1.4 <u>Suelos</u>	36
3.1.5 <u>Clima</u>	37
3.2 EQUIPOS	37
3.2.1 <u>Instrumentos</u>	37
3.2.2 <u>Características del harvester</u>	38
3.2.3 <u>Cabezal</u>	40
3.3 SISTEMA DE TRABAJO DEL HARVESTER	41
3.4 ESTIMACIÓN DE VOLUMEN	43
3.4.1 <u>Unidad muestral</u>	43
3.4.2 <u>Tamaño de la muestra</u>	43
3.4.3 <u>Métodos de muestreo</u>	44
3.4.4 <u>Forma y tamaño de las parcelas</u>	45
3.4.5 <u>Medición del área en parcelas</u>	45
3.4.6 <u>Cálculo de volumen</u>	46
3.4.7 <u>Medición de árboles</u>	47
3.4.8 <u>Obtención del factor de forma</u>	48
3.5 EVALUACIÓN OPERACIONAL	50
3.5.1 <u>Estudio de tiempos productivo y movimientos</u>	50
3.5.2 <u>Métodos y tiempos de trabajo empleados</u>	52
3.6 RENDIMIENTO	53
3.7 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	53
3.8 ANALISIS ESTADISTICO	54
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	55
5. <u>CONCLUSIONES</u>	70
6. <u>RESUMEN</u>	72
7. <u>SUMMARY</u>	73
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	74

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Distribución porcentual del tiempo de trabajo productivo obtenido por diferentes autores	26
2. Producción (m^3 hora ⁻¹ efectiva)	33
3. Productividad de equipos harvester en diferentes condiciones.....	34
4. Características técnicas del harvester	38
5. Características técnicas del cabezal cosechador.....	40
6. Estadísticas descriptivas de tiempos y rendimientos de las parcelas analizadas	55
7. Resultado de la regresión lineal simple en función del tiempo por operario.....	56
8. Resultado de regresión lineal simple en función del rendimiento por operario.....	57
9. Resultado del modelo de regresión no lineal entre diámetro y cada una de las tareas.....	58
10. Resultado del modelo de regresión no lineal entre número de árboles y cada una de las tareas en tiempo multimomento.....	59
11. Rendimiento del harvester en función del volumen por parcela.....	65

Ilustración No.

1. Ubicación de los rodales estudiados.....	35
2. “harvester” Prosilva, modelo 910 con cabezal Kesla.	39
3. “harvester” Prosilva, modelo 910 con cabezal Kesla	39
4. Vista frontal del cabezal Kesla utilizado	41
5. La secuencia de trabajo consistió en posicionamiento del cabezal y agarre del árbol, apeo y direccionamiento, desrame, descortezado y trozado a medida del fuste.	42
6. Posicionamiento del harvester y sistema de cosecha.....	42
7. Metodología de numeración y marcación de las parcelas.....	46
8. Muestra el harvester en el proceso de posicionamiento así como el apilado de maderas y parcela de muestreo.	51
9. Distribución porcentual del tiempo de trabajo productivo en función de cada tarea.	60
10. Distribución porcentual del tiempo de trabajo productivo.....	61
11. Tiempo porcentual de trabajo productivo en función del operario.....	62
12. Rendimiento $m^3 \text{ hora}^{-1}$ del harvester en función del volumen	63
13. Rendimiento del harvester en $m^3 \text{ hora}^{-1}$ en función del diámetro.....	64

1. INTRODUCCION

El constante crecimiento en el sector forestal determina que la superficie de especies implantadas en el país superan las 800 mil hectáreas entre coníferas y latifoliadas.

Un sector agro-industrial creciente encabezado por la planta de celulosa de UPM con un consumo promedio de 3,5 millones de m³ anuales de madera y una producción de celulosa de aproximadamente un millón de toneladas por año.

Existen proyectos de desarrollo industrial de gran envergadura lo que garantiza que los volúmenes de madera a cosechar se verán incrementados.

El crecimiento del sector forestal, junto a la escasez de mano de obra especializada en la fase agraria, hace que la cosecha mecanizada presente cada vez más incidencia en nuestra forma de producción.

Para poder cumplir con los volúmenes necesarios que la industria y el sector exportador demanda, el camino se orienta hacia la mecanización de la cosecha forestal.

En sistemas intensivos como es el de la cosecha forestal es de suma importancia una buena planificación previa. Contar con herramientas para optimizar la productividad y por ende generar una disminución de los costos, hacen que el estudio de tiempos sea una buena opción al momento de una mejora en los tiempos productivos.

La mecanización en la cosecha forestal permite profesionalizar la actividad:

- aumentando los volúmenes de madera a cosechar
- mejorando la calidad del trabajo
- aumentando la seguridad del personal
- bajando costos de producción

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos generales

Realizar un estudio de tiempo y rendimiento con un cosechador forestal “harvester” de última generación en *Eucalyptos maidenii* (F. Muller) procesando madera con destino pulpable.

1.1.2 Objetivos específicos

El trabajo realizado pretende evaluar el comportamiento del cosechador, analizando el rendimiento de la maquina para una masa forestal determinada.

Comparar como inciden las distintas variables del rodal, volumen de la parcela, volumen por árbol, densidad, diámetro promedio en la productividad y tiempo del harvester.

Aplicación de un método de estudio de tiempo continuo y multimomento en la cosecha forestal.

Estimar rendimientos a nivel nacional en cosecha forestal altamente mecanizada para la especie *E maidenii*.

Analizar el rendimiento entre operadores en las distintas etapas parciales del procesamiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La superficie total forestada en Uruguay con bosques implantados con una clara finalidad industrial ha superado las 800.000 hectáreas y paulatinamente va dando sustento a diversos emprendimientos industriales que abarcan el aserrado, la producción de tableros, celulosa y papel (Ligrone y Mantero, 2009).

La brecha tecnológica existente entre la tecnología utilizada en Uruguay al inicio del desarrollo forestal y la que se utilizaba en los países con mayor desarrollo ha ido disminuyendo con el tiempo. Sin embargo el desarrollo y la adopción tecnológica no son homogéneos tanto en la totalidad del territorio así como entre las diferentes empresas, aunque el conocimiento se ha generalizado (Ligrone y Mantero, 2009).

Las actividades de cosecha se dividen entre las totalmente mecanizadas y las cosechas manuales (con motosierra). La mayor mecanización se verifica en los bosques con destinos “pulpables” y la menor en las tareas que se realizan en bosque nativo. La mano de obra necesaria para la cosecha disminuye drásticamente a medida que aumenta la mecanización, pero la calidad del empleo generado aumenta con ella.

Según Lorenzo (2008), Uruguay ha sido testigo de un importante desarrollo en sistemas de cosecha mecanizada en los últimos 3 años, y los equipos adquiridos en ese periodo superan el centenar. Acompañando la madurez de los bosques, la madurez de un mercado con muchas oportunidades de contratos hace posible este desarrollo.

La extracción de productos forestales se incrementó un 32% en el año 2008 en comparación con el año anterior, alcanzando los 9,4 millones de metros cúbicos. La tasa de crecimiento mencionada fue 2,6 veces superior a la tasa registrada en los últimos 3 años, que se había ubicado en el orden del 12% (Ligrone y Mantero, 2009).

La extracción de madera para combustible se mantuvo relativamente estable, por lo que el alto registro experimentado se debe a la madera para uso industrial y dentro de ella en particular con destino a la producción de celulosa,

asociada al funcionamiento a plena capacidad de la planta de UPM y al crecimiento en la producción y exportación de astillas de madera (chips).

Del total de la madera en rollo extraída con fines industriales, el 46% fue destinado a la producción de celulosa en la planta de UPM, el 32% a producción de chips, el 16% a la producción de madera aserrada y contrachapada y el resto a la exportación como rollizos pulpables y aserrables 6% (Ligrone y Mantero, 2009).

Durante muchos años, se ha conocido al estudio de trabajo con el nombre de “estudio de tiempos y movimientos” pero actualmente, se señala que el propósito de dichos estudios es incrementar la productividad de una empresa considerando la capacidad y necesidades de los trabajos para un desarrollo dinámico del trabajo, mayor rendimiento con menor esfuerzo físico en un período de tiempo corto, con el uso de la maquinaria adecuada en el momento y lugar adecuado; el tiempo juega un papel preponderante en la organización analítica del trabajo donde todas las operaciones se pueden analizar, describir y optimizar, los datos que se obtienen son la base para la toma de decisiones en los aspectos relacionados con la planeación y organización del trabajo, la elección de los métodos, el establecimiento de salarios y la supervisión.

El control de tiempos y rendimientos es necesario para la adecuada planificación del trabajo y además sirve para calcular costos, permite controlar el tiempo empleado en las operaciones realizadas en el trabajo del monte y además el registro de parámetros explicativos de esos tiempos. Tiene por objeto identificar y organizar las operaciones del proceso de trabajo generalmente para proponer una forma más simple de ejecutar la tarea (Villagómez y García, 1986).

2.1 ESTUDIO DE TIEMPOS

Según Tolosana et al. (2000), el estudio de tiempos es un estudio detallado de la distribución del uso del tiempo en las diversas tareas que componen un determinado esquema de trabajo, incluyendo también el estudio del tiempo consumido por otros eventos ajenos en principio al objetivo de trabajo como retrasos, pausas, incidentes, etc.

Estos mismos autores mencionan que la utilidad de los estudios de tiempo y rendimientos en el aprovechamiento forestal excede la presesión de estos por el ejecutor del aprovechamiento, alcanzando otros objetivos más o menos alejados, como por ejemplo:

- ✓ mejora de los sistemas o métodos de trabajo.
- ✓ ensayo o comparación de los medios o técnicas de trabajo no conocidas.
- ✓ valoración económica del propio trabajo en función de la evolución de la productividad.

El estudio de tiempos consiste en la medida, clasificación sistemática y análisis crítico del tiempo empleado en el trabajo para determinar la eficiencia, la productividad y costo de realización del trabajo. La medida cuantitativa del tiempo empleado en cada operación o conjunto de operaciones (ciclo), tiene como objetivo identificar su secuencia, movimientos de los trabajadores, máquinas y material o frecuencia de utilización, además de reconocer los parámetros de influencia.

El objetivo del estudio puede ser desde aumentar la productividad para disminuir los costos hasta determinar modelos de tiempos que sirvan de base a la planificación del trabajo Tolosana et al. (2000).

Según Tuset (1987), hace una clasificación en la cual separa el estudio de tiempos en tres categorías, tiempo del personal, tiempo de maquinarias o de los medios de producción y tiempo de materiales o de productos. En la investigación forestal la mayoría de los estudios se refieren al producto, a una unidad de producción donde intervienen también tiempos de personal y maquinaria.

Parra y Carey (2000), resalta el ciclo de trabajo que permite la evaluación de un sistema de cosecha o un equipo en particular, requiere necesariamente, de una determinación clara y precisa del proceso mediante el cual se alcanza un objetivo. Es decir, en este caso, las acciones que ejecuta el harvester para convertir el árbol a materia prima utilizable o bien las acciones que constituyen su ciclo de trabajo. Descomponer el ciclo de trabajo en sus respectivas acciones, llamadas elementos o momentos, lleva a poder realizar un análisis completo del proceso y, más aún, detectar aquellos elementos críticos del ciclo que consumen proporcionalmente mayor cantidad de tiempo y que son motivo de un menor rendimiento. Entonces, esta desagregación permite tomar medidas correctivas que lleven a maximizar el potencial del equipo, pudiendo ser éstas, en términos de capacitación, mantenimiento de equipos, organización y método de trabajo, entre otras.

2.2 MODELOS DE TIEMPO POR METODOLOGIA DE CONSTRUCCIÓN

Según Tolosana et al. (2000), los modelos de tiempo suelen descomponer el tiempo observado en categorías. Lo usual en los trabajos forestales es la descomposición de este trabajo productivo en una serie de operaciones que lo componen formando ciclos de trabajo, tales como en el apeo y la elaboración, el árbol suele ser una unidad cíclica.

2.2.1 Modelos globales

Tolosana et al. (2000), los modelos globales de tiempo estudian el tiempo (tiempo productivo) consumido en cada ciclo de trabajo, y después lo relacionan con los principales factores de que depende.

Lo usual es que se trabaje con “tiempos medios”, esto es, que se restringe el tiempo productivo tras descontar del tiempo total el consumido en descansos, tareas complementarias, de mantenimiento, etc. Las cuales se emplean en un número grande de ciclos, registrando este número por conteo por ejemplo numero de árboles elaborados en una determinada jornada en que se registran dichos tiempos. Cuando se cuenta con estos valores de los tiempos medios por ciclo para distintas condiciones de aprovechamiento, se puede relacionar los tiempos invertidos con dichas variables características del aprovechamiento, como por ejemplo pendiente media, el volumen medio del árbol, apeado o la densidad de corta en metros cúbicos por hectárea.

2.2.2 Modelos pormenorizados o analíticos

Según Tolosana et al. (2000), son aquellos modelos que proporcionan una estimación del tiempo productivo empleado en cada una de las fases en que se puede descomponer el ciclo de trabajo. Permitiendo estudiar los factores de los que depende el tiempo invertido en cada operación elemental que frecuentemente son exclusivos para la misma. El conocimiento de dichos factores permite una predicción más fiable de los tiempos conjuntos como suma de partes que de un modo conjunto.

Posibilita el análisis de operaciones distintas de la original, pero que tengan componentes comunes (aunque no todos): por ejemplo, la aplicación del modelo al uso de una cosechadora para procesar y apilar en borde de pista árboles que ya hayan sido apeados y acarreados hasta allí por otros medios (deslizamientos, cableo, etc.).

2.3 MEDICION DE TIEMPOS

De los métodos de control de tiempos existentes, tales como: vuelta a cero (control por momento), multimomento (frecuencia de cada momento en un período de tiempo determinado) y cronometraje continuo (control continuo en un período de tiempo), resulta más conveniente el uso de este último, principalmente porque es un método que permite reconstruir el ciclo de trabajo y, por consiguiente, detectar posibles errores de lectura. Cabe indicar que este método es ventajoso, pero se debe ser muy riguroso al controlar un equipo, cuyo ciclo de trabajo se caracteriza por presentar algunos elementos o momentos de corta duración, como ocurre en el caso del harvester: volteo y proceso de la primera troza Parra, Villagómez y García, citados por Parra y Carey (2000).

2.3.1 Método continuo

Tolosana et al. (2000), registra el tiempo exacto invertido en cada operación elemental de cada ciclo productivo.

Según Tuset (1987), mide el tiempo sin detener el cronómetro; cada vez que la acción pasa por un punto de medición, el operador anota la posición de los punteros sin detenerlos, junto con el nombre de la actividad recién terminada. El tiempo abarcado por cada actividad parcial se calcula por diferencia.

Este mismo autor menciona que como ventaja se puede reconstruir la secuencia de trabajo y puede identificarse los errores de lectura o de registro. Se adapta a estudios de ciclo corto. Como desventajas solo se puede observar una máquina a la vez y las secuencias cortas se registran con cierta dificultad.

2.3.2 Método multimomento

Según Tolosana et al. (2000), en este procedimiento, se registra la actividad que se realiza en un determinado instante, casi siempre seleccionado por un procedimiento sistemático (por ejemplo, por medio de un cronómetro que emite sonidos regulares).

Los mismos autores resaltan la importancia de que los periodos de cronometraje deben estar compuestos por jornadas completas, o bien cubrir todos los intervalos que componen una jornada, dada la existencia de variantes en los tiempos y rendimientos a lo largo de la misma.

Según Tuset (1987), menciona que no se hace registro del tiempo a cada actividad parcial. Se procede a fijar un intervalo de tiempo para hacer observaciones, se pone en marcha el cronómetro y cada vez que suena el cronómetro se anota en la planilla que actividad es la que está realizando. Como resultado de esta forma de trabajo, el método permite determinar la frecuencia porcentual de cada actividad.

Tolosana et al. (2000), menciona como ventaja para operaciones de corta duración, los ciclos de apeo y procesamiento mediante cosechadoras, es un sistema que exige una menor atención que otras alternativas, por lo que puede reducirse el error por la fatiga del cronometrador.

Este método tiene como ventaja que se puede observar varios operarios o máquinas a la vez, así como no es necesaria una observación precisa de los puntos de medición Tuset (1987). Como desventaja tenemos que no se puede reconstruir la secuencia de trabajo.

2.3.3 Método de vuelta a cero

Según Tuset (1987), en el método de vuelta a cero el cronómetro es detenido en cada punto de medición y se le hace retornar de inmediato a cero; se comienza a medir el tiempo parcial siguiente.

Presenta este método la ventaja que los tiempos se tienen directamente sin necesidad de sustracciones.

Tiene como desventaja que solo se puede observar una máquina a la vez, así como una vez que el observador ha medido repetidas veces un tiempo para una actividad parcial, tiende a ser menos preciso en las lecturas y anticipar el valor correspondiente.

2.4 CLASIFICACION DE LOS TIEMPOS PARA ESTUDIO

Tolosana et al. (2000), considera que en la elaboración de un estudio de tiempos hay que definir las operaciones en cuanto al tiempo que las componen. Se trata de separar las fases de trabajo propiamente dicho de otros elementos que no forman parte de las operaciones por ejemplo, trabajos auxiliares, interferencias, descansos, averías, etc. que también deben ser tenidos en cuenta en tanto condiciona los rendimientos y costos.

