

**APROVECHAMIENTO FORESTAL SEMI-MECANIZADO DE MADERA DE  
*Pinus radiata* D. Don (PINO) EN PLANTACIONES DE LA EMPRESA NOVOPAN  
DEL ECUADOR S.A. EN LA PARROQUIA CEBADAS, CANTÓN GUAMOTE  
PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**DARÍO JAVIER QUINCHUELA GUAMÁN**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL**

**Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Riobamba – Ecuador**

**2015**

**HOJA DE CERTIFICACIÓN**

**EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE: El trabajo de investigación titulado APROVECHAMIENTO FORESTAL SEMI-MECANIZADO DE MADERA DE *Pinus radiata* D. Don (PINO) EN PLANTACIONES DE LA EMPRESA NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. EN LA PARROQUIA CEBADAS, CANTÓN GUAMOTE PROVINCIA DE CHIMBORAZO de responsabilidad del señor egresado Darío Javier Quinchuela Guamán, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación.**

**TRIBUNAL**

**Ing. Eduardo Cevallos**

-----

**DIRECTOR**

**Ing. Norma Lara**

-----

**MIEMBRO**

**Riobamba, julio del 2015**

## DEDICATORIA

*A mis queridos padres José y Sonia, ya que han sido el soporte fundamental en mi vida personal y en el desarrollo de mis estudios; por confiar siempre en mí demostrándolo con su amor y apoyo infinito, permitiéndome cumplir éste sueño importante que lo encaminé hace tiempo.*

*A mis hermanas Verónica y Dorys, quienes siempre han estado conmigo respaldándome incondicionalmente en todo momento que he necesitado de su presencia.*

*A mis sobrinos Alexander y Samir, que con su alegría y ternura son mi manantial de motivación para continuar con mis propósitos.*

*Darío*

## AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal por haberme recibido en su seno y por la formación profesional y humanística que me ha brindado.

A la Dirección Provincial del Ambiente de Chimborazo, donde realicé el primer semestre de prácticas pre-profesionales, de la misma manera a cada una de las personas que laboran en ésta prestigiosa institución, en quienes encontré siempre el apoyo profesional y humano.

A la empresa Novopan del Ecuador S.A., en la cual desarrollé el segundo semestre de prácticas pre-profesionales y por haberme brindado la oportunidad de realizar el presente estudio, en particular al Ing. Álvaro Barahona por la confianza, orientación profesional y las facilidades extendidas para la realización de éste trabajo.

Al ingeniero Eduardo Cevallos e ingeniera Norma Lara, director y asesora respectivamente del presente trabajo de titulación, quienes con sus conocimientos y guía me encaminaron a la culminación de ésta investigación.

A mi familia, por estar inquebrantablemente presente en las etapas de mi vida, demostrándome su cariño, apoyo y confianza a cada instante.

A mis profesores/as, compañer@s, amig@s y a cada una de las personas que de una u otra manera aportaron en mi desarrollo integral y a la culminación de mi carrera profesional.

## CUADRO DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
CUADRO DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	viii

CAPÍTULO	CONTENIDO	PÁGINA
I.	TÍTULO	1
II.	INTRODUCCIÓN	1
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	47
V.	RESULTADOS	59
VI.	CONCLUSIONES	74
VII.	RECOMENDACIONES	75
VIII.	RESUMEN	76
IX.	SUMMARY	77
X.	BIBLIOGRAFÍA	78

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
1.	Propiedades físicas de la madera de pino.....	39
2.	Propiedades mecánicas (1) de la madera de pino.....	39
3.	Propiedades mecánicas (2) de la madera de pino.....	40
4.	Clasificación ecológica de la parroquia Cebadas según Holdridge	48
5.	Actividades para determinar el rendimiento de la plantación de pino.....	50
6.	Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones de volteo, desrame y trozado con motosierra por jornada de trabajo.....	59
7.	Análisis estadístico del número de árboles en el volteo, desrame y trozado con motosierra por jornada de trabajo.....	59
8.	Detalle de las actividades realizadas con motosierra.....	60
9.	Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo del volteo, desrame y trozado con motosierra.....	61
10.	Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones del tractor de arrastre skidder timberjack de cable.....	61

11.	Análisis estadístico del número de ciclos del tractor de arrastre skidder timberjack de cable.....	62
12.	Detalle de las actividades del tractor de arrastre skidder de cable..	62
13.	Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo del tractor de arrastre skidder timberjack de cable.....	63
14.	Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones del tractor de maderero toimil.....	64
15.	Análisis estadístico del número de ciclos del tractor de maderero toimil.....	64
16.	Detalle de las actividades del tractor de maderero toimil.....	64
17.	Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo del tractor de maderero toimil.....	65
18.	Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones de la torre de madereo.....	66
19.	Análisis estadístico del número de ciclos de la torre de madereo...	66
20.	Detalle de las actividades de la torre de madereo.....	67
21.	Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo de la torre de madereo.....	67
22.	Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones del camión Hino FM 2	68

	(cargadora).....	
23.	Análisis estadístico del número de ciclos de la cargadora.....	69
24.	Detalle de las actividades de la cargadora.....	69
25.	Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo de la cargadora.....	70
26.	Resumen del rendimiento de las máquinas en el proceso de aprovechamiento.....	70
27.	Datos del inventario forestal del lote en estudio.....	71
28.	Costos de aprovechamiento del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado.....	72

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO	TÍTULO	PÁGINA
1.	Mapa general de las plantaciones forestales en el sector Cebadas.....	47
2.	Detalle de las actividades realizadas con motosierra.....	60
3.	Detalle de las actividades del tractor de arrastre skidder de cable.....	62



4.	Detalle de las actividades del tractor de maderero toimil.....	65
5.	Detalle de las actividades de la torre de madereo.....	67
6.	Detalle de las actividades de la cargadora forestal.....	69
7.	Resumen del rendimiento de las máquinas en el proceso de aprovechamiento.....	71
8.	Costos de aprovechamiento del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado.....	72
9.	Porcentajes de los costos de aprovechamiento del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado.....	73

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTO	TÍTULO	PÁGINA
1.	Volteo, desrame y troceado de árboles con motosierra.....	52
2.	Madereo de madera de pino con tractor skidder de cable.....	53

3.	Madereo de madera de pino con tractor toimil.....	53
4.	Madereo de madera de pino con torre.....	54
5.	Carga de madera de pino con cargadora de brazo articulado.....	55

**I. APROVECHAMIENTO FORESTAL SEMI-MECANIZADO DE MADERA DE *Pinus radiata* D. Don (PINO) EN PLANTACIONES DE LA EMPRESA NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. EN LA PARROQUIA CEBADAS, CANTÓN GUAMOTE PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**II. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de la tecnología en cosecha forestal va avanzando rápidamente con el objetivo de aumentar la productividad para satisfacer la demanda de madera que cada vez es mayor. En nuestro país la aplicación de tecnologías modernas se van incluyendo de manera pausada, ya que existen pocas empresas madereras que puedan acceder a éstas, tanto por su nivel de producción como por la inversión requerida.

Hoy en día existen varios sistemas de extracción, algunos más complejos que otros desde diferentes puntos de vista como tecnológico, económico, condiciones del bosque, etc. Cada sistema es utilizado en dependencia de las condiciones topográficas, edáficas, climáticas y principalmente de costos, la elección debe tomarse con la finalidad de minimizar los daños ambientales y obtener una adecuada producción.

La evaluación del sistema de cosecha semi-mecanizado citado en el presente estudio, abarca las máquinas, herramientas y actividades que se encuentren dentro de los procesos. El costo y el rendimiento de un sistema de aprovechamiento pueden variar mucho, en función de su adaptación a las condiciones del lugar, el desempeño de los trabajadores y de la organización de las actividades.

Uno de los mayores intereses de la industria es optimizar las aplicaciones y la recuperación de los productos forestales y al mismo tiempo obtener productos de mejor calidad. Los programas se deben centrar en el análisis de calidad de madera, es decir, el análisis operacional y económico de su clasificación por clases y calidades, además del análisis sobre la recuperación de la madera obtenida utilizando diferentes sistemas de aprovechamiento.

Novopan del Ecuador S.A. presenta un sistema de cosecha semi-mecanizado el cual está

conformado por motosierras, machetes, skidder de cable, tractor Toimil, una torre Sigu y una cargadora; con el cual ha venido trabajando desde hace algún tiempo y que ha permitido una buena producción para el abastecimiento de su industria.

## **A. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la incorporación de una máquina como es la torre Sigu y al crearse un proceso semi-mecanizado innovador para la empresa Novopan del Ecuador, resulta necesario realizar una evaluación de todo el proceso de aprovechamiento para detectar posibles deficiencias o resultados no deseados que pueda presentar este sistema de explotación semi-mecanizado en *Pinus radiata* D. Don (pino), con el fin de obtener los mejores rendimientos tanto cuantitativos como cualitativos.

La evaluación del aprovechamiento en las áreas forestales de la provincia, es de suma importancia, dado que no existe información sobre costos y rendimientos; en este sentido, el propósito del presente estudio es determinar los indicadores de productividad en las actividades de operación manual, arrastre - movilización y carga mecanizada; de tal forma que los resultados constituyan una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la programación de las actividades de extracción, así como para elevar la eficiencia y calidad de esta importante actividad económica de la empresa.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo General**

Evaluar el aprovechamiento forestal semi-mecanizado de madera de *Pinus radiata* D. Don (pino) en plantaciones de la empresa Novopan del Ecuador S.A. en la parroquia Cebadas, cantón Guamote provincia de Chimborazo

### **2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar el rendimiento en el aprovechamiento de madera de pino con un sistema semi-mecanizado
- b) Valorar costos de aprovechamiento de la plantación de pino por hectárea

## **C. HIPÓTESIS**

### **1. Hipótesis nula**

El conocer los rendimientos y costos de aprovechamiento con un sistema semi-mecanizado no permitirá tener un valor real sobre el aprovechamiento en una plantación de pino

### **2. Hipótesis alternante**

El conocer los rendimientos y costos de aprovechamiento con un sistema semi-mecanizado permitirá tener un valor real sobre el aprovechamiento en una plantación de pino

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **A. COSECHA FORESTAL**

##### **1. Planificación de la cosecha**

Sapunar et al (1999), señala que la planificación de la cosecha es la etapa previa, antes de ejecutar cualquier acción posterior. Ésta incluye la recopilación de información, su análisis, la toma de decisiones y la confección del programa. Además menciona que los objetivos son específicos para el planificador. En el caso de una empresa forestal, ellos pueden estar dirigidos a mejorar la productividad de la cosecha, las utilidades, la calidad de los productos, la seguridad en el trabajo y a minimizar el impacto al medio ambiente.

La planificación se realiza meses antes de comenzar las faenas, considerando factores topográficos, económicos, de demanda de madera, disponibilidad de personal, entre otros (Schmidt, 2003)

Conway (1982), expresa que la planificación es la función más esencial en el éxito de la cosecha forestal, debido a que permite ensamblar todas las partes del sistema de cosecha, identificar y resolver conflictos, reconocer las restricciones y lograr una ordenada utilización de los recursos.

Álvarez y Kunz (1988), señalan que en la planificación es necesaria una recopilación sistemática de información proveniente de faenas de cosecha caracterizando las diversas operaciones del proceso productivo y estudiando los tiempos y rendimientos asociado a cada equipo de madereo.

##### **2. Cosecha forestal**

En la actualidad existen diversos métodos de cosecha forestal y su elección depende de las condiciones topográficas del sector a cosechar, del tipo de maquinaria disponible, la red de caminos de extracción y diversos variables locales que de una u otra forma, aumentarán o

disminuirán la productividad de los equipos, usando finalmente el método que entregue mayor productividad a un mínimo costo (Valdebenito y Neuenschwander, 1995).

La cosecha forestal es uno de los procesos de mayor importancia para el sector forestal, debido a la multiplicidad de factores y etapas que ésta tiene, dentro de las cuales se encuentra el madereo, que junto al transporte explican alrededor de un 75% de los costos de producción de madera asociados a la cosecha (Urta, 1999).

Además del método de cosecha existen otros factores que dependen del ser humano y que afectan directamente la productividad, como los ergonómicos y el grado de experiencia que posean los operarios (Fuentes, 1995). Por otra parte, se señala que la experiencia es uno de los factores de mayor incidencia, pudiendo hacer variar significativamente el rendimiento de la faena.

Así mismo, Troncoso (1996), señala que uno de los problemas más comunes en una faena de cosecha forestal es la subutilización de algunas máquinas provocando una disminución de la producción de madera diaria, debido principalmente a una gran cantidad de tiempos muertos. Lo anterior se produce en la faena de madereo cuando el skidder debe esperar para descargar la madera debido a que la zona de trozado está aún ocupada, alargando de esta manera la jornada de trabajo para cumplir con las producciones establecidas.

### **3. Madereo**

El madereo es una operación en serie, es decir, deben realizarse ciertos pasos en un orden dado para que el objetivo pueda lograrse (Conway, 1982). Valdebenito (1994), define el madereo como el proceso mediante el cual se transportan árboles, fustes o trozas desde el bosque hasta las canchas de acumulación de madera o bordes de camino. Componente destinado a concentrar madera y se realiza de diversas formas: por arrastre completo, parcialmente suspendido sobre vehículos, por agua, en forma aérea con cables, globos o helicópteros.

Beyer (1991), señala que el costo de madereo o transporte hacia las respectivas canchas, depende del equipo de madereo a utilizar, de la topografía del terreno, de la época del año, del volumen de madera transportada en cada ciclo y de las características de los árboles

cosechados. Por otro lado, menciona que el equipo de maderero debe seleccionarse considerando aspectos técnicos y económicos de su uso, los cuales son determinados en gran medida por las distancias de maderero, las que a su vez dependen de las localizaciones de los puntos de carguío. En este sentido, Conway (1982), señala que independientemente del sistema de maderero que se use algunos serán más sensibles a algunas variables que otros.

Además, debe tenerse presente que la elección de la máquina más adecuada para determinadas condiciones de trabajo está condicionada no sólo por sus características propias, condiciones del terreno y del bosque y disponibilidad de capital, sino, además, por los volúmenes de madera a ser extraídos y de cómo se complementa con el resto de las máquinas y equipos que realizan las otras actividades de cosecha para formar un sistema eficiente (Neuenschwander, 1987).

Las actividades de maderero y transporte representan, en general, un 75% de los costos de la madera rolliza puesta en planta. En esta realidad se justifica la búsqueda de procedimientos y herramientas de análisis que permitan innovar y optimizar la gestión tecnológica en estas actividades y mantener las ventajas económicas que presentan los productos forestales en los mercados internacionales.

## 2. **Aprovechamiento maderero**

El aprovechamiento maderero es la preparación de los troncos en un bosque o plantación de acuerdo con las necesidades del usuario y la entrega de los mismos al consumidor. Comprende la corta de árboles, la reparación de los troncos y su extracción y transporte a larga distancia hasta el consumidor o los centros de elaboración. Los términos *aprovechamiento forestal*, *aprovechamiento maderero* o *saca* suelen utilizarse como sinónimos.