Estos mismos autores mencionan la disgregación de las fases de trabajo directo en operaciones elementales. Por ejemplo, la fase de "apeo y

elaboración” se podría descomponer en apeo, desramado, trozado, despunte y apilado. Incluso estas operaciones pueden subdividirse (por ejemplo, el apeo puede descomponerse en “preparación del árbol, corte de entalladura, corte de tumbado, derribo, desenganche, etc.). Buscando con esto un seguimiento del trabajo descompuesto en estos elementos y sub-elementos que se haya definido para un análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

Según Tuset (1987), para realizar el estudio de un trabajo, se requiere proceder en primer término, a la subdivisión en operaciones parciales o secciones del curso de ese trabajo; procediendo a subdividir en operaciones elementales. La intensidad de esa subdivisión deberá ser analizada para ajustarla a la finalidad del estudio.

La determinación o definición del ciclo de trabajo también conlleva a identificar cuáles son las variables que interactúan con cada una de las acciones del equipo que se requiere evaluar. Este análisis es relevante y se debe tener claridad al respecto en el momento en que se levanta la información del área de estudio y durante la ejecución del ciclo de trabajo Parra y Carey (2000).

El estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecido.

2.5 TERMINOLOGÍA EN ESTUDIOS DE TIEMPOS

A nivel internacional se propone una terminología común generada por IUFRO para el estudio de tiempo productivo empleado en cada operación elemental de un determinado ciclo de trabajo Tolosana et al. (2000).

A continuación se detalla la terminología utilizada en el estudio referente a los tiempos.

2.5.1 Tiempo de trabajo u operativo (Tt)

Parte del tiempo total medido en que el sistema de producción considerado o una parte del mismo esta directa o indirectamente implica en la consecución de una tarea especifica del trabajo.

2.5.1.1 Tiempo de trabajo productivo o directo (Ttp)

Parte del Tt que es empleado en contribuir directamente en la consecución de una tarea especifica del ciclo de trabajo (por ejemplo, apeo de un árbol).

- Tiempo de trabajo principal (Ttpri): parte del Ttp usado en cambiar el objeto de trabajo (en el caso de aprovechamiento forestal de madera, las piezas maderables, árboles, fustes, troza o astillas) en lo que respecta a su forma, posición o estado dentro de las definiciones de las tares de trabajo, por ejemplo apeo, desramado, apilado, arrastre, carga.
- Tiempo de trabajo complementario (Tcomp): parte del Ttp en que no ocurre lo anterior, pero que es necesario para completar la tarea y que es parte integral del ciclo de trabajo como posicionamiento de la maquinaria o el trabajador, limpieza del área de trabajo, etc.

2.5.1.2 Tiempo de trabajo indirecto (Tti)

Parte del Tt que no es empleado directamente en la consecución de una tarea especifica del ciclo de trabajo, pero que se desarrolla como apoyo necesario a la misma.

- Tiempo de preparación (Tprep): parte del Tti que se emplea para la preparación de las máquinas y las condiciones de la zona de trabajo.

- Tiempo de traslado (T_{trasl}): parte del T_{prep} que se emplea para el transporte de maquinaria, trabajadores, etc, a un nuevo sitio de trabajo.
- Tiempo de planificación (T_{plan}): parte del T_{prep} que se emplea en el desarrollo de una estrategia operacional como por ejemplo recorrer y planificar el área de aprovechamiento, marcando calles de tractor, áreas sensibles, etc.
- Tiempo de preparación operacional (T_{pop}): parte del T_{prep} usada para preparar el sistema de aprovechamiento con el fin de que siga trabajando en un sitio en particular, como por ejemplo, cambio de turno, desplazamiento del personal por el monte, etc.
- Tiempo de cambio de posición (T_{cp}): parte del T_{prep} empleado en instalar y desinstalar el sistema productivo. Se divide en:
 - Tiempo de instalación (T_{ins}): parte del T_{cp} que se emplea en poner a punto el sistema de producción para que sea operativo en una nueva área de trabajo, como por ejemplo estacionamiento y anclaje del tractor para comenzar el arrastre (“cableo”) desde una pista, montaje de un cable aéreo, etc.
 - Tiempo de desmontaje (T_{desm}): parte del T_{cp} que se emplea para poner a punto el sistema de producción para un traslado a un área de trabajo, como por ejemplo liberación de anclaje y puesta en marcha de un tractor al finalizar el arrastre (“cableo”) desde una pista en una cierta posición, desmontaje de un cable aéreo previo al cambio de “calle” etc.
- Tiempo de servicio (T_{serv}): parte del T_{prep} que se emplea para mantener la capacidad de trabajo de las máquinas en el sistema de producción. Se divide en:
 - Tiempo de reparación (T_{repar}): parte de T_{serv} que se emplea en la reparación de daños o desgaste de elementos del sistema de trabajo, que ocurren como interrupciones no críticas, como por ejemplo una pequeña avería, las espera de un mecánico, el traslado de una pieza dañada para su reparación.

-Tiempo de mantenimiento (T_{mant}): parte de T_{serv} que se emplea para reparar la degradación progresiva de las herramientas y maquinaria, constituyendo una interrupción cíclica, como por ejemplo el mantenimiento normal de las piezas y maquinaria, la espera a un mecánico de mantenimiento, el transporte de la maquinaria para una revisión periódica, la comprobación diaria del funcionamiento del equipo.

-Tiempo de repostado (T_{repost}): parte del T_{serv} que se emplea para repostado de la máquina, incluyendo el traslado de la máquina para repostar, o el transporte del combustible desde su lugar de almacenamiento tanto como el propio repostado.

-Tiempo de trabajo auxiliar (T_{ta}): parte del T_{ti} que se emplea para realizar tareas auxiliares que permiten que el trabajo continúe en un sistema productivo, como por ejemplo, ayudar a otro trabajador en dificultades, amontonar residuos en las áreas húmedas, etc.

2.5.2. Tiempo no operativo (T_{no})

No se realizan tareas directas ni auxiliares que contribuyan a la consecución de los objetivos de trabajo.

2.5.2.1 Tiempo de interrupción ($T_{interrupción}$)

Parte T_{no} que se considera como una interrupción en el trabajo sin conexión directa o indirecta con las tareas que lo componen, como por ejemplo recabar información, parar por inclemencias del tiempo, porque se haya producido accidente o incidente laboral, por visitas, etc.

2.5.2.2 Tiempo de demora relacionada con el trabajo (Tdt)

Parte del Tno que esta relacionado con la organización del trabajo. Se divide en:

- Tiempo de descanso y necesidades personales (Tdnp): parte del Tdt que se emplea en la alimentación de los trabajadores, en el descanso que se estima necesario, las necesidades fisiológicas, etc.
- Tiempo de interferencia (Tinterf): parte del Tdt en la cual no ocurre ninguna actividad debido a la interferencia de una operación necesaria dentro del sistema de producción como por ejemplo esperar a que terminen otras tareas de las que dependa la que se analiza, etc.
- Tiempo de desplazamiento al lugar de trabajo (Tdespl): parte del Tdt en la cual los operarios se desplazan desde su lugar de residencia al trabajo al principio de la jornada, o en sentido contrario cuando esta finaliza.

2.5.2.3 Tiempo de comida (fuera del lugar de trabajo)

Parte del Tdt invertido, en el caso de que los operarios se desplacen para comer fuera del lugar de trabajo por ejemplo, a un pueblo cercano en los traslados y en la propia comida.

2.6 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD

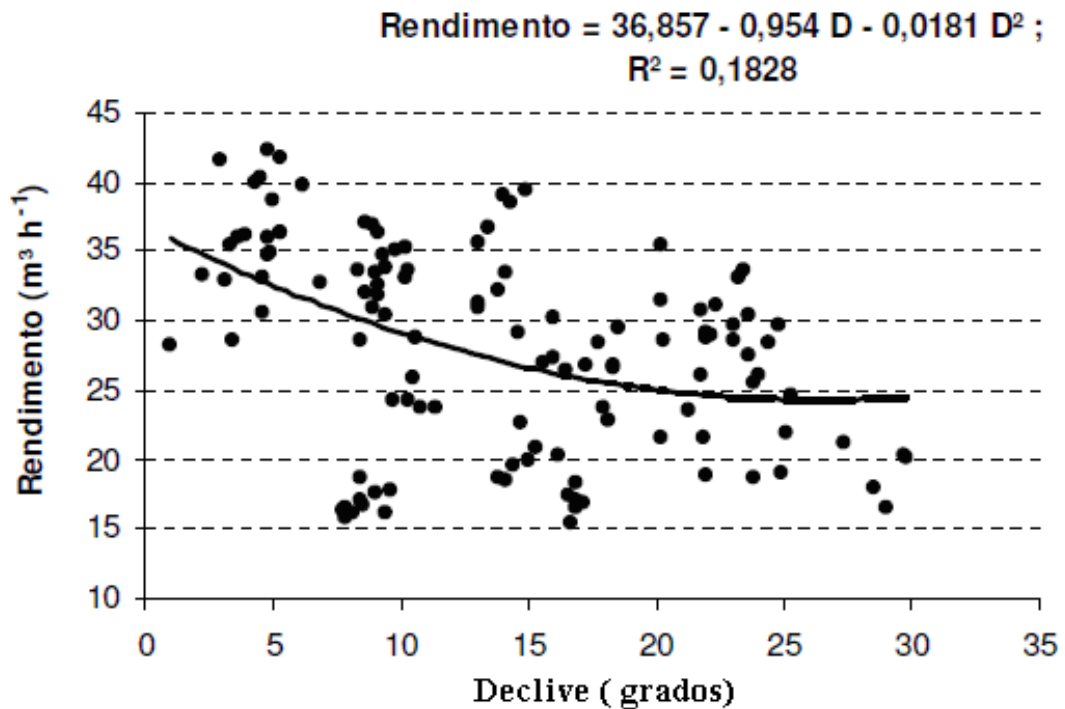
Es de importancia considerar todos los factores que afectan la productividad como ser pendiente, tipo de suelo, condiciones climáticas, característica de la población forestal, finalidad de la producción, disponibilidad operacional y disponibilidad mecánica. Estos determinarán en gran medida el rendimiento obtenido por el harvester en $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$. Permitiendo una mayor precisión al momento de determinar y planificar futuras cosechas forestales.

2.6.1 Pendiente

Todas las bibliografías consultadas coinciden en señalar que un aumento en el declive del terreno genera una disminución progresiva en el rendimiento de los harvester.

El rendimiento cae a medida que el declive del terreno aumenta. A pesar de ser poco significativo quedando analizado aisladamente ($R^2= 0.18$), incluso así la caída del rendimiento es muy significativa, llegando a 29 %, lo que genera un aumento de los costos de producción Burla (2008).

Figura 1. Rendimiento del harvester en *Eucaliptos grandis*, en función del declive del terreno.



Fuente: adaptado de Burla (2008).

El autor antes mencionado observo que el rendimiento, en metros cúbicos procesados por hora, aumento con el volumen por hectárea y disminuyó con el aumento de declive del terreno. En rodales de alta producción, situados en terrenos mas accidentados, hay una caída acentuada en el rendimiento debido a restricciones de estabilidad y de fuerza de la maquina para el procesamiento en árboles de mayor porte. La cosecha con harvester se ve afectada en pendiente cuesta arriba superior a 25 grados y 30 grados en pendiente cuesta abajo.

Cardoso (2002), menciona que el declive del terreno es una de las variables operacionales más importantes en la mecanización forestal. En áreas donde la topografía es muy accidentada puede tornarse inviable el tráfico de maquinaria, una vez que la estabilidad de la maquinaria y seguridad del operario se ven comprometidos.

Cuanto más elevada sea la pendiente, más perjudica las máquinas forestales. Sin embargo los harvester con el sistema de chasis articulado reduce en parte este problema Malinovski y Malinovski (2000).

Daniel et al., citados por Tolosana et al. (2000), indican que el aprovechamiento de eucaliptos con apeo, desramado, trozado a 3 m. y apilado somero con harvester Valmet 901, en volúmenes de 222 m³ /ha con árboles de un volumen medio de 0,3 m³ c/c en pendientes moderadas (24%), cosechadoras trabajando desde terrazas anchas de 5 m: 9,8 m³ c/c hora⁻¹ de presencia (16,3m³ hora⁻¹ productiva).

Según Salmerón y Ribeiro (1997), las características locales de la topografía, son factores importantes en la elección del equipamiento. Condiciones topográficas planas permiten la entrada de cualquier tipo de equipo, pero a medida que el terreno es más inclinado se dificulta la operación.

Si bien es cierto que el harvester presenta una serie de ventajas respecto de otros sistemas de conversión, también es posible encontrar algunas limitaciones. A pesar de que algunos autores lo ven más tolerante a las mayores pendientes, su potencial productivo se ve disminuido, como ocurre en la mayoría de los equipos terrestres, sobre todo cuando se trabaja en situaciones donde la pendiente del terreno supera un 30% de inclinación (Eeronheimo et al., citados por Parra y Carey, 2000).

Según Carey et al. (2007) la pendiente condiciona la elección del sistema de cosecha y es de vital importancia el sistema de información geográfica en la correcta toma de decisiones.

Actualmente, en la zona sur de Chile, las empresas forestales utilizan principalmente tres tipos de sistemas de cosecha: altamente mecanizada, mecanizada tradicional y de cosecha aérea:

➤ Sistema de cosecha terrestre en pendientes de 0%-30%:

pendientes de 0% a 15%, son apropiados los sistemas altamente mecanizados (cortadora-procesadora, skidder grapple o forwarder).
pendientes de 15% a 30% se utiliza principalmente el sistema mecanizado tradicional (skidder winche, motosierras).

➤ Sistemas de cosecha aérea o torres de madereo, utilizados en pendientes de 30% a 60%.

➤ Terrenos con pendientes > 60% se consideran zonas de protección.

2.6.2 Tipo de suelo

Las características del suelo que afectan son profundidad de la capa superficial, tipo de suelo, tenor de humedad y presencia de rocas las cuales pueden influir sobre la tracción así como el rendimiento operacional. La humedad modifica las propiedades mecánicas principalmente en los suelos de textura arcillosa, mas propenso a generar una disminución del trafico Cardoso (2002).

Malinovski y Malinovski (2000), indican que los suelos con drenaje pobre, sin cubierta vegetal pueden generar patinaje, reduciendo la productividad de las máquinas forestales.

Dentro de los factores de importancia que se destacan: la textura, granulometría, capacidad de soporte, drenaje en el perfil, fertilidad, compactación y erodabilidad.

2.6.3 Condiciones climáticas

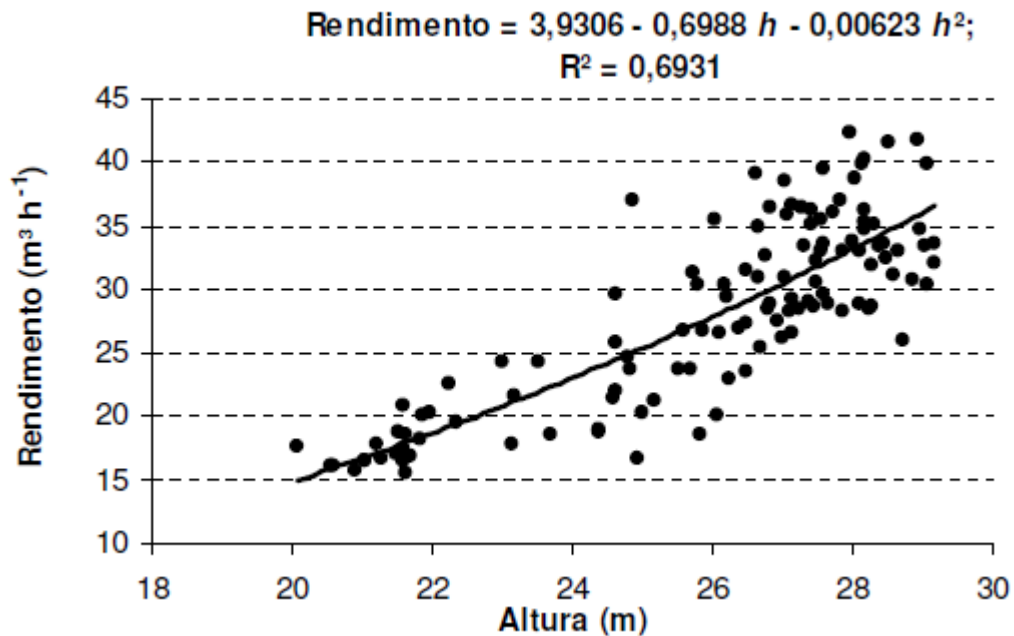
Las actividades de cosecha son bastante afectadas por las condiciones climáticas, como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y principalmente precipitaciones. Las empresas buscan adoptar estrategias en el planeamiento de la cosecha, practica muy común entre aquellas que adoptan sistemas mecanizados, de forma de realizar las partes más difíciles en épocas secas Cardoso (2002).

2.6.4 Características de las poblaciones forestales

La especie incide en el rendimiento de madera procesada por harvester al igual que la densidad de plantación así como factores propios del árbol como ramosidad y porcentaje de corteza, pero lo que determina en mayor medida el rendimiento del harvester según la bibliografía es el volumen individual de cada árbol que esta dado por la altura y el DAP.

Burla (2008) menciona que la variación del rendimiento en $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ en función de la altura presentó un comportamiento observado casi idéntico en función del DAP, lo que era esperado. Ambos indican que la máquina no llegó a ser limitante máxima en cada variable, pero la interacción de los dos factores hizo que hubiese un punto de caída a partir de un determinado valor de volumen.

Figura 2. Rendimiento del “harvester” en cosecha de *Eucalyptos grandis*, en función de la altura

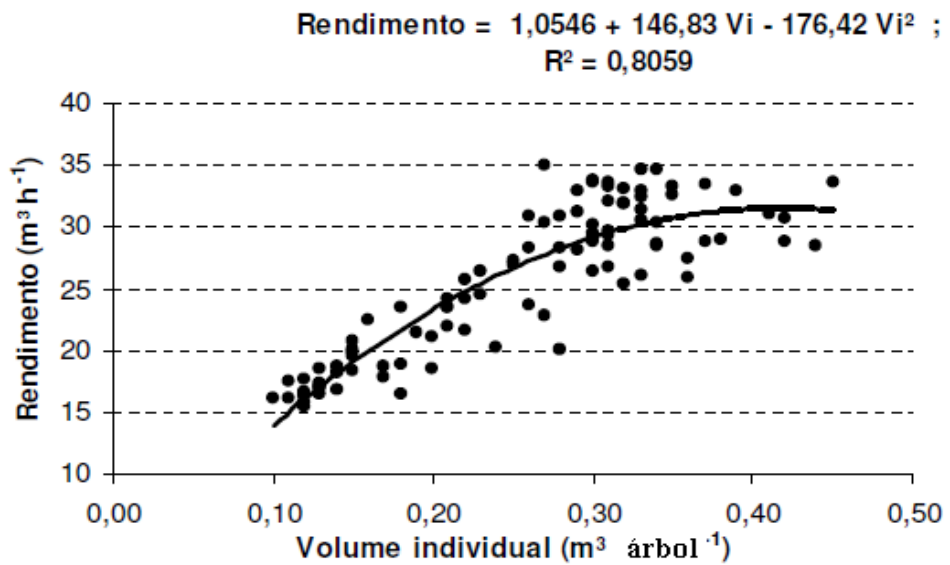


Fuente: adaptado de Burla (2008).

Según Wagner (2006), lo que más influye a la hora de procesar un árbol es el DAP y la altura, es decir su volumen. Árboles muy altos se procesan en dos etapas, mientras que árboles de poca altura se pueden descortezar en una sola etapa.

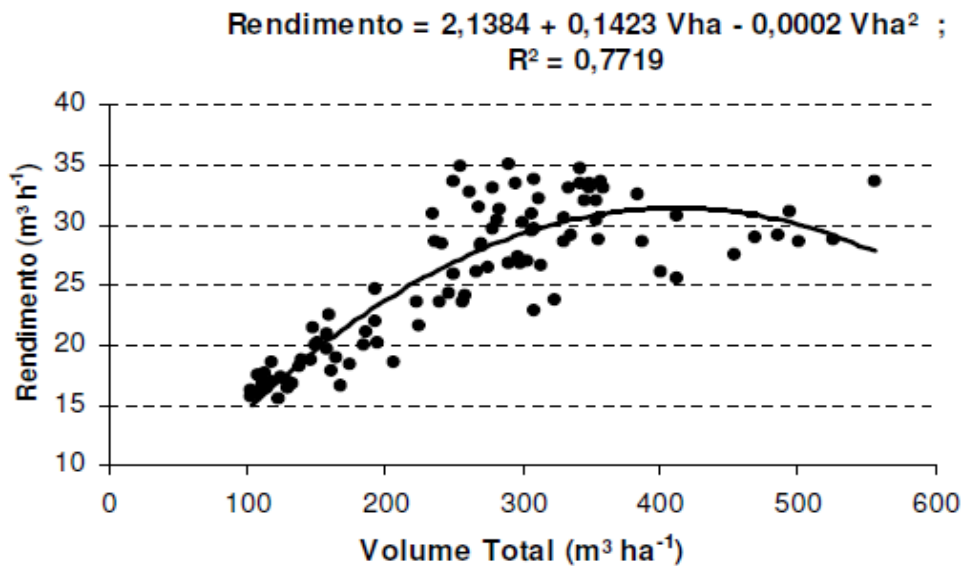
Burla (2008), encontró un aumento del rendimiento proporcional al volumen de los árboles hasta un punto máximo a partir del cual comienza a caer.

Figura 3. Rendimiento del “harvester” en cosecha de *Eucaliptos grandis*, en función del volumen individual de los árboles.



Fuente: adaptado de Burla (2008).

Figura 4 Rendimiento del “harvester” en cosecha de *E grandis*, en función del volumen de madera por hectárea.

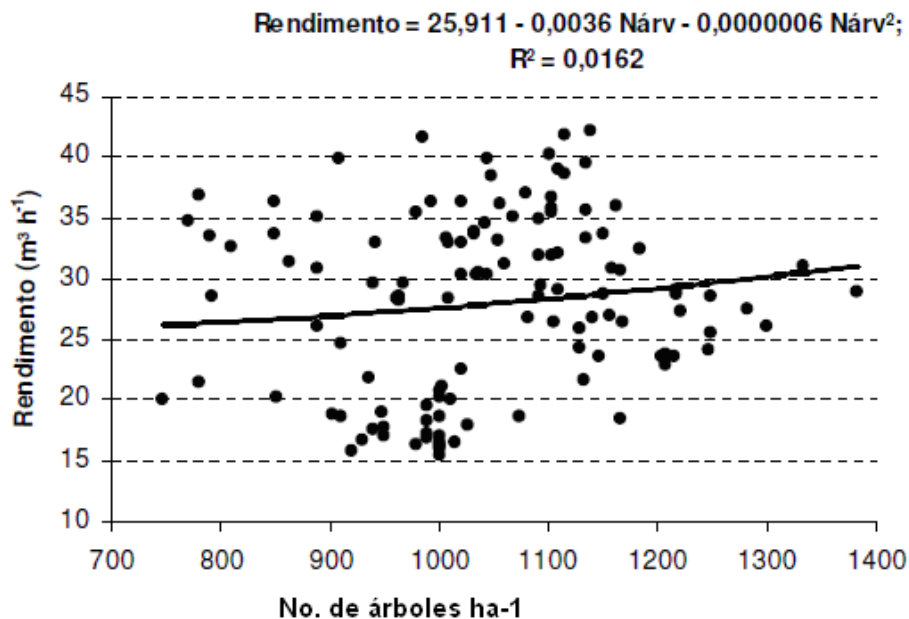


Fuente: adaptado de Burla (2008).

El tiempo de posicionamiento del cabezal disminuyó conforme al aumento del volumen por hectárea, debido a que el operador tenía más facilidad de posicionar el cabezal en árboles más gruesos Burla (2008).

No se encontró ninguna relación entre la cantidad de árboles por hectárea y el rendimiento. El “harvester” actúa en poblaciones entre 800 a 1200 árboles ha⁻¹, sin sufrir interferencia significativa en el rendimiento Burla (2008).

Figura 5. Rendimiento del “harvester” en cosecha de *E grandis*, en función de la densidad de la plantación.



Según Cardoso (2002), el tipo de especie a ser cosechado, es el principal factor a ser considerado ya que a partir de esto es que se elige el tipo de cosecha a utilizar. Otras variables a considerar son el número de árboles por hectárea, altura media, diámetro medio a la altura del pecho, volumen por hectárea.

En general, se puede indicar que en la mayoría de los casos el tamaño volumétrico del árbol explica significativamente la productividad del harvester. Incluyen en el análisis variables como: DAP (diámetro altura del pecho) y altura del árbol, características del fuste (forma, número y tamaño ramas), densidad

de árboles por superficie o espaciamiento, experiencia del operador, razón entre fustes no comerciales y comerciales, condición topográfica, entre otras Parra y Carey (2000).

Desde el punto de vista de costos y considerando esta alta inversión, el harvester es altamente sensible al tamaño de los árboles, lo que se convierte en un factor de gran importancia al momento de decidir en la asignación de equipos. Además, sobre diámetros que superan los 45 cm la productividad empieza a disminuir, sobre todo si los árboles presentan ramas que superan los 5 cm de diámetro.

Jacques (2008), menciona que el volumen medio por árbol explico el 88% de la capacidad operacional de la cosecha forestal y el espaciamiento afectó el 8.5% siendo que el mayor espaciamiento es la causa del mayor volumen individual.

Según Wagner (2006), las bifurcaciones del fuste generan un aumento en el tiempo de procesado, dado que el cabezal se tranca y en algunos casos se ve obligado a trozar y continuar el trabajo con dos tallos, lo que lleva a pérdidas de tiempo.

El autor antes mencionado dice que el descortezado se realiza más fácilmente cuando hay mayor contenido de humedad en el interior de la planta.

Wagner (2006), pudo observar que la presencia de canchales en los fustes de los árboles dificultaba el descortezado. En cierta forma los factores anteriores permiten ver porque árboles de 15 cm de DAP tienen un tiempo de procesado similar a otro de 30 cm de DAP.

2.6.5 Finalidad de la producción

Cardoso (2002), la madera obtenida de las plantaciones forestales es destinada en su mayoría para las producciones de energía, celulosa, chapas, embalajes o aserraderos. Otro de los factores a considerar es saber si la madera será procesada con o sin cáscara y si las poblaciones son de primer corte.

Salmeron (1998), menciona que en trozas de 2,7 m de largo con el harvester se obtuvieron rendimientos de $13.39 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$, mientras que para trozas de 5,5 fueron de $19.17 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$, incrementándose un 43 % la producción en un mismo rodal.

2.6.6 Disponibilidad operacional

Los autores consultados coinciden en señalar que el operario es uno de los factores más importantes a considerar y que el nivel de capacitación es de gran importancia en el aumento de los rendimientos así como el cuidado y vida útil de la maquinaria.

El operador es uno de los principales factores a ser considerados, en los procesos de adopción de un sistema mecanizado de cosecha. Debe haber una gran preocupación en su entrenamiento mental teórico y práctico en cuanto al uso y mantención de la maquinaria, calidad de seguridad y operaciones Cardoso (2002).

Se pueden mencionar como limitantes los requerimientos de inversión y el alto nivel de capacitación del operador, siendo esta última en términos de mantención y operación Parra y Carey (2000).

Según Malinovski y Malinovski (1998), con relación al operador los principales puntos de influencia son el tiempo de alimentación, descanso e higiene personal, que normalmente ocupa de 10 a 15 % del tiempo total disponible de la maquinaria para el trabajo. Las operaciones de cosecha están influenciadas normalmente por el tiempo de apeo, por obstáculos al momento de procesar el árbol así como por las paradas técnicas.

El tiempo en que las máquinas tienen condiciones de producir pueden no estar en producción. El porcentaje de tiempo perdido puede ser influenciado en función al tiempo de experiencia, el día de la semana y el estado de ansiedad del operador.

Burla (2008), menciona que el rendimiento en número de árboles procesados disminuyó con el aumento del declive del terreno y con la producción del rodal, el incremento del volumen individual elevó el peso de los árboles y por consiguiente, dificultó mucho más el procesamiento. La interacción del aumento de la inclinación del terreno, junto al incremento de las dimensiones de los árboles, hace que el operador no se sienta cómodo y pase a operar de forma más cuidadosa, disminuyendo el rendimiento.

2.6.7 Disponibilidad mecánica

Según Wagner (2006), suele ocurrir que el maquinista no cambia la sierra de cadena sino hasta que ésta no corta más. Esto trae como consecuencia que hay momentos en que se demora el trozado o el apeo porque la sierra está desgastada.

Dentro de las dificultades operativas (es común también que el fuste se cayera de las garras del cabezal a causa de golpearlo contra otro por ejemplo, aumentando el tiempo de procesado).

Las paradas más frecuentes de los harvester se deben a cambio de la cadena de la espada por desgaste, rotura de la cadena, roturas de mangueras de líquido hidráulico (del rotor), problemas con el motor son menos frecuentes pero ocurren como ser problemas en la tapa de cilindros Wagner (2006).

Castroman e Izuibejeres (2002), mencionan que trabajando con un monte de *E. viminalis* ($0.15\text{m}^3 \text{árbol}^{-1}$), $1170 \text{árbol ha}^{-1}$; determinaron valores de tiempo en segundos en cosecha con harvester que se detallan a continuación:

- Productividad $3.9 \text{m}^3 \text{h}^{-1}$
- Disponibilidad operacional 86.96%
- Disponibilidad mecánica 85%
- % de disponibilidad total: 74%

La distribución de los tiempos en el ciclo operacional del harvester mostró que el tiempo efectivo de trabajo de las maquinas fue de 80,4% de una jornada normal o sea que se trabajo, 6,43 horas, siendo el ciclo operacional 1,06 minutos para un árbol de $0,46 \text{m}^3$ Da Silva et al. (2006).

Las interrupciones tuvieron importante influencia en el tiempo del ciclo de trabajo de las máquinas, consumiendo en promedio 19,7% del tiempo total del ciclo operacional, llevando a una eficiencia operacional de las maquinas del 80,3 %.

Dentro de las interrupciones, el tiempo necesario para hacer el mantenimiento correctivo ocupó un 32,6 % del tiempo total, paradas para la realización del abastecimiento y lubricación de la maquina ocuparon un 13.8 %, mantenimientos previstos ocuparon un 7,4 % del tiempo total, las roturas de las maquinas fueron responsables del 10,1 % de las interrupciones, interrupciones personales ocuparon un 22,5 % del tiempo total y otros factores un 13,7 %.

En un estudio realizado con *Eucaliptus grandis* de primer corte con harvester obtuvo una eficiencia operacional de 91.53 % y una disponibilidad mecánica de 92.04 %. El porcentaje de actividades generales fue de 8.47% Simoes (2008).

Según Seixas (2003), la producción media fue de 81.6 % en el tiempo efectivo bruto (considerándose parte del tiempo efectivo bruto en estos casos aquellas paradas inferiores a los 15 minutos) en cortes. Siendo la disponibilidad técnica del 84.5 %.

2.6.8 Resultados de estudios de tiempos

Los autores Castroman e Izubejeres (2002), Wagner (2006), Burla (2008) coinciden en señalar que la mayor parte del tiempo de trabajo principal es utilizado en el descortezado y desramado, encontrándose en segundo lugar el trozado en cambio Jacques obtuvo resultados contrarios. Ver cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución porcentual del tiempo de trabajo productivo obtenido por diferentes autores

Equipo	Especie	Ape	Trozado	Descr	Acom	Posi	Avanc	Fuente
%								
Timberjack 1270 D	<i>E. saligna</i>	12	25	55	2		6	Wagner (2006)
Bell TH 120	<i>E. viminali</i>	15	15	53			18	Castroman e Izubejeres (2002)
John Deere 1270 D	<i>E. grandis</i>	10	23	37		22	7	Burla (2008)
Timberjack 1270D	<i>E. grandis</i>		41	30				Jacques (2009)

Fuente: elaboraron propia

Simoes (2008), trabajando en harvester sobre maquina base de orugas, sobre un monte homogéneo fustal de *E. grandis* en un terreno plano, suelo arenoso verifico que la actividad que insumió mas tiempo fue “cortar” que represento un 90,82% del ciclo operacional. La segunda actividad fue la “mantención” con 7,96 %, seguida por las actividades parciales de “tiempo personal” 0,5 %, “maniobras” 0,5% y avance 0,22%.

Da Silva et al. (2006), cosechó pino en dos áreas dentro del rodal y una en el borde del rodal, evaluando una situación característica de los montes. En todas las situaciones evaluadas, se verificó que el elemento que consumió la mayor parte del tiempo del ciclo operacional fue el procesamiento de los árboles, 56,7 %, 55,1% para las dos primeras situaciones y 59,7 % en borde del ciclo total.

El elevado tiempo consumido por la máquina en el procesamiento de la madera puede estar explicado por la necesidad de realizar dos pasadas de los rodillos del cabezal, realizando su descortezado parcial, siendo esta una exigencia de la industria.

Da Silva et al. (2006), en el mismo estudio menciona que el segundo elemento parcial que consumió el mayor tiempo del ciclo operacional fue la búsqueda y corte, con 22,1%, 21,2% dentro del monte, y 23,2 % en el borde. El mayor tiempo empleado en los árboles del borde se pueden deber al mayor diámetro de estos, además muchos de estos árboles presentaban bifurcación. Con relación a la rotura de la máquina, el mayor % observado fue en el tratamiento 2, pudiendo ser explicado por el mayor número de árboles en la línea de corte.

2.7 SISTEMAS MECANIZADOS DE COSECHA FORESTAL

Malinovski y Malinovski (1998), mencionan que el sistema es definido como un conjunto formado por elementos y procesos. Siendo la cosecha de madera definida como toda la cadena de producción, desde el apeo de los árboles hasta la puesta en el patio de la industria consumidora.