## 2. **Operaciones**

Aunque se utilizan muchos métodos diferentes para el aprovechamiento maderero, todos ellos comportan operaciones similares:



- a. Apeo. Cortar un árbol por el pie y derribo.
- b. Desmochado y desramaje. Eliminación de la zona inútil de la copa y de las ramas.
- c. Descortezado. Eliminación de la corteza del fuste; esta operación suele realizarse en el centro de elaboración más que en el bosque; en la corta de madera para leña no se realiza.
- d. Extracción. Traslado de los troncos o trozas desde el tocón hasta un lugar próximo a una carretera forestal en el que pueden clasificarse, apilarse y a menudo almacenarse temporalmente, en espera de su transporte a larga distancia.
- e. Preparación de los troncos/tronzado (troceado). Corte del fuste a la longitud especificada por el destinatario de las trozas.
- f. Cubicación. Determinación de la cantidad de troncos obtenidos, por lo común, midiendo el volumen.
- g. Clasificación, apilamiento y almacenamiento temporal. Los troncos suelen ser de dimensiones y calidades variables, por lo que se clasifican en surtidos según puedan destinarse a pasta, aserrado, etcétera, y se apilan hasta que se consigue una carga completa, por lo común la suficiente para llenar un camión.
- h. Carga. Traslado de los troncos al medio de transporte, normalmente un camión, y fijación de la carga.

No es preciso realizar estas operaciones en el orden citado. En función del tipo de bosque, del tipo de producto deseado y de la tecnología disponible, puede ser más conveniente realizar una operación antes (es decir, más cerca del tocón) o después (es decir, en el cargadero o incluso en el centro de elaboración).

### **3. Avances tecnológicos**

El coste y el rendimiento de un sistema de aprovechamiento pueden variar mucho, en función de su adaptación a las condiciones del lugar y, lo que es igualmente importante, de la cualificación de los trabajadores y de la organización de las actividades. Los métodos totalmente mecanizados pueden conseguir rendimientos diarios muy altos, pero requieren grandes inversiones de capital.

En condiciones favorables, las modernas cosechadoras pueden producir más de 200 m<sup>3</sup> de troncos por jornada de 8 horas. Es improbable que un operario de motosierras produzca más del 10 % de esa cantidad. Una cosechadora o malacate de grandes dimensiones cuesta alrededor de 500000 dólares en comparación con los 1000 o 2000 dólares que cuesta una motosierra y los 200 dólares que cuesta una tronzadora de mano de buena calidad. (Dykstra, D. y Poschen, D. 1998)

#### **4. Niveles tecnológicos de las operaciones de aprovechamiento de la madera**

##### **a. Explotación manual**

En este tipo de operación, como su nombre indica, la mano de obra es el aporte o insumo principal. Con la ayuda de herramientas forestales manuales de buena calidad y mantenidas adecuadamente, desarrolladas para los distintos tipos de trabajo forestal, se puede lograr unos resultados bastante buenos en las operaciones de aprovechamiento de la madera. En lo que se refiere al transporte de trozas, se han desarrollado métodos tradicionales muy especializados en diversas partes del mundo; algunos de ellos todavía se practican, especialmente donde la mano de obra es todavía más barata que el empleo de maquinaria.

##### **b. Explotación maderera de tecnología intermedia**

En este tipo de operación solo se emplea trabajo manual en cuantía limitada, introduciendo la maquinaria para facilitar el trabajo y mejorar al nivel de producción. Por ejemplo, para el apeo se sustituye la sierra manual por la motosierra, mientras que para el desrame todavía se utiliza el hacha. Para el transporte fuera de la carretera y por ella los tractores agrícolas con implementos forestales (cabrestantes, vagonetas, accesorios de cable-grúa, y remolque) hacen en muchos casos un trabajo suficientemente aceptable.

El concepto de utilizar tecnología intermedia en las operaciones forestales y especialmente en la explotación maderera (extracción y transporte) obedece sobre todo a los cambios en la situación económica de muchos países del mundo, especialmente respecto al consumo, utilización y costes de la energía. Es también consecuencia de un mejor

conocimiento de la necesidad de preservar los recursos forestales mediante unas operaciones eficientes, mejor orientadas desde el punto de vista ambiental, y de incrementar los recursos forestales mediante nuevas plantaciones.

### **c. Explotación totalmente mecanizada**

En la mayoría de los países industrializados se aplican técnicas altamente mecanizadas, debido al alto coste de la mano de obra y a la necesidad de garantizar un abastecimiento sostenido de gran cantidad de trozas para las industrias forestales establecidas y para los mercados consumidores.

En los países desarrollados, en zonas de topografía suave, la mecanización de las operaciones de aprovechamiento a gran escala ha avanzado tanto que una sola máquina realiza actualmente las distintas tareas de corte, desrame, tronzado y descortezado. Sin embargo, en terrenos difíciles y muy accidentados o con fuertes pendientes todavía se necesita una serie de varias máquinas para la producción de trozas; es frecuente emplear la siguiente secuencia de técnicas: motosierras para el apeo, cables-grúa para la extracción de árboles y el transporte a borde de carretera, tractores arrastradores para transportar los árboles al cargadero, donde se emplea una procesadora finalmente para desramar, tronzar y descortezar los árboles. (Ortiz, L 1995).

## **B. RENDIMIENTO**

### **1. Estudio de rendimientos**

El estudio de rendimientos es la relación de los tiempos totales (productivos y no productivos) con los volúmenes extraídos, expresado en metros cúbicos por hora ( $m^3/hora$ ). En este tipo de estudios también es importante considerar las condiciones de trabajo, ya que esto lo hará comparable con estudios posteriores que se realicen en similares circunstancias (Eronheimo y Mäkinen, 1995).

Según Vignote (1993), los principales factores que afectan el rendimiento de los procesadores forestales son: factores geomorfológicos, geográficos, climáticos, de masa y humanos.

- a. Factores geomorfológicos: la pendiente del terreno, la escabrosidad y la adherencia afectan de forma importante a la movilidad de la máquina base, hasta el punto de que en muchos casos condicionan la posibilidad de su utilización.
- b. Factores geográficos: la latitud y altitud influyen de forma directa en el rendimiento de los equipos forestales, la primera como consecuencia de su influencia en las horas de luz natural, y la segunda por la pérdida de potencia que experimenta la máquina base.
- c. Factores climáticos: los fenómenos meteorológicos, influyen directamente, aunque no de forma muy notable, en las labores de los equipos, debido a la acción que ejerce sobre el rendimiento del trabajador. Indirectamente tienen una importancia mayor, pues influyen en factores tales como la adherencia.
- d. Factores de masa: la especie, la edad, la forma y tamaño de los árboles, la rugosidad, las características y cantidad de corteza, y de ramas y las características de la madera influyen de forma muy notable en el rendimiento de los procesadores.
- e. Factores humanos: la profesionalidad y la motivación influyen de forma directa en el rendimiento de la máquina. Los procesadores son equipos que necesitan un cierto período de aprendizaje para su correcta utilización, el que variará según lo complejo que sea el equipo.

## **2. Productividad y eficiencia forestal**

Gutiérrez (1999), sostiene que la productividad es la relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados para obtenerla.

La productividad es una medida de la eficiencia, que indica que tan bien una compañía gasta los recursos en un período determinado. Se determina generalmente como los resultados de la producción y los insumos requeridos (Noori y Radford, 1997). Desde el punto de vista de la investigación del trabajo forestal, la productividad se expresa generalmente en metros cúbicos sólidos por hora (Eeronheimo y Mäkinen, 1995).

Sundberg y Silversides (1988), tratan un concepto de eficiencia que quizás es paralelo a la productividad. Ellos definen la eficiencia de una actividad como el aprovechamiento óptimo en el manejo económico de los recursos. El objetivo de la eficiencia de las operaciones es la economía de las actividades hombre-máquina en el bosque.

Conway (1982), señala que la eficiencia de una típica operación de maderero raramente supera el 75% y un camino para mejorarla es minimizando los tiempos no productivos durante todo el ciclo de maderero, con el fin de aumentar los tiempos efectivos de trabajo, lo que finalmente se traducirá en un incremento de la producción de los equipos.

Con respecto a la productividad de los sistemas de cosecha con cable, FAO (1975) y Frauenholz (1984), mencionan que ésta depende de varios factores, entre los que se cuentan número de árboles por hectárea, tamaño de los trozos o fustes transportados, potencia y velocidad del equipo, tiempo de trabajo efectivo, topografía, distancia de maderero y eficacia de los operarios.

Urta (1999), señala que el rendimiento del sistema de cables depende principalmente del volumen por ciclo y de la distancia de operación, siendo el primero de ellos la variable relevante en la productividad del equipo.

Además, debe tenerse presente que las máquinas no trabajan por si solas, sino que son dirigidas por un operario, por lo tanto, el trabajo realizado depende en gran parte, de una combinación de esfuerzo mental y manual gastado en un período de tiempo. Pero, más que el esfuerzo desarrollado, son los resultados del trabajo los que determinan su valor (Barnes, 1979).

Por otra parte, se puede señalar que existen diferencias en la productividad de los equipos no sólo entre dos operaciones diferentes, sino también dentro de cada operación, debido a cambios en el ambiente de trabajo e interacciones entre las máquinas que cosechan. Estas diferencias pueden ser causadas por condiciones de sitio (pendiente, suelo, exposición, etc.), características del bosque (densidad, edad, número de especies, etc.), número y tipo de máquinas usadas (skidders, torres, cargadores, harvesters, forwarders, procesadores, helicópteros, etc.), tipo de cosecha (raleo o tala rasa), y productos a ser extraídos (aserrable, pulparable, exportable, para combustible, etc.).

Según Urta (1999), en un estudio de tiempo y rendimiento realizado a una torre de maderero marca Logger's dream, instalado sobre un trailer, trabajando en plantaciones de Pino insigne en la provincia de Arauco, determinó que los tiempos no productivos de este

equipo alcanza a 30,9% del tiempo total de trabajo.

## **C. ESTUDIO DE TIEMPOS**

### **1. Estudio de tiempos**

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 como retrasos, pausas, incidentes, entre otros (Tolosana, E. V, González. S, Vignote., 2000).

Según los tiempos medidos pueden clasificarse como: tiempo planificado, es decir, tiempo total del ciclo de trabajo incluyendo demoras; tiempo productivo, suma de los tiempos parciales de los elementos productivos del ciclo de trabajo de los subsistemas, excluyendo las demoras; y tiempo de demoras, entendiéndose como tal los tiempos ocasionales, ya sea indirectamente productivos o tiempos muertos. A la vez, los tiempos de demoras, se pueden clasificar en operacionales, mecánicos y personales (P. Carey. 1997).

Es la técnica especialmente del estudio de métodos y medidas de trabajo para el examen sistemático del trabajo humano en todos sus contextos, así como de todos los factores que afectan su eficiencia y economía (Chávez, 1997).

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 de acuerdo a una meta de rendimiento preestablecida (Gutiérrez, 1999).

Este método utiliza un cronómetro para medir las observaciones previamente definidas durante un día entero o durante muchos días o semanas. Si el observador está bien calificado, este probablemente es el mejor método, ya que entrega información detallada de cuánto tiempo realmente trabajaron los equipos, cuánto tiempo estuvo ocioso debido a diferentes demoras y cuál era la causa y magnitud de estas demoras. Por lo que es un

método útil para evaluar o mejorar la eficiencia de una operación de madereo (Miyata *et al*, 1981).

Los estudios de tiempo en el arrastre de madera tienen tres funciones: planificación, ejecución y evaluación, con especial hincapié en los dos primeros. La evaluación es un proceso de cálculo sencillo que viene definido por la finalidad del estudio de tiempos. Los estudios de tiempos deben realizarlos únicamente personas capacitadas (Huaska, 1984).

Los estudios de tiempos tienen como finalidad la obtención de datos sobre rendimientos en el arrastre de madera. A partir de estos datos, se puede determinar el nivel de utilización (frecuencia) y la rentabilidad económica de una máquina, así como la productividad de la mano de obra. Constituye también la base para calcular el costo del arrastre de madera, y con ello para una buena planificación de las operaciones de saca. La finalidad de los estudios de tiempos debe especificarse claramente (Huaska, 1984).

Para Carrasco (1984), estos estudios consisten en medir el tiempo que demora la torre al ejecutar faenas de madereo, divididas en etapas o fases.

**a. Tiempo productivo**

- 1) Derribo (cortes de dirección y caída, troceo, desrame, desplazamiento entre árboles)
- 2) Arrastre con grúa-con yunta (desplazamiento entre trozas, enganche, arrastre y desenganche)
- 3) Carga con grúa (levantamiento, acomodo y desplazamiento)
- 4) Carga manual (levantamiento, acomodo y desplazamiento entre trozas)

**b. Tiempo improductivo**

- 1) Derribo (remoción de obstáculos, descanso, combustible y mantenimiento)
- 2) Arrastre con grúa-con yunta (atoramiento de trozas, descansos y mantenimientos)
- 3) Carga con grúa (reacomodo del camión y remolque, descansos)
- 4) Carga manual (remoción de obstáculos, reacomodo del camión, descanso etc.)

## 2. Elementos sobre el estudio de tiempos

La planificación de las operaciones de aprovechamiento implica un esfuerzo e inversión extra que de alguna manera puede verse justificada. Esta justificación se encuentra al poder optimizar los costos de operación y facilitar el control de la producción durante la ejecución. Una herramienta que contribuye a la planificación es el estudio del trabajo.

El estudio de tiempo se divide de acuerdo al diseño en:

- Tiempo Trabajado, que a la vez se subdivide en Trabajo Productivo y Trabajo no Productivo.
- Tiempo No Trabajado, que se subdivide en Tiempo Justificado y Tiempo no Justificado.

Estos Tiempos de Trabajo consisten en:

- Tiempo Total (T T): es el tiempo total incluido dentro del período considerado.
- Tiempo Programado (S H): es el número de horas que se programa para trabajar en una determinada actividad en un día; normalmente son 8 horas y se expresa en horas programadas.
- Tiempo Productivo (T P): es el número de horas en que la cuadrilla, yunta, máquina u otro elemento está verdaderamente trabajando; se expresa en horas efectivas.
- Tiempo No productivo o Atrasos (T I): en esta categoría se incluye el tiempo durante el cual la máquina o cuadrilla no está produciendo.
- Porcentaje de Eficiencia (%U): es el porcentaje del tiempo programado en que verdaderamente la cuadrilla o máquina estuvo produciendo; matemáticamente será:

$$\%U = \frac{TP}{SH} \times 100$$

Donde:

U = Eficiencia

TP = Tiempo Productivo

SH = Tiempo Programado



## 2. **Métodos y tiempos de trabajo**

### a. Método de tiempo total

Se basa en la producción obtenida en un periodo de tiempo determinado (hora, día, mes).