Según la clasificación de Malinovski y Malinovski (1998), los sistemas de cosecha pueden ser clasificados en función de cómo se sacan las trozas del rodal. De esta forma existen básicamente cuatro sistemas de cosecha:

- sistema de trozas cortas: los árboles son procesados en el lugar que son derribados, siendo extraído para las márgenes de las rutas o para patios temporarios en forma de pequeñas trozas, con menos de 6 metros de largo.

- sistemas de trozas largas: los árboles son semi -procesados (descortezados y desramados) en el lugar que se lo apeó siendo llevado posteriormente para los márgenes de caminos o un patio temporario en forma de fuste, con más de seis metros de largo.

- sistema de árboles enteros: el árbol es apeado y llevado para los márgenes de los caminos o para un patio intermedio donde es procesado.

-sistema de árbol completo: el árbol es arrancado con parte de su sistema radicular y llevado para los márgenes de la entrada o para patios temporarios donde es procesado.

Tolosana et al. (2000), las cosechadoras trabajando en calles cuya separación máxima viene dada también por el doble del alcance de la grúa dejando pilas alineadas en los bordes y fajas de restos, generalmente supuestos sobre las propias calles, para reducir los efectos desfavorables del tránsito de los tractores.

La corta y elaboración se efectúa con cosechadoras las cuales trabajan en la calles mas o menos separadas en función de la pendiente, generalmente dos veces el alcance de la grúa en terreno llano (esto es 15 a 20 m) hasta calles cada 10 a 12 m si hay mucha pendiente.

2.8 DESCRIPCION DE UN HARVESTER

Tolosana et al. (2000), describe a la cosechadora harvester como una maquina que apea, desrama, troza así como otras funciones como apilado y clasificación.

Según Parra y Carey (2000), su alta sofisticación técnica viene dada, principalmente, por su capacidad de voltear, desramar y trozar el árbol. Este equipo está constituido, estructuralmente, de dos unidades de chasis que se unen por un sistema de articulación central, lo que le permite una gran maniobrabilidad (mínimo radio de giro). Además, está construido e implementado de tal manera de dar la máxima estabilidad durante la operación (nivelación automática) y el mejor confort al operador (cabina ergonómica).

Para sus funciones básicas posee un brazo rotatorio extensible articulado que, según el modelo y posición de trabajo, puede tener un radio de acción de alrededor de 10m. Este se encuentra en la parte posterior del equipo y en su extremo tiene una unidad o cabezal de procesado.

Parra y Carey (2000), mencionan que el harvester, según modelo, puede presentar un sistema de rodado de cuatro a ocho ruedas neumáticas o bien un

sistema de orugas. En ambos casos, el diseño considera el concepto de alta flotación para aminorar el efecto al suelo.

Los harvester son siempre maquinas autom6viles, se clasifica en funci3n de los elementos de trabajo:

Cosechadora con cabezal 6nico de apeo y procesado (one-grip harvester). Son las que cuentan con un solo cabezal unido al extremo del brazo met6lico. Con el efectúa el apeo, desrame y trozado. Este tipo de maquinaria se clasifica seg6n si el brazo es de tipo articulado (esto es, como la grúa de una excavadora o autocargador) o es un corto brazo de volteo con el cabezal pr3ximo al chasis del tractor.

Cosechadora con cabezal de apeo en punta de grúa y plataforma de procesado (two-grip harvester): son aquellas que disponen de un cabezal solo para el apeo, dispuesto en el extremo de una grúa, y de una plataforma de procesado situada en el semichasis trasero. Este sistema independiente del procesador permite una mayor productividad por la ventaja de poder realizar el desrame y el trozado al tiempo que el cabezal de apeo se dirige al 6rbol para iniciar su apeo.

2.8.1 Cabezal cosechador

El cabezal es una estructura de acero implementada principalmente con diferentes elementos que permiten sujetar, cortar, facilitar el avance y medir por sensores el fuste en proceso, permitiendo esto 6ltimo cuantificar la producci3n por operaci3n de un microcomputador ubicado en la cabina (Eeronheimo et al., citados por Parra y Carey, 2000).

Los elementos fundamentales de los cabezales son las garras de sujeci3n superiores e inferiores y los elementos de corte. En algunos tipos aparece el elemento de alimentaci3n rodillos o brazo telesc3pico.

Los cabezales se pueden clasificar atendiendo a tres criterios fundamentales: por el elemento de corte, por las tareas que realizan y por si tienen o no capacidad de tratar varios pies en un mismo ciclo de corte y apeo.

Atendiendo al primer criterio, el elemento de corte, los cabezales pueden ser clasificados:

-Corte por cuchillas: el elemento de corte es una o dos cuchillas que cortan por presión tangencial sobre la sección del fuste. Este sistema es más rápido, pero se producen daños en la madera. Su ámbito de utilización principal es en primeras y segundas claras, leñas en monte bajo y en los aprovechamientos energéticos a partir de biomasa forestal.

-Corte por medio de sierra circular: El elemento de corte es un disco circular con dientes que se sitúa en la base del cabezal y que es accionado por presión hidráulica. El ámbito de aplicación es el mismo que el anterior, pero se hace útil también en el apeo de árboles de considerable tamaño.

-Corte por medio de sierra de cadena: El elemento de corte es similar a una motosierra, con una espada y una cadena de iguales características, pero, a diferencia de la motosierra, este sistema es accionado por medio de presión hidráulica y no por un motor de explosión. Su ámbito de aplicación es el mismo que en el caso anterior.

Atendiendo al segundo criterio, tareas que realizan, la clasificación sería la siguiente:

- Cabezales que sólo realizan el apeo y el apilado -cabezal de apeo y apilado. Este cabezal recibe el nombre en inglés de "felling head". Estos cabezales tienen un sistema de alimentación que fuerza al fuste a pasar por los elementos desramadores, que no son otra cosa que las propias garras de sujeción, a las que se modifica dándoles un filo y un ángulo de ataque por el lado que corta a las ramas -la parte superior-. El sistema de alimentación puede ser una barra telescópica que se recoge forzando al fuste hacia las garras derramadoras, o unos rodillos que giran forzando el paso del fuste por los derramadores.
- Los cabezales cosechadores son construidos para cosecha final de árboles con un diámetro medio de hasta 50 cm. La apertura máxima de las garras es de 68 cm. El desplazamiento del árbol por medio de tres

rodillos sincronizados, provee la potencia necesaria para el procesamiento aún de aquellos árboles con ramas más robustas. Es también apropiado para el procesamiento de troncos apilados en el suelo.

Según Tolosana et al. (2000), su cabezal de apeo esta compuesto por unas garras de sujeción del árbol, un dispositivo de apeo el cual esta compuesto por las garras de sujeción del árbol que consisten en dos piezas robustas de acero, de forma curvada para adaptarse al árbol y un elemento de corte que puede ser una sierra de cadena (los dientes de gubia avanzan hacia el interior de la madera mediante cortes sucesivos de pequeñas virutas, llegando 13 Kw. de fuerza ejercida a la cadena por un circuito hidráulico a través de una bomba) o una cuchilla las cuales penetran la madera por efecto de la presión del sistema hidráulico, un sistema de alimentación y un elemento desramador.

Sistema de alimentación:

-Rodillo: Su función es análoga al de la procesadora.

-Brazo extensible: se encuentran dispuestas en el extremo de un brazo extensible por medio de un embolo, al extenderse el brazo se produce el desrame del árbol en la longitud recorrida por la garra. Teniendo con este sistema una mejor calidad de desrame, con mayor lentitud y problemas mecánicos.

2.9 PROCEDIMIENTO OPERATIVO EN COSECHADORAS

2.9.1 Cosechadoras con cabezales de apeo y procesado

El harvester fue diseñado para convertir el árbol a trozos de hasta ocho metros de longitud, para luego ser asistido por un tractor autocargable (forwarder) y realizar el desembosque. Dicho proceso lo puede ejecutar movilizándose de árbol a árbol o bien desde una vía de saca preestablecida Parra y Carey (2000).

Estas máquinas se mueven por calles por las que se desplazan y desde las que trabajan. La máquina se desplaza una distancia aproximadamente igual al alcance del brazo de grúa y se detiene en un punto desde el que apeará todos los pies que entren dentro de su radio de alcance

La maquina circula por el monte hasta situarse al alcance del árbol a cosechar. Se estaciona y operando la grúa sitúa el cabezal en la base del árbol y lo voltea, posicionándolo horizontalmente, momento a partir del cual empieza a funcionar como procesador, desarmándolo y trozándolo. Solo cuando ha concluido de procesar el árbol, la maquina empieza el apeo de otro Tolosana et al. (2000).

Wagner (2006), evaluando dos sistemas en el cual el sistema A consiste en que el árbol es apeado, luego el cabezal descorteza casi la totalidad del fuste dejando un $\frac{1}{4}$ del fuste sin descortezar. Comienza a trozar hasta que se encuentra con corteza otra vez, lo termina de descortezar y lo troza. En el sistema B el árbol es apeado, luego el cabezal va hasta la mitad, vuelve, va hasta la mitad del fuste, vuelve (siempre descortezándolo), luego comienza a cortar, hasta el punto en que tiene corteza otra vez (la mitad del fuste) y prosigue descortezando hasta que no hay más corteza y lo termina de trozar. No se detectaron diferencias significativas entre los dos sistemas de trabajo, de manera que no se puede seleccionar un sistema de trabajo como el mejor para ser aplicado en el centro de capacitación.

2.10 RENDIMIENTOS OPERACIONALES DEL HARVESTER

Según Lorenzo (2008), la vida útil de los harvester es de 20 a 25 mil horas que corresponderían a 4 años programando las 24 horas de los 365 días de trabajo. Según la experiencia de unos de los pioneros en cosecha mecanizada de nuestro país, en 30 meses, sus maquinas han trabajado una 17 mil horas. Con este rendimiento se lograría una amortización total de la inversión en el periodo esperado.

Según Tolosana, citado por Tolosana et al. (2000) el rendimiento por hora productiva en las primeras claras de repoblación utilizando cosechadoras finlandesas Norcan procesando trozas de 2 a 2.5 m fueron de $10,9 \text{ m}^3\text{hora}^{-1}$

productiva oscilando entre 6,1 y 21.3 para volúmenes entre 0.08 y 0.193 m³ c/c y pendiente entre 0 a 37,5%.

Según Simoes (2008), durante el estudio con el harvester, fueron procesados 11.638 trozas con un largo de 6 metros y volumen medio de 0.0822 m³, que correspondió a un volumen total de 895,93 m³ de madera procesada. El rendimiento operacional efectivo fue de 183 árboles apeados, que resulto en 41.45 m³ de madera con cáscara apeada y procesada por hora.

Según Seixas (2003) la producción en m³ hora⁻¹ efectiva incluyendo intervalos menores a 15 minutos = H₁₅) de harwarder para cortar en diferentes tipos de corte. El tamaño medio del tronco es dado entre paréntesis en dm³, ver cuadro 2.

Cuadro 2. Producción (m³ hora⁻¹ efectiva)

Maquina	1º Corte	Ultimo Corte	Corte Raso
Nokka Profi	8,81 (131)	10,28 (129,5)	12,07 (168,4)
Sampo 1046X	6,26 (94,6)	7,76 (121,7)	12,97 (302,6)
Assa 810	7,65 (112)	10,43 (177,5)	19,43 (465,3)
Total (media)	9,922 (103,6)	9,2 (140,3)	16, 18 (336,8)

Fuente: Seixas (2003)

Cuadro 3. Productividad de equipos harvester en diferentes condiciones.

Equipo	Faena	Pendi (%)	Vol árbol ⁻¹ (m ³)	DAP (cm)	Produ (m ³ h ⁻¹)	Fuente
Ponse Ergo HS15	Cosecha final Eucaliptos	20-35	0,51	5-53	24,10	Eeronheio y Mäkinen* (1995) Chile
Timberjack 608/762B	Raleo <i>P radiata</i>				13,00	
Timberjack 608/762B	Cosecha <i>P radiata</i>				24,90	
Timberjack 1270	Raleo <i>P negro</i>	0-19	-	23,6	37,20	
Timberjack 1270	Raleo <i>P negro</i>	0-19		17,5 0	15,90	Sambo (1998) Canadá*
Rottne EGS85	Raleo <i>P negro</i>	0-19		23,6	24,00	
Rottne EGS85	Raleo <i>P negro</i>	0-19		17,5	6,50	
Timberjack 1270 D	<i>E. saligna</i>	0-10	0.58	10-31	28.58	Wagner (2006) Uruguay
Bell TH 120	<i>E. viminalis</i>	0-10	0.15		3.9	Castroman (2002) Uruguay
John Deere 1270 D	<i>E. grandis</i>	0-16	0.2	16	28 sc	Burla (2008) Brasil
Caterpillar CAT 320 Short Tail	<i>P. taeda</i>	47	0.49		33.9	Da Silva et al(2006) Brasil
Timberjack 1270	Cosecha final pino		1,16		53,20	Malinovski* (1997)Brasil
Escavadra JS200LC	<i>E. grandis</i>	5-10	1,08	33	26,53	Cusano et al(2009) Uruguay
Caterpillar 3066	<i>E. grandis</i>		0,38	20,5	25,8	Tarnowski (1999) Brasil

Fuente: elaboración propia

*citado por Parra y Carey (2000)

3. MATERIALES Y METODOS

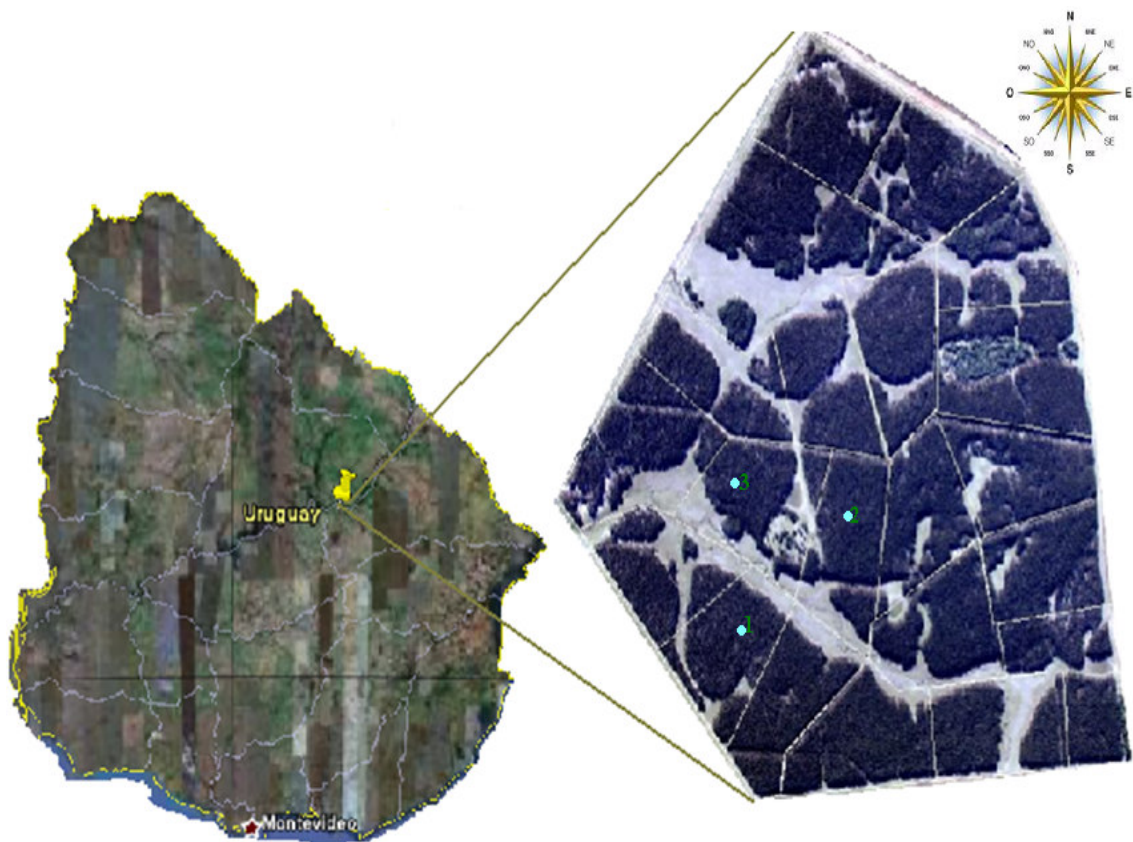
3.1 CARACTERISTICAS DEL AREA BAJO ESTUDIO

3.1.1 Ubicación

El trabajo de campo se realizó en el mes de mayo del año 2009, en la localidad de Tierras Cloradas próximo al pueblo de Arévalo departamento de Cerro Largo. Se localiza en las siguientes coordenadas geográficas:

- Longitud E /O 55°12' 7''
- Latitud N/ S 32°30'42''

Ilustración 1. Ubicación de los rodales estudiados



3.1.2 Caracterización del rodal

El estudio se llevó a cabo en una población coetánea de la especie *Eucalyptus maidenii* de primer corte, con 10 años de edad, teniendo como destino la fabricación de celulosa.

El inventario fue realizado en el total del área estudiada, encontrándose al momento de la cosecha una densidad promedio de 960 árboles por hectárea, marco de plantación de 2 x 4.5 m, área basal promedio de 29 m² ha⁻¹, altura media de 15,72 m con un IMA de 18,4 m³ sc ha⁻¹.

El estado sanitario del rodal era bueno, así como la conformación de los árboles, los cuales presentaban en su mayoría excelente conformación.

3.1.3 Geología

El estudio se ubica sobre la formación Tres Islas en concordancia sobre la Formación San Gregorio con pasaje gradacional, o sobre el Basamento Cristalino en discordancia erosiva (Sierra de los Ríos).

3.1.4 Suelos

El relieve es de colinas sedimentarias algo rocosas con pendientes entre 1 a 7 %, presentando como suelos dominantes Luvisoles Umbricos u Ocricos, profundos, de color pardo oscuro, textura franco arenosa, bien drenados y Acrisoles Umbricos u Ocricos profundos de color pardo rojizo oscuro, textura franco arcillo arenosa, bien drenados.

3.1.5 Clima

La temperatura media anual para el departamento de Cerro Largo se sitúa entre los 16° y 18° Celsius, muy similar a la media anual para todo el país cuya característica general es de clima templado y de vientos moderados. Durante el verano las temperaturas ascienden a los 25°-30°, llegándose en los días más cálidos a guarismos máximos del orden de los 40°.

En el invierno la temperatura media se ubica en el entorno de los 10°, registrándose temperaturas extremas de 0° en algunos días en los meses de julio y agosto. Las precipitaciones medias están estimadas en el entorno de los 1.000 a 1.200 mm por año (URUGUAY. MDN. DNM, s. f.)

3.2 EQUIPOS

3.2.1 Instrumentos

Los materiales utilizados en las etapas de pre-campo, de campo y post-campo fueron los siguientes:

- Forcípula común: medición de los diámetros a la altura del pecho aprox 1,30m.
- Plano de plantación del predio escala 1:8000
- Carta 1:1.000.000
- Fotografías Satelitales
- Cinta métrica: utilizada para medir las parcelas, largo de los árboles apeados así como medir la distancia al árbol para medir la altura.
- Regla común y escuadra: permitió hacer mediciones de diámetros de los árboles apeados en la determinación de los factores de forma.
- Cámara fotográfica.
- Relascopio de Bitterlich: utilizado para la medición de altura total de los árboles en todos los métodos de muestreo así como para medir el área basal en el muestreo Bitterlich.
- GPS: Se lo utilizó para georreferenciar las parcelas.
- Cronómetros digitales.

3.2.2 Características del harvester

El harvester PROSILVA con cabezal KESLA utilizado para el procesamiento de madera es una maquina diseñada en Finlandia para la cosecha de madera Ver Cuadro 4 así como Ilustración 2 y 3.

Con una grúa como brazo articulado presenta un alcance de 7.5 a 11m permitiendo faenas de raleo y tala rasa a turno final.

Su bajo centro de gravedad y neumáticos de gran tamaño le ofrecen excelente tracción y potencia para desempeñarse en terrenos exigentes.

Cuadro 4. Características técnicas del harvester

Características dimensionales y potenciales			
Marca	Modelo	Año Fabricación	Potencia Nominal (Kw)
PROSILVA	910	2007	151 KW/ 743 Nm
Motor Deutz	BF6M2012C 6 cilindros, turbo intercooler	2007	Alternador 100 A
Longitud (mm)	Ancho(mm)	Altura (mm)	Altura libre sobre suelo(mm)
5700	2950	3540	700
Rodado	Peso (Kg.)	Alcance de grúa (m)	Fuerza de Levantamiento (kNm)
700/70 x 34 estándar	13000	9 m	147-175
Fuerza de giro (kNm)	Radio de giro(m)	Sistema hidráulico	
40	5	Caudal	Max. presión de trabajo
		190 l/min a 1000 rpm	30 Mpa

Fuente: adaptado de PROSILVA (2009)

Ilustración 2. "harvester" PROSILVA, modelo 910 con cabezal Kesla.



Ilustración 3. "harvester" PROSILVA, modelo 910 con cabezal Kesla



3.2.3 Cabezal

El cabezal del harvester en estudio es de la marca Kesla de origen Finlandés modelo 30 RH, con la capacidad de procesar árboles con diámetros promedios de 50 cm, tenido una capacidad máxima de abertura de 68 cm. El desplazamiento del árbol se da por medio de tres rodillos sincronizados que permite un rápido procesamiento del árbol. El cuadro 5 muestra los datos técnicos del cabezal y la ilustración 4 muestra el cabezal con el cual se trabajó.

Cuadro 5. Características técnicas del cabezal cosechador

Característica	
Ancho con garras abiertas	1695 mm
Ancho con garras cerradas	1130 mm
Longitud	1690 mm
Altura (sin rotador)	1610 mm
Peso (sin rotador)	1400 kg
Sierra	
Diámetro de corte máximo	670 (750) mm
Longitud de la espada	25 (28) pulgadas
Desplazamiento del motor	30 cc
Alimentación	3 rodillos sincronizados
Abertura máxima de los rodillos	680 mm
Fuerza de alimentación	30 kN
Velocidad de alimentación max	4 m/ s
Desramado	
Numero de cuchillas	4 móviles, 1 fija
Diámetro de corte (entre filos opuestos)	480 mm
Abertura máxima de cuchillas frontales	720 mm
Abertura máxima de cuchillas posteriores	760 mm
Sistema hidráulico	
Presión	230-250 mm
Presión caudal requerido	250- 300 l min ⁻¹
Potencia requerida	120-150 l kW ⁻¹

Fuente: adaptado de KESLA (2009)

Ilustración 4. Vista frontal del cabezal KESLA utilizado



3.3 SISTEMA DE TRABAJO DEL HARVESTER

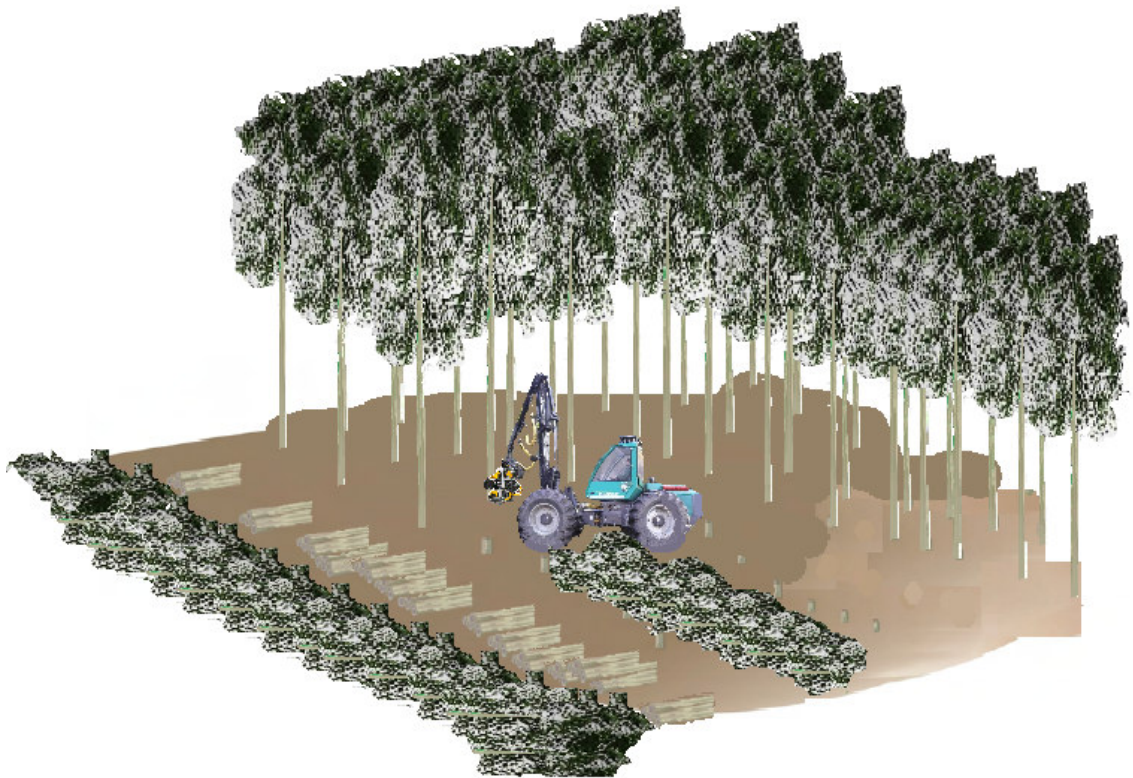
El harvester en estudio presenta aproximadamente 5000 horas de trabajo. Es operado en tres turnos de 8 horas, presentando un tiempo de trabajo productivo actual de $17.5 \text{ horas día}^{-1}$, correspondiente a 72.9%.

El cabezal cosechador presentaba las mismas horas de uso que la máquina base ya que el mismo fue armado en su conjunto en origen en la fábrica de ProSilva.

Los operarios fueron capacitados en su inicio con 200 horas de instrucción aproximadamente y al momento de la realización del estudio presentaban en el orden de las 8500 horas de máquina.

El sistema de cosecha utilizado es de troza larga, cuya secuencia de avance se detalla en la Ilustración 5. La secuencia de trabajo consistió en posicionamiento del cabezal y agarre del árbol, apeo y direccionamiento, desrame, descortezado y trozado a medida del fuste.

Ilustración 6. Posicionamiento del harvester y sistema de cosecha



Fuente: elaboración propia

El largo de las trozas cortadas fue de 7,2 m más los largos variable, los cuales fueron mayores a 3,5 metros, procesando hasta diámetros mínimos de 5 cm. El sistema de descortezado fue de 100% descortezada la base la cual iba hasta 1,5 m, admitiéndose hasta un 10 % de corteza en el resto del árbol.

La madera que se procesa se depositaba a la izquierda o derecha según el sentido de trabajo en pequeñas gavillas, quedando las ramas debajo de la maquina, amortiguando estas la compactación en el suelo.

3.4 ESTIMACIÓN DE VOLUMEN

3.4.1 Unidad muestral

La estimación de volumen en poblaciones forestales extensas y de difícil acceso se basa en la medición de una pequeña muestra de árboles seleccionados de modo que representen a toda la población. Por razones de eficiencia operativa, los árboles no se seleccionan individualmente, sino en grupos, llamados unidades muestrales o parcelas. El conjunto de las unidades de muestreo determina el tamaño de la muestra (Sorrentino, 1997)

A pesar de que una muestra no define exactamente a una población original, permite hacer inferencias estadísticas sobre ella (Sorrentino, 1997).

3.4.2 Tamaño de la muestra

El tamaño de muestra depende fundamentalmente de la calidad requerida del trabajo (error máximo admisible) y de las características de las poblaciones forestales, como ser densidad de individuos al momento de la evaluación, homogeneidad en diámetros a la altura del pecho y volúmenes individuales (Sorrentino, 1997).

El tamaño de muestra se obtiene de la fórmula del error muestral:

$$n = \frac{(t^2 \times CV^2)}{E^2}$$

Donde:

n = número de unidades de muestreo a medir

t = variable tabular de Student (coeficiente de seguridad o confianza)

CV = coeficiente de variación

E = error de muestreo admisible

Para calcular el número de muestras se tomó el antecedente de inventario proporcionado por la empresa Forestal Oriental, donde se realizaron 31 parcelas, con un CV de 0.1825, error actual 6.7 % y error prefijado 10%. El número mínimo de muestras que se calculó fue de 20, llegándose en el campo a un total de 25 muestras obtenidas.

3.4.3 Métodos de muestreo

La selección de unidades de muestreo fue al azar, cumpliendo con la condición de que todas las unidades posibles deben tener una probabilidad uniforme de ser seleccionadas. Con esto se buscó realizar estimaciones insesgadas de manera tal de obtener valores promedios de la población con sus respectivos errores de muestreo.

Se trabajó en tres rodales buscando con esto contemplar las diferentes variaciones que pudieran existir en cuanto a volúmenes, rectitud del fuste, distancia entre plantas, sanidad, cantidad de ramas, porcentaje de corteza, los cuales pudieran incidir en los tiempos de faena por parte de la cosechadora. La ubicación de los rodales son representados en la figura 1. La sumatoria del área estudiada es de 172 has.

El sorteo de las parcelas se realizó una vez delimitada el área de cada rodal así como su ubicación. Posterior a esto se fraccionó cada rodal con el total de parcelas que entraban dentro de este, contemplando dejar una distancia prudencial desde el perímetro de cada rodal para evitar el efecto borde que sobrevaloraría los rendimientos del monte. Se muestreó un total de 25 parcelas las cuales fueron distribuidas en 8 para dos rodales y 9 para el tercer rodal.

3.4.4 Forma y tamaño de las parcelas

La correcta elección del tamaño de parcelas condiciona el éxito del inventario. Parcelas demasiado pequeñas atentan contra la validez del resultado y parcelas demasiado grandes dificultan la operatividad de la medición e impiden una eficiente distribución de las muestras.

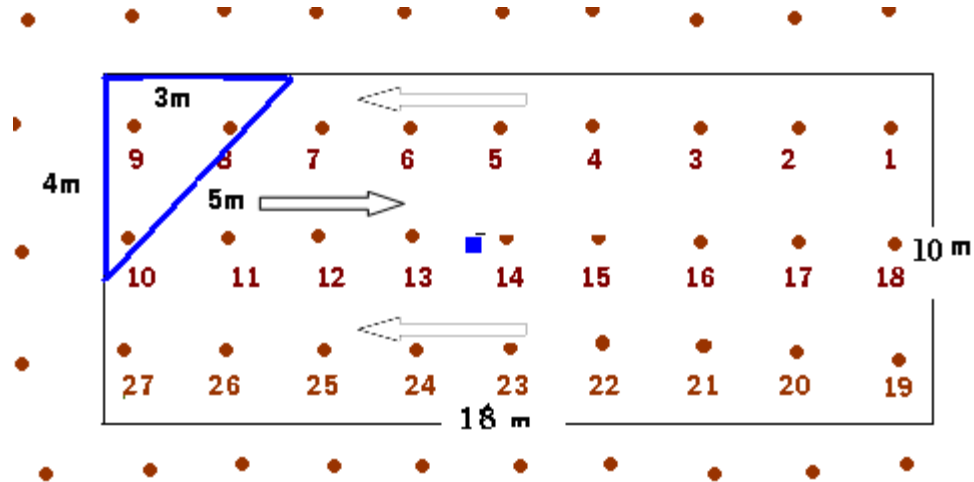
Como criterio se determinó que cada unidad muestral debe tener entre 20 y 30 árboles, aunque en ciertos casos se podría admitir un número menor, entre 10 y 20 árboles (Sorrentino, 1997).

Al tratarse de una plantación ordenada se utilizan parcelas rectangulares, ya que facilitó su replanteo en el terreno, así como facilidad de ubicación de los árboles, teniendo esto como desventaja la menor relación superficie/perímetro.

3.4.5 Medición del área en parcelas

Luego de la ubicación de las parcelas se procedió a la marcación de las mismas mediante el método tres-cuatro-cinco, el cual permite obtener ángulos rectos de forma relativamente rápida formando un rectángulo, utilizando la misma metodología en todas las parcelas donde las flechas indican el sentido de numeración y marcación. Se utilizaron parcelas rectangulares de 180 m². (Ver Ilustración 7).

Ilustración 7. Metodología de numeración y marcación de las parcelas.



Fuente: elaboración propia

Previo a comenzar las mediciones se numeraron los árboles según el sentido que indica la figura. Posteriormente se procedió a la medición de los *DAP* de todos los árboles dentro de la parcela, realizando una única medida salvo en casos de árboles muy elípticos donde se realizaron dos medidas perpendiculares con forcípula.

3.4.6 Cálculo de volumen

Si bien el sistema informático del harvester presenta un sistema computarizado de medición integrado que puede estimar el volumen cosechado este no fue considerado para evitar incurrir en errores.

La estimación de volúmenes de árboles enteros se realizó a través de un censo con mediciones de árboles en pie, o a partir de medidas sobre los árboles, utilizando la fórmula básica de Smalian.

Para el cálculo de volumen en pie se utilizo la fórmula:

$$\text{Vol en pie: } AB \times h \times FF$$

Fuente: Sorrentino (1997)

Donde:

h: altura comercial.

FF: factor de forma según clase de DAP

AB: área basal

3.4.7 Medición de árboles

El diámetro a la altura del pecho (DAP) corresponde al diámetro a 1.30 m del nivel del suelo, excepto en situaciones de fustes torcidos, bifurcados, con anomalías, inclinados, terrenos con pendiente.

La medición de diámetros es la operación más sencilla de la mensura forestal, pero no por ello debe descuidarse, ya que si la medición tiene un determinado error, el correspondiente error en el área basal es el cuadrado, debido a la fórmula de cálculo de dicha área:

$$AB = (\pi / 4) \times DAP^2$$

Fuente: Sorrentino (1997)

AB =Área Basal

DAP=Diámetro a la altura del pecho

La altura total del árbol se define desde el suelo hasta el tope o copa, como en largos útiles de diferentes secciones, teniendo en cuenta además, que con el aprovechamiento integral del árbol esto determina que no pueda definirse una altura comercial única, sino largos comerciales hasta determinados diámetros críticos, desde la base utilizable hasta el mínimo diámetro crítico del fuste comercial, teniendo en cuenta además el aspecto de conformación o rectitud del mismo (Sorrentino, 1997).