### b. Método por muestreo aleatorio

Está basado en principios estadísticos según el cual se hacen observaciones instantáneas al azar o de forma sistemática. (H. Luna y J. Sánchez, 2008)

## 3. **Tipos de cronometraje**

Los tipos de muestreo de tiempos varían según las necesidades de precisión y el objetivo del estudio. Algunos de ellos se describen a continuación:

### a. Control por producción

El análisis productivo grosero se realiza conociendo la cantidad de producto obtenida en un periodo de tiempo determinado (un mes, un año) sin tener un conocimiento preciso de los factores de influencia.

### b. El control por partes diarios o turnos shift-level studies

Para ello cada trabajador debe rellenar un estadillo en el que se le solicita la hora de inicio y fin de tarea, unidades de producto manipuladas y otros aspectos de interés para la empresa, como horas de mantenimiento, avería, cantidad de combustible gastado, etc.

### c. Cronometraje discontinuo o multimomento

Se fija un intervalo de tiempo (desde un minuto a más de 5 minutos dependiendo de la precisión) tras el cual se registra en un estadillo la operación elemental que desarrolla el operario o maquina en ese momento. Se puede emplear un reloj pitador en que se fija el

intervalo de tiempo. Además se anota, de forma continua, la cantidad de producto elaborada así como los parámetros más influyentes en el tiempo empleado en realizar ese producto.

d. Cronometraje de vuelta a cero

Que el cronómetro se detiene al final de cada operación elemental y vuelve inmediatamente a cero al inicio de la siguiente. Se puede emplear un formulario con las operaciones detalladas donde anotar el tiempo.

e. Cronometraje continuo

Registra el tiempo total empleado en cada operación realizada de forma secuencial. El registro se hace sobre unas libretas electrónicas o PDAs indicando el final de cada operación elemental y registrando los parámetros explicativos

f. Filmadoras

Medición de tiempos mediante el empleo de filmaciones de las operaciones realizadas por los trabajadores o máquinas. Se recomienda esta técnica para el entrenamiento de nuevos cronometradores o el establecimiento de criterios comunes entre diferentes cronometradores.

g. La tecnología G.P.S

(Geographic Positioning System) en el control de tiempos proporciona la localización de un punto por la latitud longitud y altitud a que se encuentra una máquina en diferentes momentos. Este tipo de control de tiempos es útil para máquinas dinámicas como camiones de mercancías. Proporciona información en tiempo real evitando esperas para obtener los resultados de los rendimientos (McDONAL, 1999). (Y. Ambrosio y E. Tolosana, 2007)

## 5. Estudio del trabajo

Para Gutiérrez (1999), el estudio del trabajo es una de las técnicas para reducir el contenido total de trabajo de un producto.

El estudio del trabajo es la expresión que se utiliza para designar las técnicas de estudios de métodos y de la medida del trabajo, mediante las cuales se asegura el mejor aprovechamiento posible de los recursos humanos y materiales para llevar a cabo una tarea determinada.

El estudio del trabajo está especialmente relacionado con la productividad, puesto que se utiliza para aumentar la producción obtenida de una cantidad determinada de recursos sin recurrir a nuevas inversiones de capital, salvo quizás en medida muy limitada (Gutiérrez, 1999).

Frauenholz (1984), dice que la finalidad de los estudios del trabajo es aumentar la rentabilidad de una empresa con la debida consideración de las capacidades y necesidades de los trabajadores, afinar el trabajo (lograr una mayor producción del trabajo, con un menor aporte físico en un tiempo más corto); y afinarlo también a través de la mecanización.

Frauenholz (1984), señala que utilizando el tiempo como criterio, se pueden analizar, describir y optimizar todas las operaciones de un sistema productivo.

## **6. Influencias de los tiempos de trabajo**

El éxito económico de una empresa depende fundamentalmente de los tiempos de trabajo. Los mejores procesos productivos generalmente son aquellos que logran minimizar el tiempo de trabajo para la misma cantidad de producto (Barnes, 1979).

CORFO-INFOR (1989), señala que el tiempo efectivo de trabajo es un factor que incide directamente sobre la capacidad de producción y los costos, y está presente en cualquier unidad de producción. Por lo tanto, identificar las áreas problemáticas y puntos específicos que requieren de atención en una fase de producción, en cuanto a las causas de los tiempos no productivos y su duración, permite mejorar la eficiencia en que se desarrolla un sistema productivo.

El tiempo básico de trabajo presupone una labor continua que en la práctica rara vez se logra. Toda interrupción que obligue al trabajador o a la máquina, a discontinuar el proceso, cualquiera que sea su causa, debe ser considerado como tiempo improductivo; debido a que este disminuye la productividad, pues alarga la operación (Gutiérrez, 1999).

Además, toda acción orientada a un mejor aprovechamiento de los tiempos de trabajo, no sólo favorece su gestión productiva en particular, sino que se traduce en un beneficio para la empresa, debido a la disminución de los costos de producción (CORFO-INFOR, 1989).

## **D. EQUIPO Y MAQUINARIA FORESTAL**

### **1. Motosierras**

Una motosierra es una máquina de excelente rendimiento y de amplia utilidad. Reemplaza a una gran cantidad de herramientas como el hacha y el tronizador y distingue por su mayor comodidad y capacidad. Sin embargo, el uso de una motosierra requiere tomar precauciones debido a que puede causar numerosos accidentes. Las motosierras de motor de gasolina son muy potentes y tienen muy buena movilidad. Se utilizan en trabajos pesados y requieren mantenimiento. Usan una mezcla de aceite con gasolina, por lo que despiden olor. ([www.misrespuestas.com](http://www.misrespuestas.com))

#### **a. Parámetros de rendimientos**

En pinos de mayor tamaño (alrededor de un  $m^3$  c/c por pie), no es corriente en España la ejecución del apeo de forma separada del desramado, dado que se emplea generalmente el sistema de aprovechamiento de fustes enteros y el operario que apea suele desramar a continuación, o los operarios de cada cuadrilla se intercambian las tareas. No obstante, se puede citar la referencia de Saldanha, *et al.*, que tras una experiencia de estudios de tiempos en una corta ha hecho de pino pinaster de aproximadamente  $1m^3$  en un monte de fisiografía muy suave en Foja (Portugal), hallaron rendimientos de  $27.2m^3$ /hora productiva.

Para la operación de tronzado, en las ecuaciones predictivas de rendimiento, aparte del

tamaño del árbol expresado por su diámetro normal o volumen, suele incluirse como variable explicativa tanto la longitud de las trozas como algún parámetro fisiográfico – el más utilizado es la pendiente media. El tronzado rara vez se suele llevar a cabo en monte como una operación aislada en los aprovechamientos españoles, siendo lo normal que el mismo operario que apea y desrama tronce los fustes y, a veces, incluso los apile. (E. Tolosama, V. Gonzales y S. Vignote. 2000)

Datos de rendimientos de trabajos de apeo y elaboración citados por E. Tolosama, V. Gonzales y S. Vignote. (2000) de distintos autores ibéricos en masas de coníferas se resumen a continuación:

- 1) Para el tronzado en pista (longitudes variables, sin incluir apilado) de pino radiata de  $0.48\text{m}^3$  de volumen unitario:  $8.1\text{m}^3$  por hora de presencia (Arconada, R et al., 1999).
- 2) Mediante el análisis disgregado de datos de cronometraje, Martínez Carnero et al., (1997) desarrollaron unas ecuaciones predictivas de tiempo básico de apeo, desramado y tronzado a 2.5m, junto con unos factores de corrección para su conversión en tiempos reales estimados, que arrojan, por ejemplo, los siguientes resultados para los casos de aprovechamientos gallegos con pendiente entre el 25 y el 40%, escasa pedregosidad y buenas condiciones atmosféricas en que fueron desarrolladas. En cuanto a rendimientos de apeo, desramado y tronzado: En pino radiata (corta a hecho): para un volumen por árbol de  $0.5\text{m}^3$  c/c:  $3.9\text{m}^3$  por hora de trabajo (coeficiente de utilización – tiempo productivo por tiempo de trabajo – del 71.4%).
- 3) El rendimiento medio de apeo, desramado y tronzado – en trozas de 4 a 5m – de pino pinaster (CBE, 1993); en pinos de un metro cúbico con corteza en una corta ha hecho de  $260\text{m}^3$  c/c por Ha sobre terreno llano localizada en Figueira da Foz (Portugal):  $14.3\text{m}^3$  c/c por operario y por hora productiva (CBE, 1997), en pinos de  $1.14\text{m}^3$  c/c en una corta ha hecho de  $443\text{m}^3/\text{Ha}$  en un terreno del 40% de pendiente, en Lousa (Portugal):  $4.54\text{m}^3$  por operario y hora productiva.

## 2. Tractor de arrastre (skidder)

El tractor de arrastre -skidder en inglés- es un tractor forestal empleado como medio de saca en el aprovechamiento maderero, puede ser empleado como medio de reunión y desembosque o sólo de desembosque dependiendo del sistema de aprovechamiento aplicado. Puede trabajar en pendientes de hasta un 50 ó 55% en línea de máxima pendiente y hasta un 35% en curva de nivel, cifras estas orientativas y más aun con las peculiaridades que se dan en España.

Normalmente llevan una hoja dozer delantera que les da una cierta versatilidad e independencia, pudiendo con ella modificar los accesos a la masa desde los taludes de las vías adyacentes, y seguridad, ya que sirven de freno en altas pendientes.

#### **a. Clasificación de los tractores de arrastre**

##### **1) Órgano de trabajo**

###### **- Tractor de arrastre de cable**

El órgano de trabajo es un cable, accionado por la toma de fuerza, y una placa protectora de las ruedas del eje trasero, llamada "escudo", sobre la que se eleva un "mástil" al final del cual se encuentran unos rodillos por las que sale el cable. La función es, sencillamente, hacer que el punto de apoyo del cable esté elevado y permitir que, cuando se arrastra la carga, se haga en semi-suspensión, para disminuir la superficie en contacto con el suelo de esta y la resistencia que presenta al avance del tractor. Además permite el desembosque de madera corta en suspensión.

Una de las cosas que hace de uno de estos tipos de T.A. una máquina muy versátil en España es el hecho de que el cable permite trabajar en altas pendiente (superiores al 50 ó 55%) en una modalidad de trabajo específica de esta máquina: mediante el método denominado "cableado desde pista".

###### **- Tractor de arrastre de grapa**

El órgano de trabajo es una grapa accionada por medio de un circuito hidráulico, que

sustituye al cable como elemento de trabajo.

La grapa recoge las trozas o los fustes directamente del suelo sin necesidad de un ayudante del tractorista que amarre la carga y sin necesidad, al menos en principio, de que las trozas o los fustes se apoyen sobre otras que proporcionen un vano para facilitar el enganche de la carga, ya que la grapa funciona como una pinza.

En los "**sin arco**", la grapa se une al chasis trasero mediante un sistema intermedio que le da una cierta movilidad y se sitúa invertida, es decir, con las uñas de la grapa hacia arriba.

En este caso la grapa no coge directamente la carga, si no que ha de ser colocada sobre esta por un segundo dispositivo que puede ser ajeno a la propia máquina, o ir incorporada en este, llevando además en este caso un brazo de grúa y una grapa similares a los empleados en los autocargadores.

En los que tienen **arco**, la grapa cuelga de él y en ningún caso necesitan de medios auxiliares ni operarios distintos del tractorista.

#### **b. Distancia promedio de madereo (DPM).**

J. Rojas (2004) dice y cita a ciertos autores sobre distancia promedio de madereo: Los resultados obtenidos reflejan claramente que: al aumentar la inclinación del camino el costo de la cosecha aumenta considerablemente, esto se debe principalmente al aumento de la distancia promedio de madereo (DPM).

Según Ramírez (2001), la DPM se puede definir como la distancia media a recorrer por la máquina para trasladar la madera dentro de un rodal a un punto determinado. Esta es una de las variables más importantes que influyen dentro de los costos de las faenas de extracción que intervienen para la generación del modelo total de costos.

Los autores Aedo, Neuenschwander y Chacón (1998), mencionan que la extracción de madera mediante, equipos mecanizados como los skidders, operan en condiciones adecuadas cuando las DPM fluctúan entre 100 y 300m.

Según Matthews (1942), cuando el madereo se realiza directamente a caminos, la DPM es fácilmente determinada multiplicando la profundidad del rodal (P), por el factor 0.5, sin embargo, en los procesos de madereo a canchas o puntos de acopio en el bosque, donde no se considera la construcción de caminos en el interior de los rodales, el cálculo se hace más complejo.

### **3. Cargadora (log loader)**

La carga de productos forestales en bruto se suele hacer mecánicamente. En ciertas regiones en que la materia prima es suficientemente corta y ligera para ser manejada por un solo hombre, la carga puede hacerse a mano.

Hay muchas formas de emplear máquinas para cargar los vehículos de transporte. Hay dos tipos generales de cargadores mecánicos para trabajar a borde de pista:

- a. Los que están dotados de un brazo articulado y grapa y
- b. Los que están dotados de una horquilla para trozas (cargadores frontales) o de una garra, que se mueven entre la pila de trozas y los vehículos de transporte, durante la operación de carga.

Ambos tipos son móviles, pudiendo emplearse la mayoría de las máquinas para cargar madera corta, troncos enteros o árboles completos, aunque algunos tienen fuertes limitaciones; por ejemplo, los cargadores frontales cuando cargan madera corta de menos de 2 m de longitud. Las grúas de brazo rígido, equipadas con grapa para trozas, se utilizan también en pequeña escala para cargar trozas de aserrío y piezas más largas. (Ortiz, L.199)

### **4. Torre de madereo**

La necesidad de usar torres de madereo se debe a un problema de pendiente del terreno, y no para efectuar las faenas a menor costo (Larraín *et al*, 1989).

En sistemas de cosecha con madereo por cables, las canchas de acopio deben ser bien planificadas, especialmente en terrenos de pendiente muy alta. Deben tener lugar suficiente para la torre, la clasificación de las trozas, la grúa y un camión para el transporte de las



trozas. Finalmente, deben tener lugar para almacenar un cierto volumen de productos (Conway, 1982).

Siendo el método de extracción, sistema de cables, la cancha debe ser construida con una pendiente ligeramente opuesta desde la torre, no superior al 10%. Esta condición reducirá los riesgos de deslizamiento de las trozas (Vergara, 2000).

En condiciones similares de sitio, el madereo con cables produce una menor alteración sobre el suelo que el madereo terrestre. Bajo ciertas condiciones de suelo (por ej. suelos de baja capacidad de soporte, suelos altamente frágiles) y donde la cosecha no tiene restricciones de otro tipo, el madereo con cables debiera ser la técnica preferida (Gayoso y Acuña, 1999).

Giordano (1959), señala que los sistemas de cables aéreos constituyen una alternativa de madereo que permite operar en terrenos con topografías accidentadas e inaccesibles.

Los sistemas de cosecha con cables son fundamentalmente diferentes de otros sistemas de extracción. En los sistemas de madereo con cables, uno o más cables suspendidos son usados para transportar las trozas o árboles desde el lugar de volteo hasta la cancha de acopio. Los cables son operados por una máquina dotada de tambores o huinches, la que usualmente se ubica en la cancha de acopio (Dykstra, 1996).