3.4.8 Obtención del factor de forma

El factor de forma (FF) es un factor de reducción, del volumen de un cilindro al volumen real del árbol. En un rodal, la relación entre la altura de los árboles y el factor de forma es más estrecha que con el diámetro, o sea que si se deja constante el diámetro y se aumenta la altura se afecta de manera más significativa al FF (Sorrentino, 1997).

La corteza en la mayoría de los casos es un desecho no aprovechable, por lo que debe descontarse en el cálculo de volumen neto de árboles y trozas (Sorrentino, 1997).

Los árboles que se eligieron para el FF si bien fueron buscados como marca de clase, también se consideró que fueran representativos de los rodales. Previo al apeo del árbol se procedió a la numeración del mismo y se midió el DAP. Posterior al apeo se lo trozo cada 1 m y se midió la cara superior de cada troza el diámetro con corteza (cc) y sin corteza (sc).

Una vez realizada la marcación del árbol se apea el mismo dejando un tocón de 10 cm y se registra largo total. Se obtuvieron trozas de un metro de largo a las cuales se les midió el diámetro con corteza así como sin corteza en cada una de las caras de la troza hasta la altura comercial. En esta etapa, se anotaron los números y diámetros en planillas elaboradas para tal fin.

El factor de forma utilizado es el comercial, ya que la altura corresponde a aquella en la que se encuentra el diámetro menor de procesamiento, el cual fue de 5 cm.

Formula de factor de forma:

$$FF = \frac{\text{Volumen Real}}{\text{Volumen Aparente}}$$

Fuente: Sorrentino (1997)

El volumen real se calculó mediante la formula de Smalian:

$$V_o \text{ real: } \pi / 8 * (Dm^2 + DM^2 + \Sigma Di^2) * l$$

Fuente: Sorrentino (1997)

Dm : Diámetro menor

DM : Diámetro mayor

Di : Diámetros intermedios

l: Largo de troza

El volumen aparente se calcula como:

$$\text{Vol aparente: } \pi / 4 * DAP^2 * Hc$$

Fuente: Sorrentino (1997)

DAP: diámetro a la altura del pecho

Hc: altura comercial

3.5 EVALUACIÓN OPERACIONAL

3.5.1 Estudio de tiempos productivo y movimientos

Se buscó básicamente analizar el proceso de producción en detalle, con el fin de una mejora en la eficiencia a través de la optimización del personal y maquinaria. Los propósitos de hacer este estudio de trabajo se basaron en generar nuevos y mejores métodos para llevar a cabo una tarea, desarrollar los métodos ya existentes, obtener información y conocimiento sobre el consumo de tiempo para mejorar las condiciones de trabajo. Con esto se pretende determinar el tiempo que un operario requiere para llevar a cabo un trabajo determinado.

El tiempo de trabajo productivo se dividió en subprocesos encontrando las siguientes actividades:

- 1 Avance: es el desplazamiento de la maquina autopropulsada que tiene tracción en las cuatro ruedas. Esto posibilita el desplazamiento del equipo y avance hasta el árbol que luego será procesado.
- 2 Posicionamiento del cabezal: es el momento en que la grúa se extiende y el cabezal toma contacto con el árbol con sus cuchillas superiores e inferiores abiertas. Luego cierra sus cuchillas para posteriormente realizar el apeo.
- 3 Apeo: esta operación consiste en separar el árbol de su pie, eligiendo previamente la dirección de caída. Con el cabezal vertical y abrazando el árbol, acciona la sierra para cortar el árbol. Los cortes realizados son inferiores a los 10cm. La operación finaliza al caer el árbol y tocar el suelo con su copa.
- 4 Descortezado: consiste en separar la corteza del fuste una vez apeado el árbol, los rodillos helicoidales junto a las cuchillas separan la corteza de la madera fustal en sentido horizontal hacia uno y otro lado.
- 5 Trozado: es el momento en que la sierra es accionada con el cabezal en posición horizontal para realizar el corte a la medida deseada. El cabezal

recorre el fuste hasta el punto a trozar dejando la madera apilada engavillada.

Ilustración 8. Muestra el harvester en el proceso de posicionamiento así como el apilado de maderas y parcela de muestreo.



3.5.2 Métodos y tiempos de trabajo empleados

Para realizar el estudio de tiempos y movimientos se procedió siguiendo una metodología pre elaborada de la siguiente forma.

- a. Definición de las secciones del proceso de cosecha
- b. Colecta de información a campo en las parcelas a cosechar mediante un muestreo al azar.
- c. Captura y procesamiento de información.
- d. Obtención y análisis de resultados.

En el presente estudio se optó por utilizar el método de muestreo que consiste en hacer observaciones sistemáticas a través del tiempo multimomento, así como continuas de la parcela, anotando el tipo de movimiento que está llevando a cabo en ese preciso instante.

➤ TIEMPO CONTINUO

Se contabilizó el tiempo continuo de procesamiento de cada parcela teniendo como tiempo de inicio el posicionamiento del cabezal en el primer árbol y como finalización el corte y apilado de la última troza de la parcela.

➤ TIEMPO MULTIMOMENTO

Este método de estudio tiene la finalidad de registrar el tiempo generado por cada actividad. Se programó un cronómetro el cual emitía un sonido cada 12 segundos dándose inicio de la contabilización de dicho tiempo cuando el cabezal se posicionaba en el primer árbol de la parcela y terminaba cuando se procesaba la última troza del último árbol de la parcela.

3.6 RENDIMIENTO

Para calcular los rendimientos operacionales se utilizó una estimación de los metros cúbicos producidos por hora de tiempo trabajado.

$$Rh = \frac{3600 * V_{\text{parcela}}}{t_{\text{trabajo}}}$$

Fuente: elaboración propia

Rh = Rendimiento expresado en metros cúbicos por hora total de trabajo ($m^3 h^{-1}$)
V = Volumen unitario de la parcela en (m^3).
t = Tiempo total de trabajo en (segundos).

3.7 PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez capturada la información, se procedió a obtener:

- · Tiempos de trabajo productivos del proceso.
- · Volumen medio de los rodales.
- · Rendimiento en $m^3 \text{ hora}^{-1}$.
- · Porcentaje del tiempo de trabajo principal y complementario.

3.8 ANALISIS ESTADISTICO

En el proceso de análisis de datos se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System) realizando:

- 1) Análisis univariado descriptivo con variables de interés para estimar la media poblacional así como los errores estándar de las medias.
- 2) Ajuste mediante regresión lineal de rendimiento y variables con el siguiente modelo lineal:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon_i$$

Y_i = Variable aleatoria observable. Rendimiento $m^3\text{hora}^{-1}$.

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

X = Numero de árboles

ϵ_i = Variable aleatoria no observable. Error muestral.

- 3) Se realizó una prueba de Chi cuadrado para determinar la interdependencia asociada al tiempo de trabajo productivo y el operario ajustando el valor esperado por el número de medidas totales que presentó cada operario.
- 4) Se ajustó un modelo de regresión no lineal entre cada una de las variables del tiempo de trabajo productivo. Para esto se realizó una regresión logística normal asumiendo una distribución binomial de las variables aleatorias (para la variable aleatoria apeo se le asignó un 1 si está en apeo o cero cuando no está) debido a que no tiene una distribución normal.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se utilizó un tamaño de muestra de 25 parcelas para obtener una precisión mayor al 95 % de confianza. Censando un total de 528 árboles.

Se obtuvo un rendimiento promedio en el procesamiento de los árboles de $22,8 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ de trabajo efectivo, con un mínimo absoluto de 19,1 y un máximo absoluto de $27,7 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas de tiempos y rendimientos de las parcelas analizadas

Variable	Media	Error estándar de la media	Límite inferior del IC(95%)	Límite superior del IC(95%)	Mín	Máx
Numero de árboles	21,1	0,5	20,0	22,2	17,0	28,0
Volumen parcela ⁻¹ (m ³)	5,4	0,1	5,2	5,7	3,8	6,6
Volumen promedio árbol ⁻¹ (m ³)	0,26	0,0	0,2	0,3	0,18	0,37
DAP (cm)	18,6	0,3	18,1	19,2	15,9	22,1
Tiempo de cosecha por parcela (seg)	859,2	20,7	816,4	902,0	672,0	1092,0
Rendimiento (sc) m ³ hora ⁻¹	22,8	0,5	21,8	23,8	19,1	27,7

Fuente: elaboración propia

En función del tiempo medio de cada parcela y la densidad promedio del rodal analizado, el harvester procesó un árbol cada 40 segundos.

El rendimiento estimado, corresponde a procesar alrededor de 87 árboles hora⁻¹, con un volumen promedio por árbol de 0,26 m³ (sc). Si consideramos 17,5 horas efectivas diarias, produce alrededor de 399 m³ por día.

Los resultados obtenidos en rendimiento coinciden con la bibliografía consultada según Wagner (2006), Burla (2008). Cabe resaltar que muchas veces la bibliografía consultada no dispone de información suficiente del medio donde se realizó el estudio, no permitiendo realizar un análisis comparativo.

Comparando con Wagner (2006), Cusano et al. (2009) los cuales obtuvieron rendimientos mayores de 28,58 sc y 26,53 m³ hora⁻¹ respectivamente. Se concluye que el factor determinante en el rendimiento de la cosechadora es el mayor volumen individual (0,58 y 1,08 m³).

Otro factor que incide es el tipo de especie ya que *E. grandis* y *E. saligna* presentan más facilidad en el procesado dado por menor persistencia de corteza y menor ramosidad.

Cuadro 7. Resultado de la regresión lineal simple en función del tiempo por operario.

	Operario 1		Operario 2	
Numero de árboles	12,51	NS	22,98	**
Volumen por parcela (m ³)	80,08	NS	103,25	**
Volumen promedio árbol ⁻¹ (m ³)	1234,01	NS	-526,59	NS
DAP (cm)	65,88	NS	-15,43	NS

(**)Significativo (p=0.05), (ns) No significativo

Analizando el rendimiento de los operarios, cuando se considera el DAP así como el volumen por parcela con relación al tiempo, no se aprecian diferencias significativas. Si se considera el número de árboles al igual que el volumen por parcela, el operario 2 presenta respuesta, existiendo un aumento del tiempo de

procesamiento cuando se incrementan las variables antes mencionadas, no así el operario 1.

Lo antes mencionado puede estar explicado por que el operario 1 presenta una mejor adaptabilidad en rodales donde la densidad promedio y el volumen aumentan. Esto hace a un nuevo concepto en la cosecha mecanizada que es el de “operador moldeable” el cual presenta una mejor adaptabilidad a las diferentes variables del rodal.

Una mayor densidad en el rodal implica árboles con volúmenes menores por ende determina un menor rendimiento en la cosechadora por unidad de tiempo.

Cuadro 8. Resultado de regresión lineal simple en función del rendimiento por operario.

	Operario 1		Operario 2	
Numero de árboles	0,1425	NS	-0,282	NS
Volumen por parcela (m ³)	2,05	NS	1,482	NS
Volumen promedio árbol ⁻¹ (m ³)	37,5	NS	42,81	**
DAP (cm)	0,131	NS	1,018	**

(**)Significativo (p=0.05), (ns) No significativo

Para las variables número de árboles y volumen por parcela con respecto al rendimiento, no hubo respuesta para los dos operarios. Si se analiza el volumen árbol⁻¹ así como el DAP, el operario 2 tuvo una respuesta significativa cuando estos aumentaron, generando un mayor rendimiento.

Cuando analizamos los cuadros 7 y 8 podemos ver que el operario 2 cuando se enfrenta a mayores volúmenes por árboles y diámetros, obtiene mejores rendimientos, en cambio cuando aumenta el número de árboles así como el

volumen por parcela, el tiempo de este se ve afectado. En cambio el operario 1 se comporta igual ratificando para este, el concepto de operador moldeable.

Cuadro 9. Resultado del modelo de regresión no lineal entre diámetro y cada una de las tareas.

Tarea	Estimador ⁽¹⁾	Prob	
Apeo	-.21,37 (24,23*)	0,386	NS
Descortezado	.13,17 (6,5*)	0,054	**
Trozado	-.20 (23,54*)	0,404	NS
Avance	.1,247 (082*)	0,141	NS
Apilado	-0,28 (1,8E+0,9*)	1,000	NS
Posicionamiento	-.8,92 (4,49*)	0,059	**

⁽¹⁾ Estimador parámetro de regresión y su error estándar (1/β). *error estándar.

Cuando se analiza el diámetro en función de cada una de las tareas del procesamiento, se encuentran diferencias significativas en el descortezado ($p= 0,036$) así como en el posicionamiento ($p=0,059$). Las otras tareas como ser apeo, trozado, avance y apilado no se vieron afectadas por el diámetro de los árboles (ver Cuadro 9).

Analizando estadísticamente los resultados permitió determinar que un incremento en el diámetro afecta el descortezado, esto se explica ya que cuando se incrementa el diámetro de los árboles el cabezal cosechador necesita mas fuerza de tracción en los rodillos para ejecutar la tarea, generando una menor velocidad de desplazamiento sobre el fuste del árbol (Cuadro 9).

El diámetro afecta el posicionamiento dado que se demora mas en encontrar los árboles de menor diámetro y el cabezal demora más tiempo en cerrar las cuchillas. Otro factor que puede incidir en esto es que árboles de menor diámetro generalmente se asocian con anomalías en el crecimiento como ser tortuosidad, bifurcaciones, torcedura basal etc.

En los diámetros por árbol analizados no se vieron afectadas las tareas (apeo, trozado, avance y apilado), en valores por árboles extremos es de esperar diferencias significativas.

Cuadro 10. Resultado del modelo de regresión no lineal entre número de árboles y cada una de las tareas en tiempo multimomento.

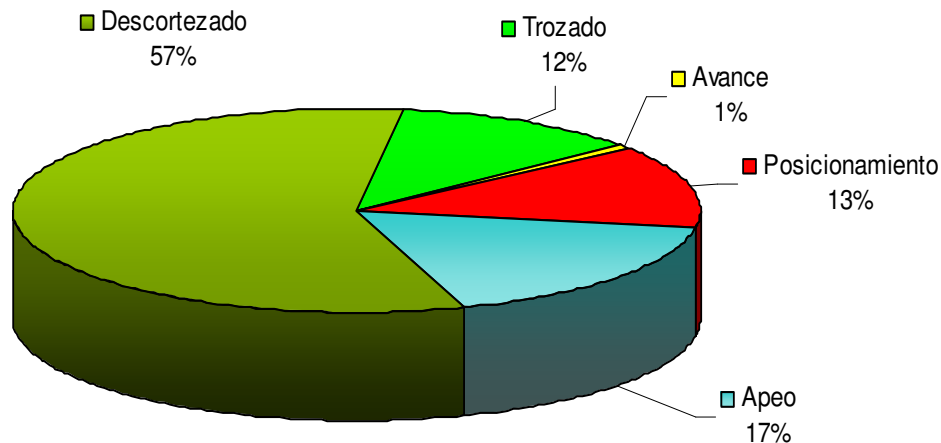
Tarea	Estimador ⁽¹⁾	Probabilidad	
Apeo	-221,9 (1194,88*)	0,854	NS
Descortezado	24 (10,79*)	0,036	**
Trozado	-480 (5733,92*)	0,934	NS
Avance	11,1 (31,74*)	0,730	NS
Apilado	-0,4 (1,3E+0,7*)	1,000	NS
Posicionamiento	-51,6 (64,63*)	0,432	NS

⁽¹⁾ Estimador parámetro de regresión y su error estándar ($1/\beta$). *error estándar

Cuando se analiza el número de árboles en función de las diferentes tareas del procesamiento solo existen diferencias significativas ($p=0,036$) en el descortezado no encontrándose diferencias significativas para las demás tareas.

Esto puede estar explicado ya que a un mayor número de árboles mayor proporción del tiempo en descortezado, pudiendo deberse esto a funciones propias del comportamiento fisiológico de los árboles los cuales tienden a incrementar su porcentaje de corteza cuando se encuentran agrupados en relación a cuando están en una menor densidad.

Ilustración 9. Distribución porcentual del tiempo de trabajo productivo en función de cada tarea.

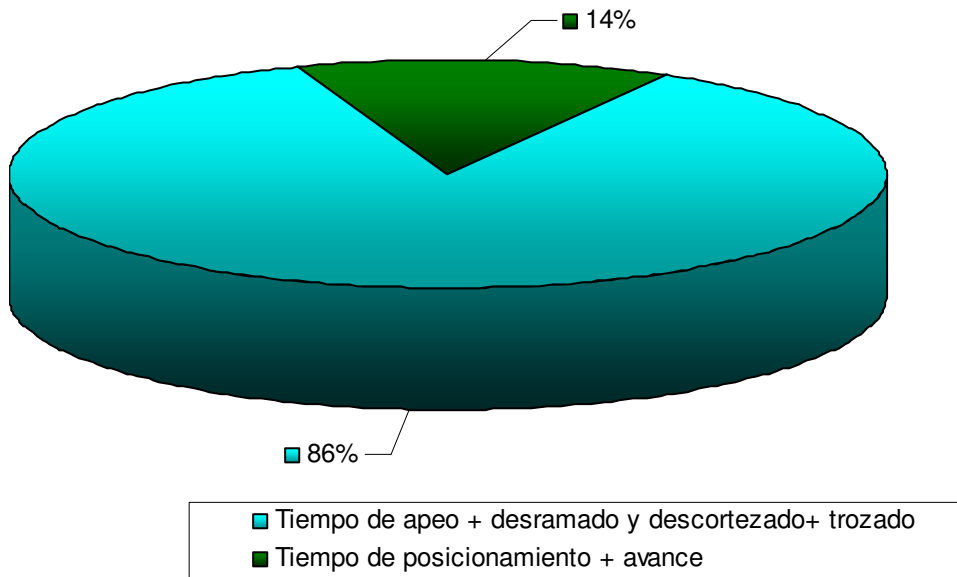


Dentro de las actividades que comprendieron el tiempo productivo, el descortezado fue la actividad que consumió el mayor tiempo con 34,2 minutos de cada hora de trabajo (57%), mientras que en el apeo se requirió 10,2 minutos (17%), trozado 7,2 minutos (12%), posicionamiento del cabezal 7,8 minutos (13%) y desplazamiento para buscar los árboles por derribar fue del orden de los 0,6 minutos por cada hora de trabajo (1%) (Ilustración 9).

De la descomposición de las fases de tiempo como se vio anteriormente la mayor parte la lleva el descortezado, pudiendo estar explicado por las dificultades que presenta la cosecha mecanizada en *E. maidenii*, debido a problemas de ramosidad en el fuste así como la persistencia de la corteza.

Cuando se analiza la bibliografía, los resultados coinciden en gran parte con los resultados obtenidos, señalando que la mayor parte del tiempo de trabajo principal es utilizado en el descortezado, difiriendo para las otras tareas (ver cuadro 1). Esto puede estar explicado por la maniobrabilidad de cada operario y el tipo de cabezal utilizado así como la especie.

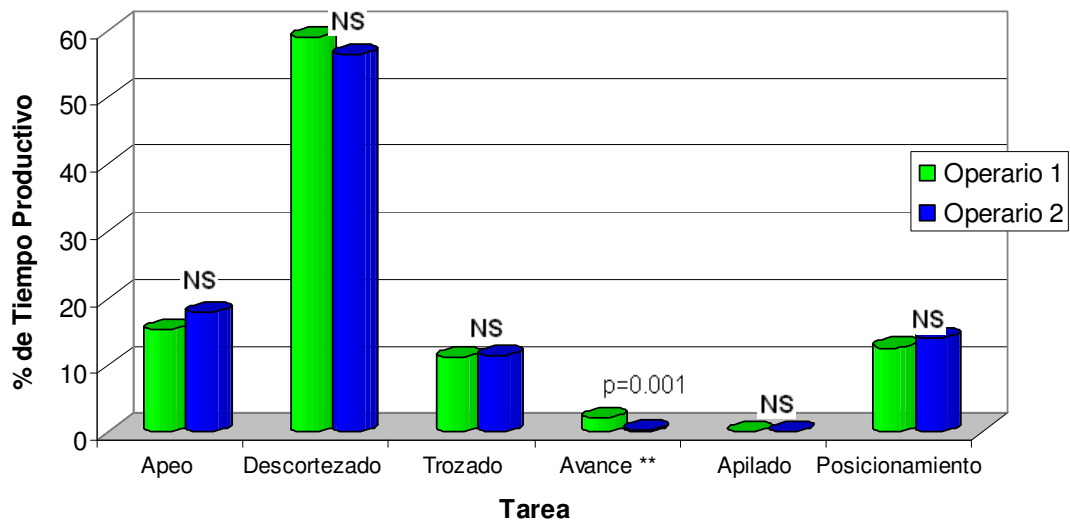
Ilustración 10. Distribución porcentual del tiempo de trabajo productivo.



La distribución del tiempo por hora de trabajo productivo fue de 51,6 minutos (86 %) el cual considera el tiempo dedicado al apeo con direccionamiento, desramado, descortezado y trozado; mientras que el avance y posicionamiento ocupó 8,4 minutos por hora de trabajo (14 %) del harvester (Ilustración 10).

Los resultados obtenidos (ilustración 10), permiten comparar con otros sistemas de cosecha, como ser la utilización del harvester en borde de camino procesando madera apilada, donde los rendimientos esperados pueden llegar a $26 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ de trabajo productivo.

Ilustración 11. Tiempo porcentual de trabajo productivo en función del operario



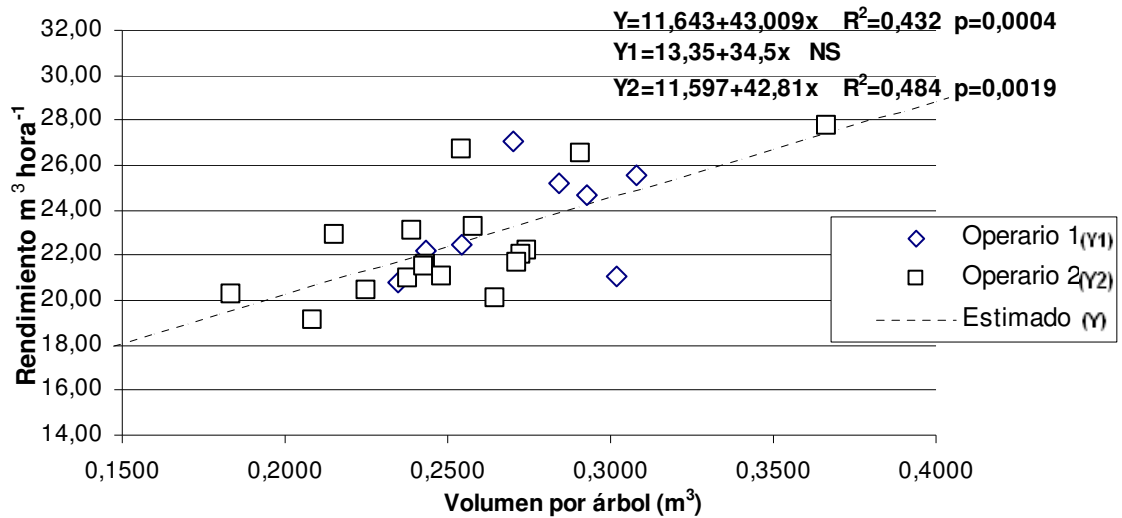
Considerando las fases de trabajo productivo solo existen diferencias significativas ($p=0,001$) entre operadores en la etapa de avance, donde el operario 1 presenta un mayor tiempo de avance con respecto al operario 2. Las demás tareas como ser, descortezado, trozado, apilado y posicionamiento no se encontraron diferencias significativas.

Parte del tiempo de apilado por los operadores no es cuantificable ya que estos tienen la capacidad de trozar y formar pilas que no requieren un arreglo posterior.

Una ventaja comparativa de este harvester es que al mismo tiempo tiene la capacidad procesar y desplazarse. Esto resulta de la diferencia significativa entre operadores en la fase de avance de la maquina. Es de esperar que el rendimiento del harvester aumente si el operador logra aprovechar dicha ventaja comparativa de procesar con la maquina en movimiento.

Este sistema de análisis multimomento combinado con un análisis estadístico pormenorizado como el actual, demuestran la ventaja que tiene esta metodología, la cual puede ser aplicada a cualquier sistema mecanizado permitiendo detectar donde se encuentran los problemas que afectan los rendimientos de los operarios.

Ilustración 12. Rendimiento $\text{m}^3 \text{ hora}^{-1}$ del harvester en función del volumen



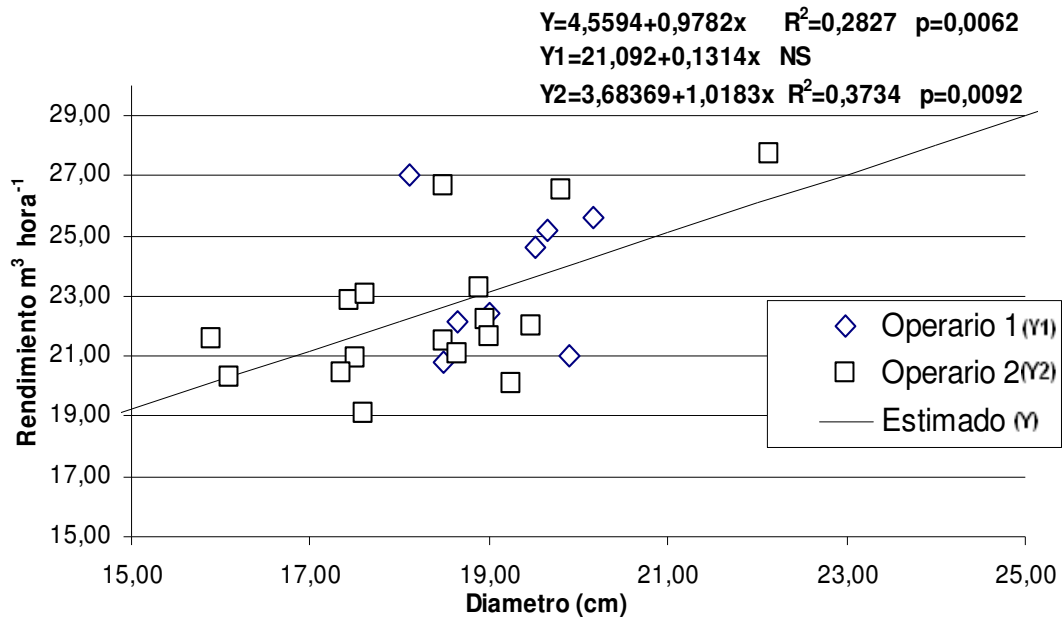
El rendimiento se incrementa directamente proporcional al volumen por árbol, dentro del rango analizado siendo significativo ($p=0.0004$) para (Y) e (Y2) con ($p=0.0019$), El parámetro de regresión no es significativamente mayor a cero ($p>0,05$) para el operario 1.

Se considera que para el operario 1(Y1) los datos analizados no fueron significativos.

Se determina que a medida que el volumen por árbol aumenta, la productividad del harvester medido en metros cúbicos por hora también lo hace.

Se espera un incremento decreciente a partir de volúmenes por árboles superiores donde el peso del árbol dificulte el manejo del cabezal. Esto se explica por el mayor peso ejercido por los árboles y la menor movilidad del cabezal lo que determina un menor rendimiento de madera procesada.

Ilustración 13. Rendimiento del harvester en $\text{m}^3 \text{ hora}^{-1}$ en función del diámetro.

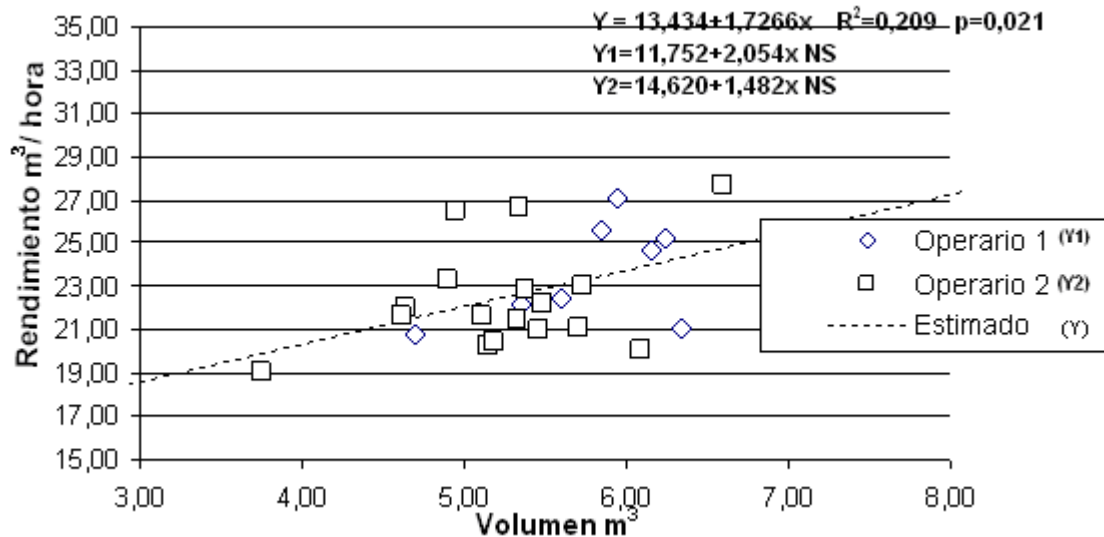


El rendimiento se incrementa directamente proporcional al diámetro por árbol, dentro del rango analizado siendo significativo ($p=0,0062$) para (Y) e (Y2) con ($p=0,0092$), El parámetro de regresión no es significativamente mayor a cero ($p>0,05$) para el operario 1.

En la ilustración 13 se aprecia que para árboles de diámetros mayores los rendimientos aumentan considerablemente, a medida que aumenta el diámetro por árbol.

En función de lo verificado a campo podemos indicar que el tamaño del cabezal procesador se encuentra dentro del rango óptimo definido por el fabricante ($0,3 \text{ m}^3 \text{ árbol}^{-1}$).

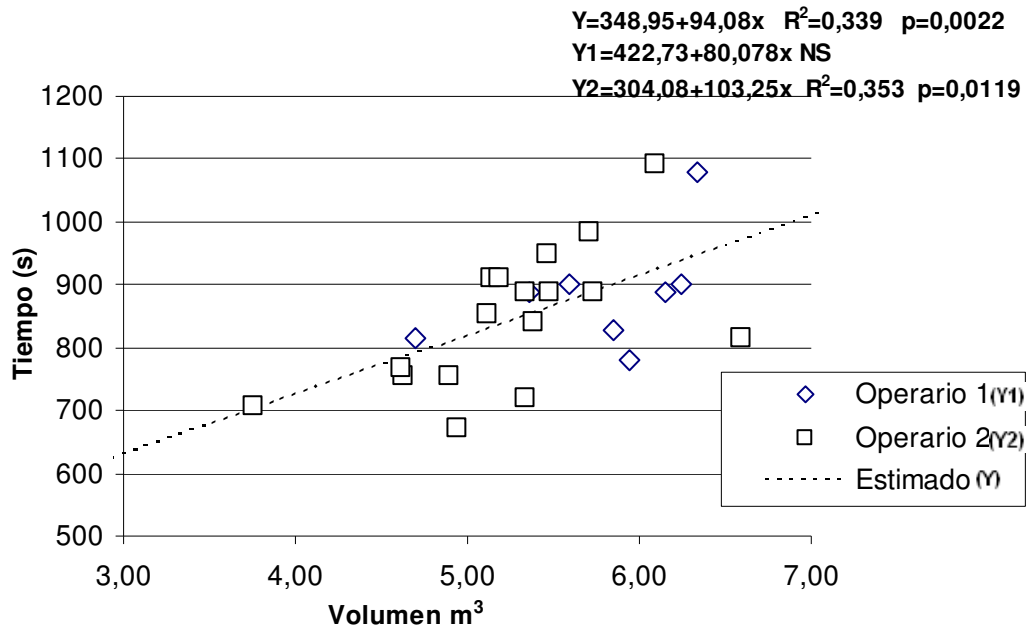
Ilustración 14 Rendimiento del harvester en función del volumen por parcela



El rendimiento se incrementa proporcional al volumen de la parcela, dentro del rango analizado siendo significativo ($p=0,021$) para (Y). El parámetro de regresión no es significativamente mayor a cero ($p>0,05$) para (Y2) e (Y1).

Según Burla (2008) el rendimiento del harvester en m^3 hectárea⁻¹ aumenta junto con el incremento de la producción por hectárea. Esto puede deberse a que el harvester utiliza la mayor parte del tiempo productivo en el (desramado, descortezado y trozado) de los árboles y no tanto en el avance y posicionamiento del cabezal.

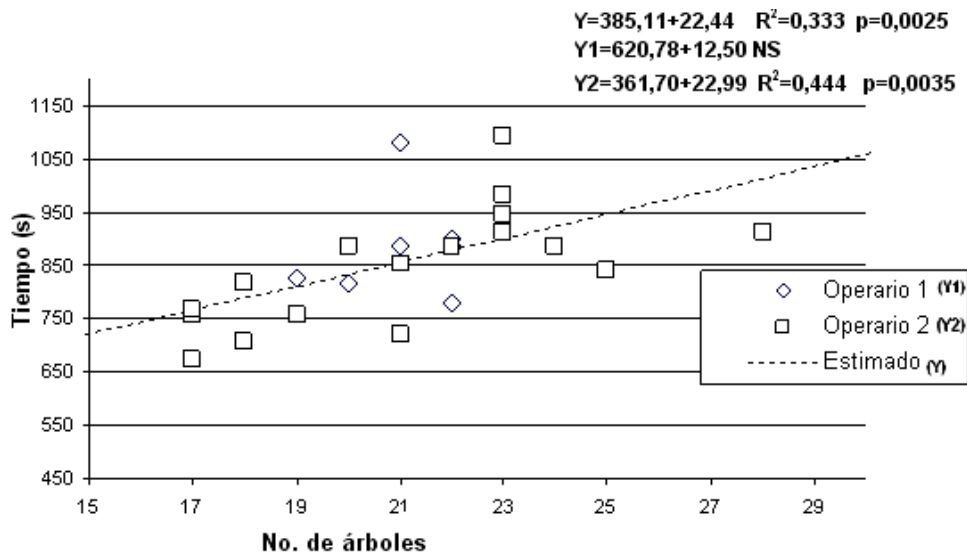
Ilustración 16. Tiempo productivo del harvester en función del volumen por parcela



El tiempo se incrementa directamente proporcional al volumen por parcela, dentro del rango analizado siendo significativo ($p=0,0022$) para (Y) e (Y2) con ($p=0,0119$). El parámetro de regresión no es significativamente mayor a cero ($p>0,05$) para el operario 1.