Wackerman *et al* (1966), señala que como método de extracción, los cables tienen especial importancia en aquellas regiones donde hay bosques con árboles grandes y pesados, o en aquellas zonas con topografía accidentada y/o pendiente fuerte.

Por otra parte, Largo (1985), menciona que uno de los sistemas de extracción de amplia difusión en los países de avanzada tecnología en la cosecha del bosque lo constituye el uso de cables, los cuales están especialmente diseñados para operar en terrenos con fuerte pendiente.

Con respecto a sus características de operación, es posible decir que, debido a la alta inversión en equipo, el alto costo en aparejos que es necesario, el frecuente movimiento del equipo y los cambios de instalación, el sistema de cable resulta económicamente viable

sólo cuando se cosechan bosques maduros, densos y relativamente uniformes (Wackerman *et al*, 1966).

Del mismo modo, el madereo con cables no es recomendado, en general, para cortas intermedias y/o parciales que pretenden dejar bosque con potencial de crecimiento, debido al daño severo que sufre la vegetación que se intenta dejar para una cosecha posterior.

Como variable de diseño del sistema de cosecha con cable, es importante considerar como uno de los aspectos técnicos más importantes en la operación del equipo, el adecuado uso de los soportes, tanto extremos como intermedios. De la buena selección e instalación de éstos, depende la seguridad y la eficiencia operacional del sistema; ya que debe resistir de manera adecuada el peso de la instalación y las tensiones generadas por el transporte de las cargas de madera (Carrasco, 1984).

Según Conway (1982), en los sistemas de cable, a diferencia de los sistemas terrestres, las trozas son movidas hacia la máquina; en cambio en los sistemas terrestres, la máquina se desplaza por el terreno con las trozas. En el primer sistema, la máquina está estacionaria y maderea las trozas por medio de uno o más cables metálicos flexibles, los cuales se llaman líneas. Estos sistemas de cables se emplean en pendientes más abruptas (mayores a 30%) (Eeronheimo y Makinen.1995).

"En el uso de cables aéreos la dirección de arrastre es generalmente pendiente hacia arriba, variando el trayecto de transporte máximo entre 300 y 600 metros, dependiendo del tipo de maquinaria empleada. En una brigada de trabajo laboran de 10 a 12 hombres.

El rendimiento diario típico, en fustes completos, es de 80-100  $m^3/día$  siendo el trayecto de transporte promedio de 300 metros aproximadamente" (Eeronheimo y Makinen.1995).

Las torres móviles fueron desarrolladas hace unos 20 años como un mejoramiento de los mástiles de madera en la costa de Norteamérica en ese tiempo. Desde su introducción, éstas han sido ampliamente aceptadas debido a su movilidad y mayor rapidez frente a los sistemas tradicionales existentes (mástiles de madera). Este sistema tiene 3 componentes fundamentales que son la torre, el motor (yarder o fuente de poder) y el carro.

Además se clasifican en 3 tipos, pequeñas, medianas y grandes, diferenciándose según la altura de la pluma (torre), potencia y distancia de madereo (FAO, 1981).

Los yarders generalmente son motores diesel, con potencias que van desde 90 hasta 700 hp de potencia, tienen de 1 a 4 tambores simples, los que a veces tienen ranuras, o poleas continuas (Conway, 1982). El número y tipo de tambores deberían ser seleccionados cuidadosamente ya que esto limita la variación de las configuraciones de cable a ser usadas (FAO, 1981).

Estos sistemas utilizan soportes intermedios para obtener la altura deseada y de esta manera mantener la carga sobre el terreno.

La planificación y Lay-out de líneas aéreas se basa en los principios de tensión de cables y diseño de deflexión. Distancias mayores de 1000 metros se usan en los Alpes Europeos cuando la deflexión es buena.

El sistema gravitacional es el sistema tradicional usado en Europa central. Estos sistemas normalmente requieren la colocación de la máquina en la punta superior de la zona de madereo. Se requiere de una pendiente en la línea aérea de modo que el carro baje (se deslice) a través de ésta.

Consideraciones económicas y técnicas son esenciales para la planificación de instalación de torres de madereo ya que determinan el costo total de la cosecha. Si el empleo de sistemas de cables no es económico, entonces habrá otros motivos restrictivos que justificarán su uso (Trzesniowski, 1978).

## **E. COSTOS DE COSECHA FORESTAL**

El término "*Costo*" tiene variados significados y aplicaciones, por lo que pueden existir grandes diferencias en esta idea. Según Jobstl (1985), algunas actividades de cosecha requieren el empleo de ciertas labores; el dinero equivalente de estas entradas es llamado costo; entonces, costo se puede definir como "el valor utilizado para obtener retornos". El término costo posee dos componentes, los cuales son cantidad y precio de los factores de entrada.

En la cosecha forestal, los costos varían con el área a ser cosechada. Además del grado de mecanización, factores como diámetro de árboles, método de volteo, condiciones de terreno y medidas de planificación y organización tienen un efecto considerable en los costos. Usualmente, el madereo con torres es más caro con respecto a skidders (Frauenholz, 1982).

Según Linderos (1999), para determinar los costos de la cosecha forestal se debe considerar lo siguiente:

- Basarse en un sistema de recolección de datos
- Formar parte de un sistema de información
- Las fuentes de información deben ser confiables

Objetivos para la determinación de costos:

1. Comparación
2. Adquisición y arriendo de equipos determinación rentabilidad del trabajo
3. Determinación rentabilidad del trabajo
4. Determinación de bases para contratos, tarifas y precios
5. Costos para planificación y presupuesto

Los cálculos de costos deben ejecutarse de manera tal que sean:

1. Objetivos
2. Comparables
3. Válidos

Se denomina costo horario de un medio de producción al conjunto de costos directos imputables a dicho medio por hora de utilización del mismo. La definición de lo que se entiende por “hora de utilización” es uno de los principales problemas en la cuantificación de los costos horarios. Los componentes que se suelen considerar en el cálculo de costes horarios son los siguientes:

### **1. Costos fijos**

Costos fijos, son aquellos que permanecen constantes en el corto plazo, cuando varía el volumen de producción, es decir, son insensibles a los cambios de la cantidad producida (Sáez *et al.* 1993).

Son aquellos que se producen independientemente del medio de producción empleado, trabajo o no. No obstante, su magnitud varía en función de los que dicho medio trabaje, aunque no de todo modo proporcional al tiempo en que lo haga, por lo que su valor horario dista mucho de ser fijo. Los costos son:

a. Costo de depreciación (de amortización)

Es un gasto no desembolsable, el cual es la disminución del valor de los bienes como consecuencia de determinadas causas. Representa el coste que supone la recuperación del capital invertido en la adquisición de la máquina.

b. Costo de intereses

Es el costo de financiamiento del capital invertido en la adquisición de la máquina, normalmente obtenido por un crédito bancario. Su magnitud depende de la tasa de interés.

c. Costo de seguros e impuestos

Es el debido a estas cargas, y se suele considerar para las máquinas que las soportan. Por su cálculo, lo idóneo es el conocimiento de los gastos anuales por concepto de seguros (generalmente de siniestro y de responsabilidad civil).

## 2. Costos variables

Costos variables, son aquellos que dependen del volumen de producción, es decir, muchas veces varían proporcionalmente a medida que aumenta o disminuye la cantidad de productos fabricados. Por lo tanto, cada vez que se produzca una unidad más de producto

se incurrirá en una cantidad mayor de recursos utilizados, y por lo tanto, en un mayor costo (Sáez *et al.* 1993).

Se llama así a los costos horarios que sólo se producen si se utiliza la máquina, y cuya magnitud global se supone proporcional o casi al número de horas de utilización en un cierto periodo.

a. Costo de combustible

Se calcula como producto del consumo de combustible por hora de funcionamiento y el precio de dicho combustible. El cálculo es inmediato se conocen los consumos reales.

b. Costo de lubricantes

Se calcula del mismo modo que el de combustible a partir de los consumos y de los precios de los diferentes lubricantes (aceite motor, líquidos hidráulicos, aceite de la transmisión, etc.). En caso de no conocer estos consumos, se debe estimar los costes de lubricantes, para tractores de saca convencionales, entre 5 y un 10% de los costos horarios de combustible, y multiplicar por coeficientes mayores que la unidad en el caso de máquinas de transmisión hidrostática o con gran complejidad en los circuitos hidráulicos de sus elementos de trabajo.

c. Costos de reparación y mantenimiento

Es uno de los costos de más difícil valoración, entre otras razones porque varía notablemente a lo largo de la vida de la máquina. La mayor parte de los autores estiman que se puede estimar su valor medio a lo largo de N horas de vida útil como porcentaje de los costes de amortización, siempre que la máquina tenga un uso medio. La magnitud de este porcentaje varía en función del tipo de máquina y de las condiciones de trabajo, desde el 60 al 100%.

d. Costo de accesorios

Estos costos se suelen calcular de manera independiente debido a que los accesorios de las máquinas tienen una vida útil menor a la máquina. Para el caso de un harvester son la cadena de la sierra, los rodillos o el cabezal completo.

### 3. Costo de mano de obra

En el caso de cálculo de costos, se suele imputar a la máquina el coste del operario y, en su caso, de los operarios auxiliares que lo atiendan. Para ello, si estos operarios trabajan exclusivamente con la máquina, habría que dividir su costo anual bruto (incluidos todos los costos sociales y de seguros) por el número de horas de utilización de la máquina al cabo del año. (P. Carey, 1997).

Además de la mecanización, hay otra serie de factores, que tienen un efecto considerable sobre los costes, por ejemplo los diámetros de la madera, el método de apeo utilizado, las condiciones topográficas y las medidas de planificación y organización. La explotación maderera con cable suele ser más cara que el arrastre.

Los costes de los jornales pueden equipararse con el aporte de tiempo necesario en trabajo manual, que no sólo es valioso para reducir los costes sino que en algunos casos lo es también para la creación de puestos de trabajo, que puede ser un requisito de una política social determinada.

Un aumento importante en los costes de compra y en los gastos de funcionamiento y un menor grado de utilización de la maquinaria disponible, junto con una menor producción debida a una organización ineficiente del trabajo, etc., podrían traducirse en una reducción de los beneficios que se habrían podido obtener mediante mecanización o incluso en pérdidas. La primera tarea de los planificadores es identificar tal tendencia negativa y evitar tales problemas orientando la mecanización a las necesidades reales.

El grado necesario de mecanización en los aprovechamientos de maderas variará en cada caso. Además del nivel de los jornales, las condiciones sociales, las normas o requisitos de seguridad y el peso de la madera, suelen jugar un papel importante en el análisis de costes en que se basan las decisiones; por ello deben tenerse en cuenta todos estos factores. (L. Ortiz. 1995)

#### **4. Costos totales**

Los costos totales por unidad decrecen con el aumento de la producción anual, ya que, éstos disminuyen debido a que se reparten entre una producción mayor (Garcías, 2004).

En toda comparación de costos de máquinas, se debería usar la misma unidad de tiempo para todas las máquinas (Linderos, 1999).

#### **5. Estudios de Costos**

Los estudios de costos de las operaciones permiten obtener el siguiente tipo de información (Vignote et al. 1993):

- evaluar cuál de los diferentes métodos con que se puede realizar una operación resulta económicamente más barato en un momento dado.
- tener la base para predecir el comportamiento de los costos de una operación realizada por diferentes métodos, y por tanto, determinar los métodos a utilizar en el corto y largo plazo.
- ayudar a conocer los costos totales de la cosecha forestal.

También, según Tauer (1978), al comparar varios sistemas de trabajo y maquinaria se puede determinar:

- el cambio de maquinaria.
- los cambios en la organización y método de trabajo.
- la selección del mejor método de cosecha.

#### **a. Conceptos importantes de costos**

##### **1) Costo unitario y costo total**

Estos términos se utilizan dependiendo si los costos están relacionados con la producción unitaria o producción total (ej. costo por pieza u hora, costo de operación o centro) (Jobstl, 1985).



El costo total de un equipo es la suma de su costo de posesión y su costo de operación. El costo de posesión considera precio, intereses, seguros, impuestos y el valor de reventa de la máquina. El costo de operación incluye los costos de combustible, mantención rutinaria y preventiva, elementos de desgaste, reparaciones y el costo del operador (Buckley, 1991).

El costo de posesión por hora es relativamente constante, en cambio, el costo de operación está directamente relacionado con las horas de trabajo del equipo. A medida que las horas de trabajo aumentan, disminuye el porcentaje de participación del costo de posesión en el costo total del equipo.

**2) Costo Directo y Costo Indirecto:** el costo directo está estrechamente relacionado con una actividad en particular, por lo que se vincula con el costo unitario (o de producción). El costo indirecto no está relacionado con una actividad en particular, sino con un conjunto de actividades o actividades cercanas al proceso productivo.

### **3) Costos Operacionales**

La máquina está en el centro de la mayoría de las operaciones y sistemas de madereo, por lo que el costo de máquina-hora es un factor importante en el costo total (Jobstl, 1985).

El costo operacional de la maquinaria corresponde a la suma de inversiones realizadas durante un período de tiempo para mantener y operar un equipo que participa en un proceso productivo (Ibáñez y Rojas 1994).

"El estándar utilizado para determinar los costos operacionales de la maquinaria forestal es la hora operativa; esta se puede definir como una hora durante la cual el motor de una máquina está en funcionamiento, independientemente si la máquina se encuentra o no trabajando a su capacidad total" (Trzesniowski, 1978).

El costo operacional se compone de costo fijo y costo variable, ya que estos factores varían en mayor o menor grado con respecto al volumen de producción (Ibáñez y Rojas 1994). Según Tauer (1978), para efectos prácticos, el costo total debe ser dividido en costo fijo y costo variable.

### **4) Costos Fijos**

Los costos fijos corresponden a aquellos que son relativamente independientes de la utilización de los equipos y que se relacionan en especial con el valor de adquisición de la maquinaria. Están presentes en todo momento, se encuentre o no la maquinaria trabajando, está más relacionado con el tiempo que con la actividad (Jóbstl, 1985); a este ítem corresponde Depreciación, Interés sobre el Capital invertido (IIMA, CAE, etc), seguros, etc.

## 5) Costos Variables

Los costos variables son aquellos que están presentes sólo cuando la maquinaria se encuentra trabajando, están más relacionados con la actividad que con el tiempo. Es constante por cada unidad de producción, pero el costo variable total aumenta con incrementos de la producción (Josbtl, 1985); a este ítem corresponden combustible, neumáticos, aceites, implementos de seguridad, etc.

Los costos de combustible, lubricantes y filtros son costos operacionales reales. Esto debido a que el consumo "por hora" de estos elementos permanece casi constante de año a año (Bowers,W 1977).

Para obtener los costos de combustible, se debe conocer el *consumo promedio* de combustible de la máquina. Aunque es posible calcular los requisitos de combustible para niveles específicos de arrastre o carga, en realidad no es valioso para propósitos de cálculo de costos (Bowers,W 1977).

Para calcular el gasto de combustible, basta con multiplicar el costo unitario de este (precio por litro) por la cantidad de petróleo utilizado por el equipo (Ibáñez y Rojas 1994).

Para calcular el gasto de lubricantes se multiplica el consumo de lubricantes por el precio unitario de cada uno de estos (aceite motor, hidráulico, etc) (Ibáñez y Rojas 1994).

### b. Depreciación

Esta se refiere a la pérdida de valor que experimentan los bienes por su edad, uso u obsolescencia (Ibáñez, M y Rojas 1994).

El valor de adquisición de una máquina que participa en un proceso productivo forma parte del costo total de producción correspondiente al número de años en que dicha maquinaria es económicamente útil. Entonces, para calcular el costo de producción anual se hace necesario distribuir el valor de adquisición de la maquinaria en el número de años de vida útil de ésta. El valor asignado a cada año es la Depreciación.

Por otro lado, la vida económicamente útil de un equipo está limitada por tres razones fundamentales como edad, desgaste y obsolescencia.

Las máquinas más nuevas tienen un precio mayor al de las más antiguas, aún cuando los cambios de modelo pueden provocar muy poca diferencia en la función de la máquina.

Desgaste es el resultado del proceso de utilización de este equipo, mientras más se utilice una máquina, mayor será su desgaste. Como resultado, la habilidad de funcionar como nueva se reduce o se puede averiar constantemente, significando que se ha perdido su confiabilidad.

Obsolescencia es la pérdida de utilidad comparativa por el desarrollo de nuevos equipos o procesos, nuevos diseños, u otras causas no relacionadas con la condición física del equipo. Por ejemplo, si es que ha habido un cambio importante de modelo o la máquina ya no tiene más la capacidad suficiente, su valor puede reducirse grandemente (aún cuando no esté desgastada). También se puede introducir conceptos de máquinas nuevas que pueden volver obsoletas las máquinas similares existentes.

Existen varios métodos para calcular la depreciación, entre los más comunes se encuentran:

### **1) Método de la línea recta**

Llamado también método lineal, o de depreciación constante. Es el más empleado debido a su simplicidad y compatibilidad con la fórmula de cálculo del interés del capital. Aquí, el valor del equipo experimenta una tasa anual constante de pérdida de valor a lo largo de su vida útil económica. O dicho de otro modo, la reducción de valor de la máquina es igual a lo largo de toda su vida útil.

### **2) Método de desvalorización acelerada**

Llamado también método de suma de los dígitos. Aquí, la desvalorización es más alta los primeros años de vida de la maquinaria, de modo que al acercarse al final de la vida útil económica, la desvalorización es menor.

### **3) Desvalorización de saldo decreciente**

Con este método, una máquina se desvaloriza una cantidad diferente cada año, pero el porcentaje anual de desvalorización es el mismo.

#### **c. Interés Sobre la Inversión**

Para algunos es el interés sobre el préstamo o crédito obtenido para adquirir la maquinaria. Mientras que para otros corresponde a la utilidad que se deja de percibir por tener un capital inmovilizado.

#### **d. Reparación**

Los costos de reparación, generalmente considerados como costo operacional, son otra parte importante de los costos de maquinaria. Mientras más se usa una máquina, mayores serán sus necesidades de reparación (Bowers, W 1977).

Los costos de reparación consisten en *todos los gastos* de piezas y mano de obra para reparaciones hechas en un taller o en terreno mismo.

Según Bowers (1977), el propósito de reparar una máquina es conservar su seguridad de funcionamiento y mantenerla realizando adecuadamente su trabajo. Mientras más años se use la maquinaria, se necesitan más reparaciones para mantener la "seguridad".

Los costos de reparación se deberían calcular de datos reales sobre repuestos y reparaciones que el equipo ha necesitado durante el año. De este modo la estimación sería precisa. Sin embargo, en la práctica resulta difícil llevar un control por equipo para este tipo de gastos, de ahí que la mayoría de los autores coincidan en aplicar un porcentaje fijo anual sobre el valor del equipo. Pero debido a que la mantención y reparación varían con la

edad, tipo y horas de funcionamiento de la maquinaria, la aplicación de este porcentaje debe ser cuidadosa para que resulte una buena aproximación. Corrientemente se aplica un porcentaje al valor inicial actualizado de la maquinaria, llamado coeficiente de reparación, el cual va desde 2 a 12 % (Ibáñez y Rojas 1994).

## **F. LA ESTADÍSTICA COMO HERRAMIENTA**

La estadística es la herramienta básica que se usa en la vida cotidiana. Los métodos estadísticos permiten describir las características de una población, por medio de valores tales como la media, desviación estándar, llamados valores estadísticos. La población se define como el conjunto de unidades o elementos de la misma naturaleza cuya definición debe ser claramente expresada. Un bosque se considera como un conjunto de un número finito de parcelas de igual o desigual tamaño, o como el conjunto de todos los árboles que viven en el bosque.

La muestra está formada por colecciones no traslapadas de elementos que cubren la población completa, estas son tomadas para la inferencia. Los elementos son los objetos sobre los cuales se realizan las predicciones.

El valor estadístico (descriptivo), es el valor calculado, que representa ciertas características y que se llama parámetro cuando se calcula de la población. Cuando se toma de una muestra se llama estadístico.

### **Estadística descriptiva**

La estadística descriptiva analiza, estudia y describe los individuos de una población. Su finalidad es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla lo necesario para que pueda ser interpretada cómoda y rápidamente y, por tanto, pueda utilizarse eficazmente para el fin que se desee. El proceso que sigue la estadística descriptiva para el estudio de una cierta población consta de los siguientes pasos:

- Selección de caracteres dignos de ser estudiados.
- Mediante encuesta o medición, obtención del valor de cada individuo en los caracteres seleccionados.
- Elaboración de tablas de frecuencias, mediante la adecuada clasificación de los individuos dentro de cada carácter.

- Representación gráfica de los resultados (elaboración de gráficas estadísticas).
- Obtención de parámetros estadísticos, números que sintetizan los aspectos más relevantes de una distribución estadística.

### a. Media aritmética

Es una media de tendencia central para describir una característica de la población y se define por la fórmula:

$$X = \frac{\sum xi}{n}$$

Donde:

xi = valores observados de la i-ésima unidad muestral

n = número de unidades de la muestra (tamaño de la muestra)

### b. Desviación estándar

Es el índice de dispersión más usado para medir la desviación de los valores individuales con respecto a la media. Un valor bajo indica una población homogénea, un valor alto indica una población heterogénea. La desviación estándar se puede estimar por dos fórmulas.

Fórmula conceptual

$$S = \sqrt{\frac{\sum XI^2 - (\sum XI)^2}{n-1}}$$

Donde:

S= desviación estándar

xi= valor observado de la i-esima muestral

n = tamaño de la muestra

### c. Coeficiente de variación

Es el índice usado para la dispersión en términos relativos y equivale a expresar la desviación como porcentaje de la media. El coeficiente de variación permite comparar la variabilidad de población que tiene diferentes medias y se calcula por:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}}$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación en %

S = Desviación estándar

x = Media aritmética

#### **d. Error estándar**

En un muestreo lo que más nos interesa, aparte de la media, es conocer su exactitud. Se sabe que cada media es estimada con base en un muestreo. Tiene un error estadístico, el cual también hay que calcular. A diferencia de la desviación que mide el promedio de las desviaciones de las observaciones individuales respecto de la media muestra, el error estándar mide el desvío de las medias muestrales respecto de la media. Esta se calcula por la fórmula:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{nx(1-n/N)}}$$

Donde:

S = desviación estándar

n = tamaño de la muestra (número de unidades muestrales)

N = tamaño de la población (expresado en parcelas)

## **2. Calculo del número de muestras**

$$n = \frac{N}{e^2(N-1) + 1}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

e: Error muestral

N: Población

### 3. Regresión

Para el proceso de estimar una de las variables (la variable dependiente) de la otra (la variable independiente), se pueden utilizar las siguientes:

Tipo de regresión: lineal, logarítmica, exponencial, parabólica y de potencias.

## G. CARACTERÍSTICAS DEL PINO (*Pinus radiata* D.Don)

### 1. Clasificación Taxonómica:

**Nombre científico:** *Pinus radiata* D.Don

**Familia:** *Pinaceae*

**Nombre comunes:** Pino insigne, Pino de Monterrey

### 2. Distribución geográfica

“Especie originaria de Monterrey (México), región ubicada dentro de las Costas Californianas, en los Estados Unidos. Fuera de su distribución natural ha sido plantado con buenos resultados en Canadá, Perú, Uruguay, Chile, Argentina, Ecuador, Bolivia, Australia, Nueva Zelanda, Inglaterra y España.

### 3. Descripción del árbol

Alcanza una altura hasta de 40 m. más de 1.0 m. de diámetro a la altura del pecho (DAP). Tronco cónico, recto, con un sistema radicular tupido, raíces laterales bien desarrolladas y muy extendidas. La corteza externa es de color café y apariencia agrietada. La corteza



interna de color crema rosácea, segrega una resina transparente. Presenta acículas en grupos o fascículos de tres. Flores en forma de conos y agrupadas. El fruto es un cono leñoso, grande, parecido a una piña.

#### 4. Propiedades de la madera de *Pinus radiata*

##### a. Propiedades físicas

**Cuadro 1.** Propiedades físicas de la madera de pino

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Verde	Seca al aire	Anhidra	Básica
	1.04	0.48	0.45	0.39
Contracción normal (%)	Tangencial	Radial	Volumétrica	T/R
	5.2	3.0	8.2	1.73
Contracción total (%)	7.7	4.6	12.3	1.67

##### b. Propiedades mecánicas

**Cuadro 2.** Propiedades mecánicas (1) de la madera de pino

	Flexión estática	Compresión

Condición CH%				Paralela			Perpendicular	
	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEx10 <sup>3</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEx10 <sup>3</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )
Verde  + 30%	314	465	72.6	167	208	83.2	44	74
Seco al aire 12%	555	1780	110.2	299	434	107.8	74	136

**Cuadro 3.** Propiedades mecánicas (2) de la madera de pino

Condición CH%	Dureza			Cizalladura Kg/cm <sup>2</sup>		Tenacidad Kg-m		Extracción de clavos Kg.	
	Lados	Extrem		Tang.	Rad.	Rad.	-----	Lateral	Extremos
Verde  + 30%	240	257	----	71	64	2.74	-----	79	48
Seco al aire 12%	348	472	----	88	81	1.58	-----	76	54

**ELP:** Esfuerzo en el límite proporcional

**MOR:** Módulo de ruptura

**MOE:** Módulo de elasticidad

### **c. Resistencia Mecánica**

Las características mecánicas de la madera muestran su aptitud y capacidad de resistir fuerzas externas. Fuerza externa es cualquier fuerza aplicada a la madera que actúa sobre un pedazo dado del material que tiende a deformarlo de cualquier manera.

### **d. Maquinado**

La mayoría de los productos de madera requieren ser trabajados con máquina en una forma u otra. Las características de maquinado de cualquier especie de madera pueden ser tan importantes como su resistencia, dureza, o durabilidad en la decisión respecto de la mejor especie para un uso final dado. La forma más común de maquinado es el cepillado, seguido de cerca por el moldeado y torneado. El corte transversal, taladrado, y lijado son también tipos comunes de maquinado.

Las características del maquinado son determinadas por la suavidad de las superficies después del mismo (cepillado, encolado, moldeado, torneado o agujereado).

Las pruebas de maquinado han confirmado que la madera de Pino se compara favorablemente con una gran variedad de otras especies internacionalmente comercializadas.

La densidad media del *Pinus radiata* es de 415 kg/m<sup>3</sup> en madera temprana y 450 kg/m<sup>3</sup> en la madera tardía, reflejando una textura comparativamente uniforme de la madera. Es esta variación pequeña en densidad dentro del anillo de crecimiento y de la transición gradual de la madera temprana a madera tardía lo que confiere al pino sus excelentes características de maquinado, pintado, y teñido.

La facilidad de moldeado, de torneado, de formado y de cepillado son características particularmente fuertes del *Pinus radiata*.

### **e. Cepillado**

El cepillado es uno de los usos de maquinado más comunes en la industria que utiliza la madera para la creación de productos de alto valor final (revestimiento de madera, carpintería y muebles), y por ello, la calidad del final es crítica.

El *Pinus radiata* se trabaja en forma bastante fácil y responde bien frente a cortes muy delgados y filos muy agudos. El área alrededor de nudos puede rasgarse, pero la mayoría de las operaciones de maquinado, incluyendo cepillado, torneado, moldeado, y agujereado generalmente producen un acabado final limpio. Las pruebas cuantitativas para comparar la maquinabilidad del *Pinus radiata* con otras especies de madera, han confirmado la facilidad del maquinado tanto de la madera madura como de la madera juvenil en el torneado y el cepillado, que constituyen los procesos más comunes de maquinado de las maderas.

#### **f. Moldeado y lijado**

El moldeado es un procedimiento extensamente utilizado en la fabricación de muebles. El lijado es utilizado para producir una calidad aceptable en muebles y carpintería. El *Pinus radiata* es una madera blanda de plantación que consiste principalmente en albura blanca cremosa, con canales resiníferos finos y prominentes. Tiene fibras de grano recto y textura fina y uniforme. Por ello posee buenas propiedades de maquinado y acabado, lo que la hace ser apropiada para todos los tipos de moldurado y de carpintería.

#### **g. Torneado**

El torneado se utiliza extensivamente hoy en día en la industria de la madera para fabricar una variedad amplia de productos, incluyendo componentes de muebles, barandillas de escaleras, utensilios de madera, mercancías para el deporte, manijas y juguetes. El *Pinus radiata* se compara bien con otras maderas coníferas de densidad similar para este tratamiento.

#### **h. Corte transversal**

El corte transversal es una etapa básica para preparar la madera de construcción para cualquier uso final. Este procedimiento es utilizado en todas las áreas de la producción para la eliminación básica de defectos, generar cortes más finos, etc. Los criterios más importantes en el corte transversal son un corte liso, limpio con un mínimo de astillado de la superficie de corte o cara.

El *Pinus radiata* tiene buena maquinabilidad, y cumple con los criterios mencionados anteriormente. Altas tasas de producción pueden ser alcanzadas y el desgaste en los cuchillos de las máquinas de corte es bajo.

#### **i. Hoyos y uniones**

Ambos, el agujerear y la escopladura se utilizan comúnmente para formar empalmes entre los componentes de la madera. El agujerear se utiliza típicamente en empalmes del pasador o para unir las piernas a las sillas. Un empalme de mortaja y de espiga se utiliza generalmente para ensamblar los carriles superiores a los montantes de las puertas.

#### **j. Dureza**

La dureza superficial indica la capacidad de la madera de soportar golpes en su uso diario y es, a menudo, un requisito básico en usos tales como mueblería, carpintería y pisos. La dureza muestra la resistencia de la madera frente a ser comprimida, rasguñada o mellada.

Generalmente cuanto más alta es la densidad de la madera, más dura es ésta. También se relaciona con la dureza la facilidad con la cual los clavos o los tornillos se pueden introducir en la madera.