El tiempo de procesamiento del harvester por unidad de volumen aumenta. Esto se explica por que el harvester tiene un mayor volumen de madera a procesar, estando determinado el mayor volumen en $m^3 \text{ hectárea}^{-1}$ por un mayor rendimiento individual de cada árbol lo que lleva a un mayor peso en el cabezal generando una menor maniobrabilidad y tracción del cabezal.

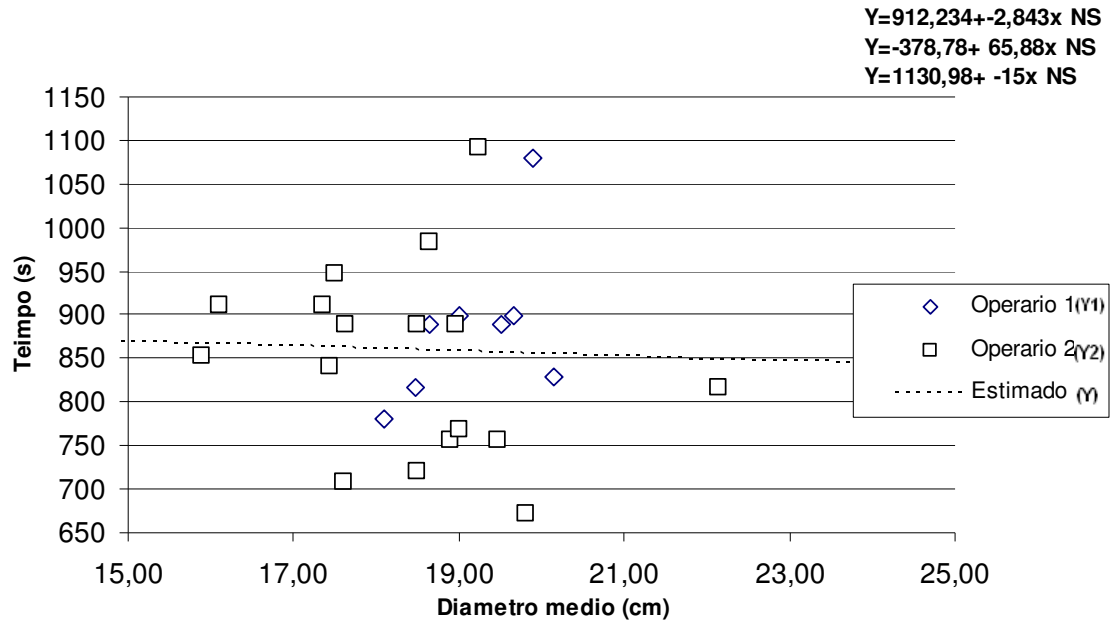
Ilustración 17. Tiempo productivo del harvester en función del número de árboles.



El tiempo se incrementa directamente proporcional al número de árboles, dentro del rango analizado, siendo significativo ($p=0,0025$) para (Y) e (Y2) con ($p=0,0035$). El parámetro de regresión no es significativamente mayor a cero ($p>0,05$) para el operario 1.

De la ilustración 17 se desprende que un incremento en el número de árboles genera un incremento en el tiempo de procesamiento con el harvester. Esto se explica por que el harvester tiene un tiempo adicional de búsqueda y por ende el tiempo de procesamiento es mayor.

Ilustración 18 tiempo productivo del harvester en función del diámetro



La ilustración 18 muestra que no hay significancia entre el tiempo y el diámetro (m^3) árbol⁻¹ para ninguno de los operarios así como para el estimador.

No hay diferencias significativas entre el tiempo y el diámetro. Para diámetros entre 15,9 a 22,14 cm, no presenta diferencia significativa en función del tiempo. Esto se explica por que el cabezal no fue exigido a su máxima capacidad, concluyendo que presenta buena adaptabilidad en el rango de diámetros en los cuales se trabajó.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los tiempos efectivos producidos en cada parcela cosechada permite realizar una estimación del harvester con un rendimiento de $22,8 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$, un mínimo absoluto de $19,1 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ y un máximo absoluto de $27,7 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$.

El harvester en estudio aplicado a la cosecha forestal de *E. maidenii* en nuestras latitudes presento resultados acordes a la bibliografía consultada.

En función del tiempo medio de cada parcela y la densidad promedio del rodal analizado el harvester insumió alrededor de 40 segundos en el procesamiento por árbol.

De la descomposición de las fases del tiempo de trabajo principal, la mayor parte del tiempo la insume el descortezado con un 57%, seguido del apeo con un 17%. Esto muestra las dificultades que presenta la cosecha mecanizada de *E maidenii* debido a problemas de tortuosidad y ramosidad en el fuste así como la persistencia de la corteza.

Un mayor densidad en el rodal implica árboles con volúmenes menores por ende determina un menor rendimiento en la cosechadora por unidad de tiempo.

El análisis de rendimiento entre operadores en función de los tiempos efectivos de cosecha no presenta diferencia significativa, pero si existe diferencia significativa en el porcentaje del tiempo de procesado medido en la etapa de avance según las fases de trabajo productivo. Esto marca una diferencia significativa encontrada entre operadores, debiendo explotar dicha ventaja comparativa en la modalidad de procesamiento.

El grado de capacitación de los operadores contribuyó al buen desempeño de la máquina y los altos rendimientos encontrados.

Los resultados obtenidos en el estudio del harvester se ajustan a los datos de antecedentes encontrados, resultando el volumen individual por árbol la variable de mayor incidencia en la productividad del harvester.

La metodología de tiempo aplicada se adapta perfectamente al sistema de cosecha aplicado, permitiendo concluir sobre técnicas y destrezas entre operadores.

Se podría esperar que utilizando un cabezal que se ajuste mejor a los volúmenes de cosecha ($0,25\text{m}^3$) presente una mejora en el rendimiento del harvester.

6. RESUMEN

El incremento en los volúmenes de cosecha de madera, impulsado por la creciente demanda del sector explica una tendencia a la mecanización de la cosecha forestal. El crecimiento del sector forestal, junto a la escasez de mano de obra especializada en la fase agraria, hace que la cosecha mecanizada presente cada vez más incidencia en nuestra forma de producción. Se realizó un estudio de tiempo y rendimiento en cosecha altamente mecanizada con harvester. El objetivo fue estudiar tiempos y rendimientos por los métodos multimomento y continuo sobre una masa de *E maidenii* con destino celulosa en operaciones con harvester. Específicamente se espera comparar cómo inciden las distintas variables del rodal, volumen de la parcela volumen por árbol, densidad, diámetro promedio en la productividad del harvester y analizar el rendimiento entre operadores en las distintas etapas parciales de la cosecha. Los resultados indican una capacidad de cosecha de $22,8 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ de trabajo efectivo, con un mínimo absoluto de 19,1 y un máximo absoluto de $27,7 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$. Descomponiendo las fases de tiempo, la mayor parte la lleva el descortezado con 57%; esto se explica por las dificultades que presenta la cosecha mecanizada en *E.maidenni* debido a problemas de ramosidad en el fuste así como la persistencia de la corteza, apeo 17%, posicionamiento 13 %, trozado 12 % y avance 1%. Considerando las fases de trabajo productivo, sólo existen diferencias significativas entre operadores en la etapa de avance, donde el operario 1 presenta un mayor tiempo de avance con respecto al operario 2.

Palabras clave: Harvester; Estudio de tiempos; Variables del rodal; Operarios; Eucalyptus.

7. SUMMARY

The increase in timber harvest volumes driven by the increasing sector demand, explains a trend to mechanization of forest harvesting. The growth of the forestry sector and the scarcity of skilled labor in the agricultural phase give mechanized harvesting an increasing impact in our way of production. A study of time and performance was conducted on highly mechanized harvesting. The objective of this work was to analyze time and performance for both 'multi-moment' and 'continuous' methods in harvester operations over an *Eucalyptus maidenni* plantation for cellulose production. Specifically, we aim to compare the incidence on harvester productivity of several stand traits such as volume of experimental unit, volume per tree, density and average diameter in the productivity of the harvester. Finally, we will study the performance of operators in the different stages of the harvest. Our results indicate a harvest capacity of 22,8 m³ / hour of effective working, with an absolute minimum of 19,1 and an absolute maximum of 27,3. Analyzing the phases by time: debarking takes the most of the time with 57%, due to abundant branches and bark persistence in *E. maidenni*, survey 17%, positioning 13%, bucking 12%, advance 1%. This proves a comparative advantage of the harvester when harvesting with the machine in advance position. Considering the stages of productive work, significant differences between operators only exist in the advance phase, where operator 1 presents a major time of advance respect to operator 2.

Keywords: Harvester; Time study ; Variables stand ; Operators ; Eucalyptus.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ALZUGARAY, G. 1987. Estudio de tiempos y rendimientos en las faenas de explotación forestal en una plantación de *Eucaliptos grandis*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 142 p.
2. ARBE, E.; CORREA, R. 1995. Estudio de tiempo en una explotación de Pino en la localidad de Piedras Coloradas. Evaluación técnica y económica de cosecha forestal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 67 p.
3. BOSSI, J. 1975. Carta geológica del Uruguay, escala 1:1.000.000. Montevideo, MGAP. DSF. s.p.
4. BRAMUCCI, M. 2001. Determinacao e cuantificacao de fatores de influencia sobre a produtividade de “harvesters” na colheita de madeira. Sao Paulo, Universidade de Sao Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 65 p.
5. BRUSSA, C. 1994. Eucalyptus. Montevideo, Hemisferio Sur. 208 p.
6. BURLA, E. 2008. Evaluación técnica y económica del “Harvester” en la cosecha de Eucaliptos. Tesis en Ingenieria Agrícola. Minas Gerais, Brasil. Universidad Federal de Viçosa. pp. 36-49.
7. CARDOSO, M. 2002. O setor florestal brasileiro. Viçosa, Brasil, Universidad Federal de Viçosa. pp. 15-32.
8. CAREY, P.; SANDOVAL, V.; SALIVIA, R. 2007. Proyección de los sistemas de cosecha forestal en las plantaciones establecidas en el contorno de la reserva Río Cruces para los próximos diez años. Bosque. 28(2): 173-177.
9. CASTROMÁN, A.; IZUIBEJERES, L. 2002. Cosecha forestal, operaciones manuales o altamente mecanizadas. Consideraciones económicas, sociales y ambientales de los sistemas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 164 p.
10. CUSANO, N.; ETTLIN, G.; OCAÑO, C. 2009. Cosecha forestal mecanizada, capacidad operacional y estudio económico de un sistema CTL. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. pp. 31 – 44.

11. DANILUK, G. 2002. Código de cosecha forestal uruguayo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 89 p.
12. DA SILVA, L.; CRUZINIANI, E.; NOGUEIRA DIAS, A.; FIEDLER, N. 2006. Evaluación técnica y económica en corte de madera de Pino con cabezal en Harvester en diferentes condiciones operacionales. Tesis de Postgrado en Ciencias Forestales. Curitiba, Brasil. Universidad Federal de Viosa. pp. 305-313.
13. FRAUENHOLZ, O. 1984. Estudios de trabajo en actividades forestales. In: Curso de Capacitación FAO/Austria sobre Carreteras Forestales y Aprovechamientos en Bosques de Montaña (3º., 1981, Ossiach y Ort). La explotación maderera de bosques de montaña. Roma, FAO. pp. 259-270 (Estudio FAO. Montes no. 33)
14. JACQUES, R. 2008. Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal. Tesis de grado en Recursos Forestales. San Pablo, Brasil. Escuela Superior de Agricultura. pp. 80-84.
15. KESLA. 2000. KESLA, modelo RH30. (en línea). Joensu. Consultado 10 nov. 2009. Disponible en <http://www.kesla.com>
16. LIGRONE, A.; MANTERO, C. 2009. El sector forestal en 2008 y perspectivas para el 2009. (en línea). Montevideo, MGAP. pp. 1-8. Consultado 20 nov. 2009. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/OPYPA/PUBLICACIONES/InformesDeCoyuntura/IC_2009_1erSemestre/CP%20-%20Sec%20Forest.pdf
17. LORENZO. 2008. Mecanización de la cosecha; eficiencia, rentabilidad y seguridad. (en línea). Montevideo, s.e. pp. 1-2. Consultado 20 nov. 2009. Disponible en <http://guiaforestal.com>
18. MALINOVSKY, J.; MALINOVSKY, R. 1998. Evolução dos sistemas de colheita de povoamentos de pinus na região sul do Brasil. Curitiba, Brasil, Fundación de Pesquisas Forestales del Paraná. pp. 19-31.
19. _____.; _____. 2000. Programa de computação para simulação e controle de operações de colheita de madeira. In: Seminario de Atualização Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal (11º., 2000, Curitiba) . Trabalhos apresentados. Curitiba, Brasil, FUPEF. pp. 152-197.

20. PARRA, M.; CAREY, B. 2000. Consideraciones metodológicas para la evaluación de la cortadora- procesadora (harvester) en operaciones forestales. *Bosque*. 21(2):134-146.
21. PEDOCHI, E.; REYES, E. 1990. Determinación de tiempos y rendimientos en una cosecha forestal en bosques de Eucalipto. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 178 p.
22. PROSILVA. 2000. PROSILVA, modelo harvester 910. (en línea). Ruovesi. Consultado 10 nov. 2009. Disponible en <http://www.prosilva.fi>
23. SALMERON, A.; RIBEIRO, R.S. 1997. Colheita mecanizada de eucaliptos em regiões acidentadas. *In*: Seminario de Atualizacao Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal (10º., 1997, Curitiba, Brasil). Trabalhos apresentados. Curitiba, Brasil, UFPr/FUPEF. pp. 165-181.
24. _____. 1998. A mecanização da exploração florestal. (en línea). Piracicaba, Universidad de San Pablo. Instituto de Pesquisas e Instituto Forestal. p 3-5. (Circular Técnico no. 88). Consultado 9 Noviembre. Disponible en http://www.colheitademadeira.com.br/imagens/publicacoes/91/mecanizacao_da_exploracao_florestal.pdf
25. SAS INSTITUTE. 2002. SAS/STAT user's guide; version 9.1. Cary, NC. 12 p.
26. SEIXAS, F. 2003. Relatório. *In*: Forest Engineering Conference (2nd., 2003, Växjö, Suécia). Proceedings. s.l., ESALQ/USP. pp. 7-8.
27. SIMOES, D. 2008. Análisis económico de dos sistemas de cosecha forestal mecanizada de eucaliptos. Título de Master en Agronomía. Botucatu, Brasil. UNESP. Facultad de Ciencias Agronómicas. pp.64-66.
28. SORRENTINO, A. 1994. Manual teórico-práctico del Curso de Dasometría. Técnicas e instrumentos de medición forestal. 3ª. reimp. Montevideo, Facultad de Agronomía. v. 1, 100 p.
29. _____. 1997. Manual para el diseño y ejecución de inventarios forestales. Montevideo, Hemisferio Sur. 350 p.

30. TARNOWSKI, C.; SCHNEIDER, P. ; MACHADO, C. 1999. Productividad y costos en procesador trabajando en poblaciones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Ciencia Forestal (Santa Maria). 9(2): 103-115.
31. TOLOSANA, E.; TORRIJOS, Y.; VIGNOTE, S. 1998. Estudio de tiempos, rendimientos y costes de las operaciones manuales. Influencia de la distancia entre calles. In: Fundación Conde del Valle del Salazar. Cortas de mejora de las masas españolas. Madrid, Escuela Superior de Ingenieros de Montes de Madrid. pp. 195-207.
32. _____.; _____.; _____. 2000. El aprovechamiento maderero. Madrid, España, Mundi-Prensa. pp. 450-453.
33. TUSET, R. 1987. Estudios de trabajo y estudios de tiempos, recolección de datos en actividades forestales. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 10-35.
34. URUGUAY. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. s.f. Estadística climatológica 1961- 1990; Artigas. (en línea). Montevideo. Consultado oct. 2009. Disponible en http://www.meteorologia.com.uy/estadistica_climat.htm
35. _____. MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. COMISIÓN NACIONAL DE ESTUDIO AGROECONÓMICO DE LA TIERRA. 2000. Productividad de suelos; grupos CONEAT. (en línea). Montevideo. Consultado nov. 2010. Disponible en <http://www.prenader.gub.uy/coneat>
36. _____. _____. DIRECCIÓN NACIONAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1994. Índices de productividad de suelos grupo CONEAT. Montevideo. 182 p.
37. VILLAGÓMEZ, L.; GARCÍA, A. 1986. El estudio de tiempo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. Revista Ciencia Forestal (México). 59 (11): 162-180.
38. WAGNER, S. 2006. Cosecha forestal, estudio de tiempo y rendimiento en operaciones mecanizadas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. pp. 31 – 44.