Cuanto más dura es la madera, mejor resiste el desgaste, menos se daña bajo carga y mejor puede ser pulida, la madera de *Pinus radiata* en los lados es de 348 kg y en los extremos 472kg.

#### **k. Encolado**

La capacidad de proporcionar un empalme fuerte es crítica para muchas aplicaciones de alto valor (muebles, carpintería y una gama de productos de madera).

La facilidad de pegar la madera se mide de acuerdo a la capacidad del pegamento para adherir los pedazos y, en definitiva, juntarlos.

Las maderas blandas de densidad media tienen, en general, una buena capacidad de ser pegadas y el *Pinus radiata* confirma esta regla.

El *Pinus radiata* puede ser pegado con muchos tipos de adhesivos, a condición de que se establezca el control correcto de las variables de las características de la madera, de la formulación adhesiva y de la presión.

El encolado se está utilizando extensivamente en una gama de productos de madera desde aplicaciones estructurales a muebles de gran valor y guarniciones interiores.

### **l. Clavado**

Es importante indicar las propiedades de clavado de una especie de madera, ya que hoy en día existen diversos métodos para generar unión es de tipos mecánicos en la industria manufacturera. La tendencia de partirse al ser clavada, es una característica indeseable en cualquier madera. El *Pinus radiata* es muy fácil de clavar, ya sea en verde o seco con un espaciado relativamente cercano de 10 veces el diámetro del clavo a lo largo del grano y de 5 veces el espaciado del clavo a través del grano sin partir la madera.

### **m. Estabilidad**

La estabilidad se relaciona con el movimiento de la humedad entrando o saliendo de la madera. Este cambio de humedad hace que la madera se hinche o contraiga.

Esta es una característica crucial de la madera. Sin embargo, la estabilidad también es afectada por otras características, como la rectitud del grano, el grano espiral, el índice de absorción de humedad y la permeabilidad a los líquidos y gases.

### **n. Secado**

El *Pinus radiata* es una de las especies de madera más fácil de secar. Con el equipo de secado apropiado, puede ser secada rápidamente con poco rechazo. Sin embargo, la madera del centro del trozo (madera juvenil) puede tender a torcerse debido al grano espiral. Si el pino se seca correctamente hasta la humedad apropiada para el uso final (12%), será estable en su aplicación.

La albura (madera lateral) es altamente permeable y, por lo tanto, capaz de secarse rápidamente.

El duramen (madera central), aunque es menos permeable, tiene un contenido de humedad inicial más bajo y el secado toma levemente menos tiempo que para la albura.

La madera es generalmente secada en horno directamente desde la condición verde. La estabilidad del producto secado es mejorada cuando se realiza un pre-vaporizado por varias horas.

#### **o. Impregnación**

Como la mayoría de las maderas blandas, el *Pinus radiata* no es una especie naturalmente durable y su uso para propósitos estructurales ha ido de la mano con el desarrollo de una eficiente industria de preservación de la madera.

La albura (madera lateral) del *Pinus radiata* es muy permeable a los preservantes de madera, particularmente en la dirección radial.

La penetración completa de la albura siempre se logra, dando como resultado una vida útil muy larga para productos tales como postes de transmisión de energía eléctrica o de telecomunicaciones. Tal penetración total del preservante se alcanza raramente con otras especies de madera blanda.

#### **p. Atornillado, pintado y lijado**

La propiedad de retener tornillos y las características de pulido son clasificadas como satisfactorias o buenas.

La madera responde bien al teñido. El *Pinus radiata* es una madera extremadamente versátil y acepta cualquier tipo de tinte o pintura. La madera, al ser clara, incluso puede ser teñida con el objetivo de imitar a una madera de otra especie, siendo el color final adquirido, particularmente parecido.

### **5. Usos**

La madera de *Pinus radiata* es fácil de trabajar y presenta condiciones adecuadas para las operaciones de clavado y atornillado. Tiene propiedades favorables frente al cepillado moldurado, soporta bien el torneado, se mecaniza con facilidad, permite la unión entre piezas sin dificultades y las operaciones de lijado y acabado se realizan sin problemas. Estos son sus principales usos:

**a. Aserrío**

Las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus radiata*, como se menciona en los cuadros 1, 2 y 3 así como la buena forma que en general presentan sus troncos, hacen que sus rendimientos en los procesos de aserrado sean muy altos. Las piezas obtenidas con largos superiores a los tres metros, sin excentricidades y con buen porcentaje de madera de albura, obtienen un alto valor en el mercado.

**b. Chapa y desenrollo**

La chapa de madera, láminas de pequeño grosor (2 - 3mm), se obtienen generalmente por dos procedimientos: corte a la plana o corte por desenrollo periférico o tangencial. La obtención de chapa mediante aserrado es un método artesanal que solamente se utiliza en la actualidad para la producción de chapa destinada a instrumentos musicales o piezas singulares.

La producción industrial de chapas se orienta fundamentalmente a la fabricación de tableros contrachapados o a la cubrición decorativa de toda clase de tableros.

La madera de pino presenta cualidades sobresalientes para la obtención de chapa destinada a tableros contrachapados o estructurales.

**c. Tableros aglomerados**

Las características de la madera de *Pinus radiata* la sitúan en una calidad media para la producción de tableros de partículas. Sin embargo, su bajo contenido en resina añade un factor positivo ya que favorece el encolado de las partículas.

En cuanto al tablero de fibras su rendimiento es muy bueno debido a la esbeltez de sus fibras y a la blancura.

**d. Pasta de celulosa**

En la industria de la pasta de celulosa el *Pinus radiata* está especialmente indicado en la fabricación de pasta mecánica, pasta producida mediante desfibrado mecánico del rollizo



aunque pierde calidad debido a las manchas producidas por la elevada presencia de nudos, lo que encarece el proceso de blanqueo.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

#### 1. Localización

La presente investigación se realizó en plantaciones forestales de la empresa NOVOPAN DEL ECUADOR S.A ubicadas en la parroquia Cebadas, cantón Guamote - provincia de Chimborazo.

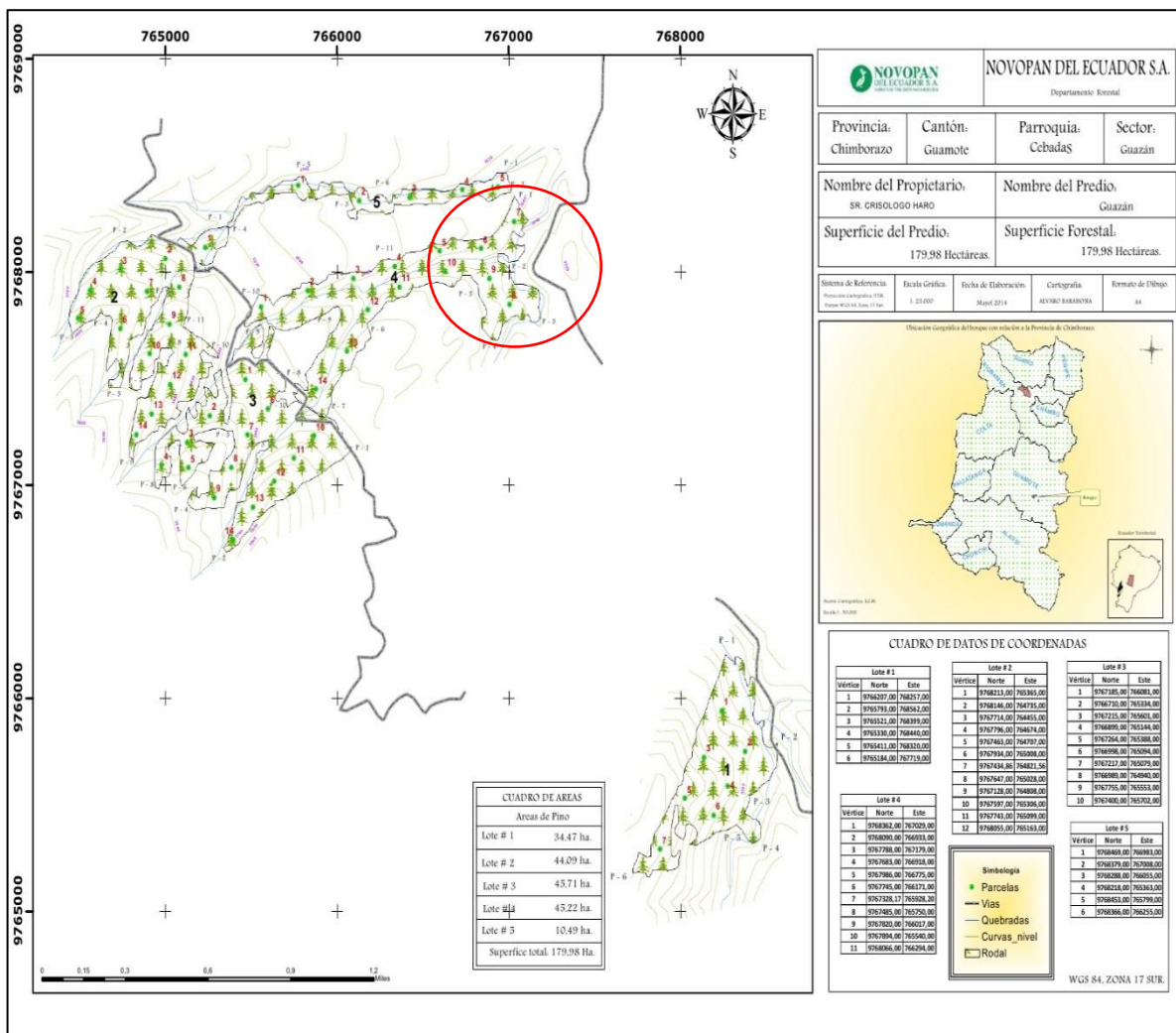


Gráfico. 1 Mapa general de las plantaciones forestales en el sector Cebadas

**Fuente:** NOVOPAN DEL ECUADOR S.A, responsable “Álvaro Barahona”

## 2. Ubicación geográfica

Coordenadas proyectadas UTM zona 17S, Datum WGS 84

X = 766844

Y = 9768056

Altura = aprox. 2615

## 3. Características climáticas

Clima:

Invierno húmedo frío (Octubre – Mayo)

Verano cálido seco y ventoso (Junio – Septiembre)

- Temperatura media anual: 13.7° C
- Precipitación media anual: 681.3 mm
- Velocidad del viento: 11.4 m/s
- Nubosidad: 3.1 horas/día
- Humedad Relativa: 96.8%

En los páramos la temperatura desciende un poco más, llegando a estar entre 8° C y 10° C.  
(INAMHI, 2009)

## 4. Zonas de vida

**Cuadro 4.** Clasificación ecológica de la parroquia Cebadas según Holdridge

Fuente: Dinaren, 2003; citado por PDOT Cebadas 2012

Páramo húmedo
Páramo seco
Humedal
Bosque húmedo montano oriental
Vegetación húmeda interandina

## 5. Características del suelo

Según Sierra (1999), en su mapa bioclimático y geológico del Ecuador, con respecto a los suelos clasifica a la provincia de Chimborazo de la siguiente manera: van desde suelos negros profundos, limosos hasta suelos formados a partir de materiales volcánicos que son suelos arenosos, finos y medios.

Con una topografía irregular por la influencia de las cordilleras Central y Occidental de los Andes. La mayor parte de los territorios del cantón presentan pendientes pronunciadas, que en algunos casos sobrepasan el 50%. Las tierras de las comunidades tienen pendientes superiores al 15%, lo que constituye una de las principales causas de la erosión junto a la acción fluvial, especialmente en la cuenca del río Cebadas. (PDCG, 1999)

## B. MATERIALES

### 1. Materiales de campo

Tablet, lápiz, libreta de campo, GPS, odómetro, distanciómetro, contador de ciclos (chequeador), cámara fotográfica, vehículo.

### 2. Materiales de oficina

Calculadora, computadora portátil, Softwares: ArcGis 10.1, Aplicación android *Multi Timer*, Excel 2013

## C. METODOLOGÍA

### 1. Determinación del rendimiento del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado de madera de pino

- a. Actividades para determinar el rendimiento de la plantación de pino

Cuadro 5. Actividades para determinar el rendimiento de la plantación de pino

Actividades	Número de Trabajadores
Volteo, desrame, y trozado (Motosierristas)	6
Madereo (Skidder de cable)	4
Madereo (Toimil)	1
Madereo (Torre SIGU )	3
Cargadora forestal	1

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

- b. Tamaño de la muestra

$$n = \frac{N}{e^2(N-1) + 1}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

e: Error muestral

N: Población (# de árboles)

- c. Análisis estadístico

1) Media

2) Desviación estándar

- 3) Error estándar
- 4) Frecuencias

d. Métodos de evaluación y datos a registrarse

- 1) Rendimiento sistema de cosecha semi-mecanizada

Se registraron los rendimientos del sistema de cosecha semi-mecanizado, en jornadas de trabajo en horas y el peso en toneladas (t) ya que es el método como la empresa trabaja para llevar el registro de la materia prima que ingresa a su planta de producción de tableros de partículas. Las actividades que se realizaron fueron:

- Volteo, desrame y trozado (árboles, t)
- Madereo con skidder de cable (ciclos, t, distancia promedio de madereo (DPM))
- Madereo con Toimil (ciclos, t, DPM)
- Madereo con torre (ciclos, t, DPM)
- Carga (ciclos, t)

- 2) Evaluar el rendimiento del sistema de cosecha semi-mecanizado.

Con los resultados de los rendimientos finales, se analizó los rendimientos de las actividades del sistema en t/hora.

- 3) Costos

- Se registraron los costos de las actividades de cosecha en USD/t y USD/ha.
- Se determinaron los costos unitarios en USD/t.

e. Manejo del ensayo

Se elaboraron formatos para la toma de tiempos, rendimientos y costos tomando en cuenta las variables a medir. En el sistema se registró el tiempo productivo (las operaciones en las actividades de aprovechamiento), tiempo improductivo (demoras) y el tiempo muerto (mantenimiento, carga de combustible). Éstos formatos se trasladaron a la aplicación digital

**Multi Timer** con la cual se ejecutó la recolección de la información (tiempos) en el campo.

1) Recolección de la información en el campo

- Volteo, desrame y trozado

En una tablet mediante la aplicación *Multi Timer*, utilizando el cronometraje continuo se registraron los tiempos de volteo, desrame y trozado con motosierra. Además se registró el tiempo de mantenimiento, demoras, y el número de ciclos (# de árboles volteados, desramados o trozados) para lo cual se utilizó un chequeador.



Fotografía 1. Volteo, desrame y troceado de árboles con motosierra

- Madereo con tractor Skidder de cable

Con la ayuda de la aplicación *Multi Timer*, utilizando el cronometraje continuo se registraron los tiempos de los movimientos específicos de madereo que llevó a cabo esta máquina. Además se registró el tiempo de mantenimiento, demoras y el número de ciclos (viajes) para lo cual se utilizó un chequeador. Con la ayuda de un odómetro se tomaron las distancias de arrastre en las vías de saca desde la plantación hasta el patio temporal y desde la plantación hasta el patio fijo desde donde la torre realiza el madereo.



Fotografía 2. Madereo de madera de pino con tractor skidder de cable

- Madereo con tractor Toimil.

Mediante la aplicación *Multi Timer*, utilizando el cronometraje continuo se registraron los tiempos de los movimientos específicos de madereo que llevó a cabo esta máquina. Además se registró el tiempo de mantenimiento, demoras y el número de ciclos para lo cual se utilizó un chequeador. Con la ayuda de un odómetro se tomaron las distancias de madereo en las vías de saca desde el patio temporal hasta el patio fijo y desde la plantación hasta el patio fijo desde donde la torre realiza el madereo.

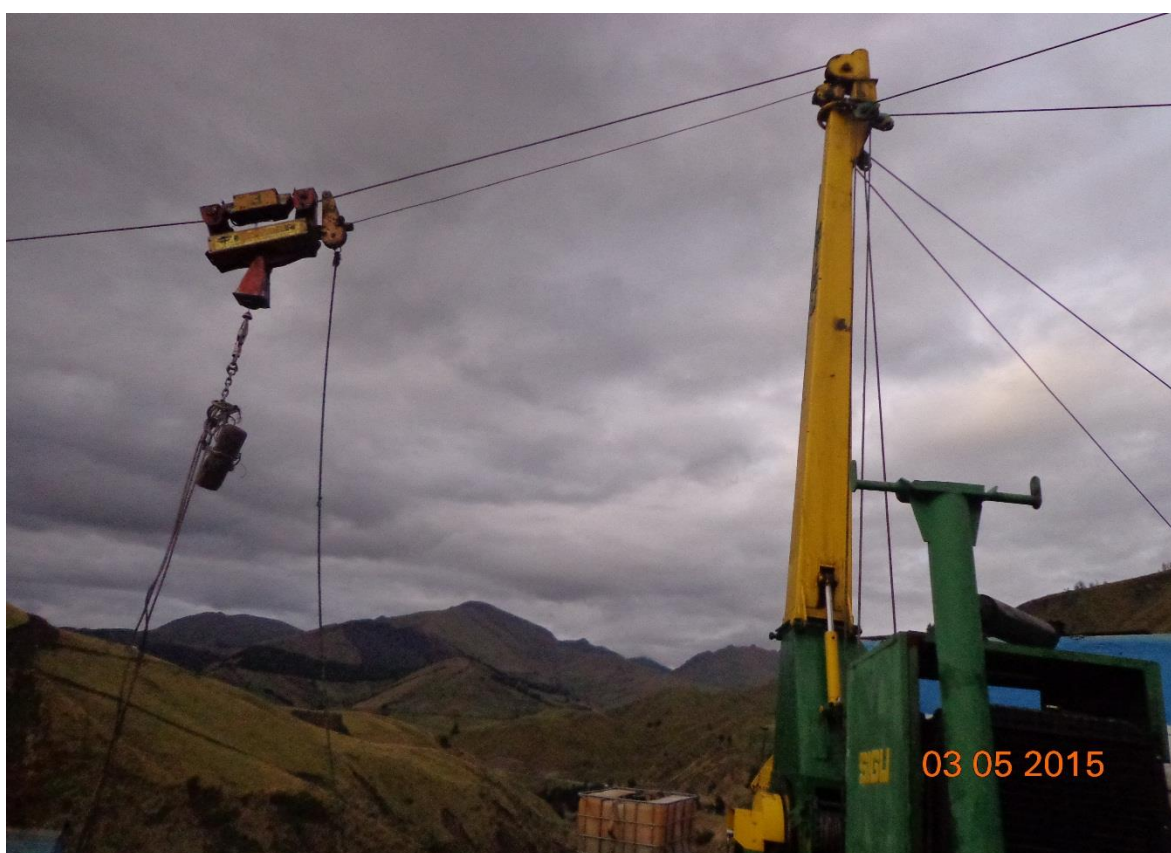


Fotografía 3. Madereo de madera de pino con tractor toimil



- Madereo con la torre Sigu

A través de la aplicación *Multi Timer*, utilizando el cronometraje continuo se registraron los tiempos de los movimientos específicos de madereo que llevó a cabo esta máquina. Además el tiempo de mantenimiento, demoras y el número de ciclos para lo cual se utilizó un chequeador. Con la ayuda de un distanciómetro se intentó medir la distancia de madereo, pero no fue posible tomar la medición por cuestiones relacionadas al equipo, razón por la cual se estimó la distancia de acuerdo a la experiencia de los operadores de las máquinas.



Fotografía 4. Madereo de madera de pino con torre

- Cargadora

Con la ayuda de la aplicación *Multi Timer*, utilizando el cronometraje continuo se registraron los tiempos de los movimientos específicos de carga que llevó a cabo esta máquina. Además se registró el tiempo de mantenimiento, demoras y el número de ciclos (movimientos del brazo de la máquina para cargar los camiones) para lo cual se utilizó un

chequeador. Los datos del peso en toneladas fueron proporcionados por los contratistas (transportistas) que entregan la madera en la planta de producción de la empresa donde la carga es pesada.



Fotografía 5. Carga de madera de pino con cargadora de brazo articulado

## 2) Determinación del Porcentaje de Eficiencia

En el campo se tomaron los tiempos programados (tiempo de trabajo incluido demoras) y se realizaron los cálculos para obtener el tiempo productivo (tiempo efectivo de trabajo, sin demoras) de los 5 subsistemas del proceso de aprovechamiento (apeo-desrame-trozado, madereo con skidder, madereo con toimil, madereo con torre y carga). Para determinar este parámetro se consideró como tiempo productivo: todas las operaciones en cada una de las actividades de aprovechamiento y como tiempos improductivos: demoras operativas, personales y además el tiempo de mantenimiento. Para el cálculo del porcentaje de eficiencia se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%U = \frac{TP}{SH} \times 100$$

Donde:

U = Eficiencia

TP = Tiempo Productivo

SH = Tiempo Programado

## 2. Valoración de costos de aprovechamiento de la plantación de pino por hectárea

Para el sistema se empleó la metodología descrita por F. Cándano, (2004) en la que se toma en cuenta los costos fijos y variables del aprovechamiento.

a. Costos fijos o costos de propiedad de la máquina

1) Costo de depreciación

Para el cálculo de la depreciación se utilizó la expresión:

$$Cd = \frac{Va - Vr}{N.d.h}$$

Dónde:

Cd: costo de depreciación de la máquina, (USD/hora)

Va: valor de adquisición de la máquina, (USD)

Vr: valor residual de la máquina, (USD)

N: vida útil de la máquina, (años)

d: días de trabajo anual de la máquina

h: horas de trabajo diario de la máquina

2) Costos de interés

$$Ci = \frac{Ti.IMH}{100} \quad IPA = \left[ \frac{(Va - Vr)(N+1)}{2N} \right] + Vr \quad IMH = \frac{IPA}{n}$$

Dónde:

Ci: costo de interés de la máquina, (USD/hora)

Ti: tasa de interés, (%)

IPA: inversión media anual, (USD/año)

IMH: inversión media horaria, (USD/hora)

n: tiempo de trabajo de la máquina, (horas/año)

### 3) Costos de seguros

Estos costos fueron facilitados por el ingeniero encargado del proyecto de aprovechamiento, ya que son los valores reales que se cancelan a la aseguradora y se realizó el cálculo para reducir estos valores a USD/hora.

El costo de propiedad de las máquinas (Cpr) se calculó de la siguiente manera:

$$Cpr = Cd + Ci + Cs$$

Donde:

Cpr: costo de propiedad

Cd: costo de depreciación de la máquina, (USD/hora)

Ci: costo de interés de la máquina, (USD/hora)

Cs: costo del seguro

### b. Costos variables o costos de operación de la máquina

#### 1) Costos de combustibles

De manera general, el costo de los combustibles se calculó multiplicando el consumo de combustible de las máquinas por el precio de los combustibles.

$$Cc = Cmc \cdot Pc$$

Dónde:

Cc: costo del combustible, (USD/t)

Cmc: consumo de combustible, (gl/t)

Pc: precio del combustible, (USD/gl)

## 2) Costos de reparación y mantenimiento

El ingeniero encargado del proyecto de aprovechamiento nos facilitó los costos totales del mantenimiento de la maquinaria, dentro del cual constan los costos de lubricantes, filtros, sierras, entre otros. El costo se presenta en USD/t.

## 3) Costos de otros materiales

$$C_{mo} = \frac{\text{precio del material (USD)}}{\text{vida útil (h)}}$$

El costo de operación de las máquinas ( $C_{op}$ ) se calculó de la siguiente manera:

$$C_{op} = C_{pr} + C_c + C_{lb}$$

$C_{lb}$ : costo de labor

### c. Costos de labor

El ingeniero encargado del proyecto nos facilitó el costo total de labor de cada empleado, éste refleja el costo de seguro, beneficios legales y otras remuneraciones establecidas por la empresa. El valor se presenta en USD/hora.

### d. Sistematización de la información compilada

Con la información recopilada y clasificada de acuerdo a los objetivos, se procedió a ejecutar el análisis estadístico de los datos en el programa Excel.

## V. RESULTADOS

### A. RENDIMIENTO EN EL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO SEMI-MECANIZADO

#### 1. Volteo, desrame y trozado

**Cuadro 6.** Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones de volteo, desrame y trozado con motosierra por jornada de trabajo

Variables	N	Total (horas)	Promedio (horas)	Desvest	E. E.
Apeo	2	1:15:39	0:37:49	0.012	0.009
Desrame	2	5:51:17	2:55:39	0.004	0.003
Trozado	2	3:40:45	1:50:22	0.005	0.004
Mantenimiento	2	0:40:47	0:20:24	0.005	0.003
Demoras	2	3:23:12	1:41:36	0.002	0.002
Jornada de trabajo	2	14:51:40	7:25:50	0.004	0.003

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

N: número de jornadas

**Cuadro 7.** Análisis estadístico del número de árboles en el volteo, desrame y trozado con motosierra por jornada de trabajo

Variables	N	Total	Promedio	Desvest	E. E.
# árboles apeados	2	21	10.50	4.950	3.500
# de árboles desramados	2	76	38	1.414	1.000
# de árboles trozados	2	41	20.50	0.707	0.500

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 8.** Detalle de las actividades realizadas con motosierra

Actividad	Tiempo (horas)	%	# árboles volteados
Apeo	0:37:49	8.48	11
Desrame	2:55:39	39.40	38
Trozado	1:50:22	24.76	21
Mantenimiento	0:20:24	4.57	
Demoras	1:41:36	22.79	

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

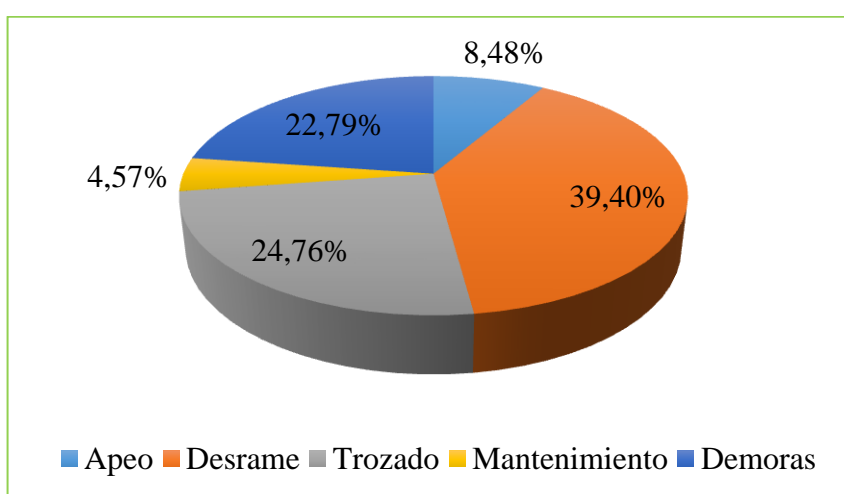


Gráfico 2. Detalle de las actividades realizadas con motosierra

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

Según el cuadro 8, gráfico 2 podemos mencionar que el apeo toma un tiempo de 0:37:49 horas que equivale al 8.48 %, el desrame 2:55:39 horas que representa el 39.40%, el trozado 1:50:22 horas al 24.76%, el mantenimiento 0:20:24 horas al 4.57% y las demoras (operativas, personales) 1:41:36 horas siendo el 22.79% en una jornada de trabajo de 7:25:50 horas; con un rendimiento de 11 árboles volteados, 38 desramados y 21 trozados. Y una eficiencia del 72.64% se puede decir que está dentro de los parámetros ya que según Conway (1982), señala que la eficiencia de una típica operación de maderero raramente supera el 75%.

Sin embargo se puede aumentar la eficiencia mediante capacitación a los trabajadores previo a ejecutar las actividades de apeo, desrame y trozado con motosierra, disponiendo combustible y repuestos en el campo, además si reducimos las demoras operativas debido a los constantes paros por la acumulación de árboles volteados y pausas para mantener la

seguridad en el campo ya que también se desarrollan las operaciones de madero con skidder y toimil conjuntamente.

**Cuadro 9.** Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo del volteo, desrame y trozado con motosierra

Variables	N	Total (t)	Promedio (t)	Desvest	E. E.
Producción	2	168	84	11.314	8.000
Rendimiento prom/hora			11.20		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

Según la información obtenida en el cuadro 9 muestra el rendimiento del volteo, desrame y trozado con motosierra; en el cual tenemos un rendimiento de 11.20 t/hora superior a lo que obtuvo CBE (1993) 5.45 t/hora en *Pinus pinaster* e inferior a lo citado por Llanga (2011) con 11.56 t/hora en *Pinus patula*, es posible que la diferencia sea debido al diámetro de las trozas.

## 2. Arrastre con tractor Skidder Timberjack

**Cuadro 10.** Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones del tractor de arrastre skidder timberjack de cable

Variables	N	Total (horas)	Promedio (horas)	Desvest	E. E.
Traslado sitio de carga	3	3:44:23	1:14:48	0.030	0.017
Soltar cable	3	1:33:18	0:31:06	0.012	0.007
Estrobado	3	3:31:40	1:10:33	0.030	0.017
Halar cable	3	1:37:39	0:32:33	0.020	0.011
Traslado patio temporal	3	2:12:12	0:44:04	0.027	0.016
Destrobado	3	1:29:07	0:29:42	0.005	0.003
Mantenimiento	3	2:39:25	0:53:08	0.032	0.018
Demoras	3	1:56:38	0:38:53	0.016	0.009
Jornada de trabajo	3	18:44:22	6:14:47	0.154	0.089

**Elaborado por:** Darío Quinchuela



**Cuadro 11.** Análisis estadístico del número de ciclos del tractor de arrastre skidder timberjack de cable

VARIABLES	N	Total	Promedio	Desvest	E. E.
Ciclos	3	54	18	11.533	6.658

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 12.** Detalle de las actividades del tractor de arrastre skidder de cable

Actividad	Tiempo (horas)	%	Ciclos	DPM (m)
Madereo	4:47:35	76.73	18	469.27
Mantenimiento	0:53:08	14.18		
Demoras	0:34:04	9.09		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

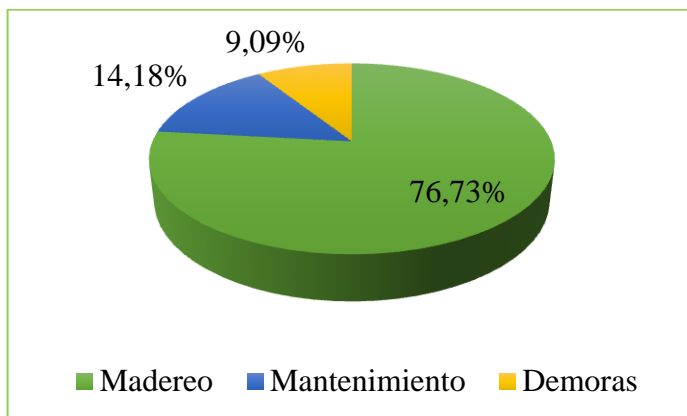


Gráfico 3. Detalle de las actividades del tractor de arrastre skidder de cable

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

De acuerdo al cuadro 12, gráfico 3 tenemos que las operaciones de madereo toman un tiempo de 4:47:37 horas que equivale al 76.73%, el mantenimiento 0:53:08 horas que representa el 14.18% y las demoras (operativas + personales) el 0:34:04 horas con el 9.09 % en una jornada de trabajo de 6:14:47 horas. Y un porcentaje de eficiencia del 76.73% se puede decir que está dentro de los parámetros ya que según Conway (1982), señala que la eficiencia de una típica operación de madereo raramente supera el 75% y un camino para

mejorarla es minimizando los tiempos no productivos durante todo el ciclo de madereo, con el fin de aumentar los tiempos efectivos de trabajo, lo que finalmente se traducirá en un incremento de la producción de los equipos.

**Cuadro 13.** Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo del tractor de arrastre skidder timberjack de cable

Variables	N	Total (t)	Promedio (t)	Desvest	E. E.
Producción	3	140	46.67	27.227	15.720
Rendimiento prom/hora			7.47		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

En el cuadro 13 se puede ver el rendimiento del arrastre con tractor skidder; en el cual tenemos un rendimiento de 7.47 t/hora, 18 ciclos en un promedio de 6:14:47 horas y una DPM (distancia promedio de madereo) de 469.27 metros lo cual contrasta con Wang *et al.* (2004) 9.82 t/hora y Llanga (2011) que obtuvo 20.22 t/hora, ésta diferencia significativa se debe principalmente a la elevada DPM que tenemos en nuestro sistema de aprovechamiento en la cual se va gran parte del tiempo de trabajo, también podría atribuirse a que los trabajadores empleados en el estrobado (amarrado) de los árboles no fueron expertos en esta operación, por otro lado las distancias de estrobado para el arrastre hasta las vías fueron considerables por lo cual se extendían los tiempos en dicha actividad.

Es importante considerar que en el proceso de madereo con skidder se alternaron dos operadores en el trabajo cada uno con diferente tipo de experiencia en el manejo del tractor, además cabe resaltar que las demoras operativas se deben principalmente a que tanto el skidder como el toimil utilizan las mismas vías de extracción por lo cual hay una interrupción mutua al momento de llegar al patio temporal.

Podríamos incrementar el rendimiento si capacitamos a un grupo de trabajadores específicos para que cumplan la función de estroberos de la madera arrastrada por el skidder, si con las mismas vías se toma otras alternativas para realizar el madereo hacia los patios temporales y así evitar interrupciones con el toimil.

### 3. Madereo con tractor Case con remolque (Toimil)

**Cuadro 14.** Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones del tractor de maderero toimil

Variables	N	Total (horas)	Promedio (horas)	Desvest	E. E.
Traslado sitio de carga	2	2:40:24	1:20:12	0.009	0.007
Carga	2	6:28:00	3:14:00	0.027	0.019
Traslado patio fijo	2	2:11:49	1:05:54	0.014	0.010
Descarga	2	1:25:04	0:42:32	0.001	0.001
Tiempo de mantenimiento	2	1:12:31	0:36:15	0.033	0.023
Demoras	2	3:50:20	1:55:10	0.069	0.049
Jornada de trabajo	2	17:48:08	8:54:04	0.069	0.049

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 15.** Análisis estadístico del número de ciclos del tractor de maderero toimil

Variables	N	Total	Promedio	Desvest	E. E.
Ciclos	2	18	9	0.000	0.000

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 16.** Detalle de las actividades del tractor de maderero toimil

Actividad	Tiempo (horas)	%	Ciclos	DPM (m)
Madereo	6:22:38	71.65	9	551.91
Mantenimiento	0:36:15	6.79		
Demoras	1:55:10	21.56		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

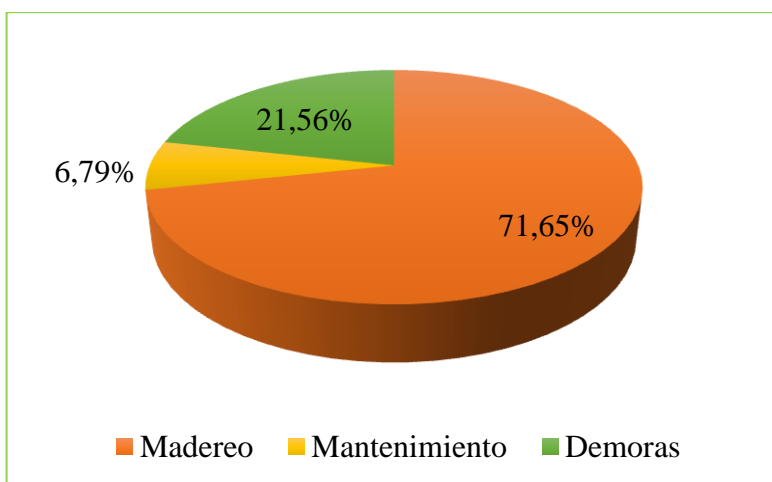


Gráfico 4. Detalle de las actividades del tractor de maderero toimil

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

De acuerdo al cuadro 11, gráfico 4 tenemos que las operaciones de madereo toman un tiempo de 6:22:38 horas que representa el 71.65%, las demoras (operativas, personales) 1:55:10 horas que equivale al 21.56% y el mantenimiento a 0:36:15 horas con el 6.79% en una jornada de trabajo de 8:54:04 horas. Y un porcentaje de eficiencia del 71.65% se puede decir que está dentro de los parámetros ya que según Conway (1982), señala que la eficiencia de una típica operación de madereo raramente supera el 75%.

**Cuadro 17.** Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo del tractor de maderero toimil

Variables	N	Total (t)	Promedio (t)	Desvest	E. E.
Producción	2	72	82	14.14	10.000
Rendimiento prom/hora			8.63		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

En el cuadro 17 se puede ver el rendimiento de madereo con el tractor Toimil; en el cual tenemos un rendimiento de 8.63 t/hora, 9 ciclos y una DPM de 551.91 metros.

Cabe resaltar que las demoras operativas se deben principalmente a que tanto el tractor toimil como el skidder utilizan las mismas vías de extracción por lo cual hay una interrupción mutua al momento de llegar a los patios temporales para descargar, también hay interferencia constante del toimil con las líneas de cable de la torre al momento de descargar la madera desde el tractor.

#### 4. Madereo con torre Sigu

**Cuadro 18.** Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones de la torre de madereo

Variables	N	Total (horas)	Promedio (horas)	Desvest	E. E.
Traslado coche vacío	2	0:52:20	0:26:10	0.003	0.002
Desactivar freno coche vacío en patio fijo	2	0:29:22	0:14:41	0.002	0.002
Estrobado	2	4:59:29	2:29:45	0.028	0.020
Elevación del cable desactivando el freno de coche cargado	2	1:44:02	0:52:01	0.002	0.001
Traslado del coche cargado	2	2:02:03	1:01:02	0.009	0.006
Desactivar freno coche cargado en patio de carga	2	0:29:34	0:14:47	0.003	0.002
Destrobado	2	1:03:50	0:31:55	0.005	0.003
Elevación del cable desactivando el freno de coche vacío	2	0:48:45	0:24:22	0.001	0.001
Mantenimiento	2	0:17:20	0:08:40	0.001	0.001
Demoras	2	4:10:18	2:05:09	0.084	0.060
Jornada de trabajo	2	16:57:03	8:28:31	0.033	0.024

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 19.** Análisis estadístico del número de ciclos de la torre de madereo

Variables	N	Total	Promedio	Desvest	E. E.
Ciclos	2	113	56.50	12.02	8.50

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 20.** Detalle de las actividades de la torre de madereo

Actividad	Tiempo (horas)	%	Ciclos	DPM (m)
Madereo	6:14:42	73.69	57	150
Mantenimiento	0:08:40	1.70		
Demoras	2:05:09	24.61		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

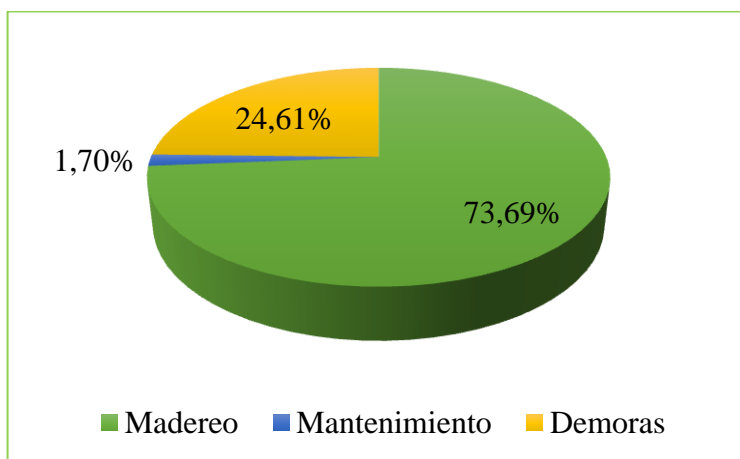


Gráfico 5. Detalle de las actividades de la torre de madereo

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

De acuerdo al cuadro 20, gráfico 5 tenemos que las operaciones de madereo toman un tiempo de 6:14:42 horas que representa el 73.69%, las demoras (operativas, personales) 2:05:09 horas que equivale al 24.61% y el mantenimiento 0:08:40 horas con el 1.70% en una jornada de trabajo de 8:28:31 horas. Y un porcentaje de eficiencia del 73.69% se puede decir que está dentro de los parámetros ya que según Conway (1982), señala que la eficiencia de una típica operación de madereo raramente supera el 75%.

**Cuadro 21.** Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo de la torre de madereo

Variables	N	Total (t)	Promedio (t)	Desvest	E. E.
Producción	2	156	78	14.14	10.00
Rendimiento prom/hora			9.18		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

De acuerdo al cuadro 21 se puede ver el rendimiento de madereo con la torre Sigu; en el cual tenemos un rendimiento de 9.18 t/hora, 57 ciclos en un promedio de 8:28:31 horas y una DPM aproximada de 150 metros, lo que contrasta con Vergara (2000) obtuvo 7.61 t/hora con una torre Koller-300, 18.02 t/hora con una torre Urus III y 17.71 t/hora con una torre Urus IV, de la misma forma Urra (1999), obtuvo un rendimiento de 21.48 t/hora.

Cabe resaltar que las demoras en la torre se dieron debido a una para operativa del tractor toimil ya que se le dañó un neumático; por lo tanto se trabajó directamente con el skidder desde el sitio de carga de la madera hasta el patio fijo desde donde la torre realiza el madereo, esto mermó el abastecimiento de madera y por lo tanto el rendimiento de la máquina. Sin embargo los tiempos improductivos en nuestro sistema de aprovechamiento (26.31%) están por debajo de lo obtenido por Urra (1999) que los tiempos no productivos de la torre alcanzan un 30,9%.

Se presume un mayor rendimiento si capacitamos al operador de la máquina para lograr un desenvolvimiento experticio y también a un grupo específico de trabajadores para que se desempeñen como estroberos de las líneas de cable de la torre. Es importante ya que la necesidad de usar torres de madereo se debe a un problema de pendiente del terreno, y no para efectuar las faenas a menor costo Larraín *et al* (1989).

## 5. Cargadora

**Cuadro 22.** Análisis estadístico de los tiempos en las operaciones del camión Hino FM 2 (cargadora)

VARIABLES	N	Total (horas)	Promedio (horas)	Desvest	E. E.
Carga	2	6:48:45	3:24:22	0.022	0.015
Acomodo de carga en vehículos	2	3:14:40	1:37:20	0.023	0.016
Mantenimiento	2	0:01:41	0:00:51	0.000	0.000
Demoras	2	7:24:13	3:42:07	0.032	0.023
Jornada de trabajo	2	17:29:19	8:44:39	0.033	0.024

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 23.** Análisis estadístico del número de ciclos de la cargadora

VARIABLES	N	Total	Promedio	Desvest	E. E.
Ciclos	2	320	160	35.355	25.000

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 24.** Detalle de las actividades de la cargadora

Actividad	Tiempo (horas)	%	Ciclos
Carga	5:01:43	57.51	160
Mantenimiento	0:00:51	0.16	
Demoras	3:42:07	42.33	

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

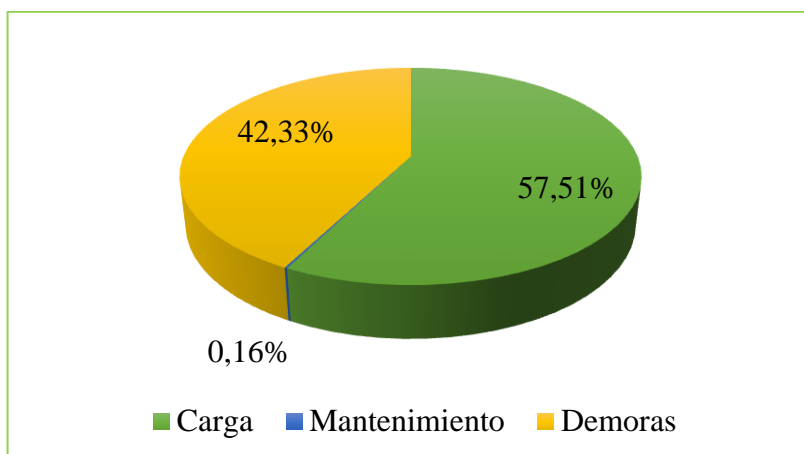


Gráfico 6. Detalle de las actividades de la cargadora forestal

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

En el cuadro 24, gráfico 6 se observa que las operaciones de carga toman un tiempo de 5:01:03 horas que representa el 57.51%, las demoras (operativas, personales) 3:42:07 horas que equivale al 42.33% y el mantenimiento 0:00:51 horas con el 0.16% en una jornada de trabajo de 8:44:39 horas. Con un rendimiento de 160 ciclos; es decir movimientos del brazo de la máquina exclusivamente para cargar la madera a los camiones. Y un porcentaje de eficiencia del 73.90% se puede decir que está dentro de los parámetros ya que según Conway (1982), señala que la eficiencia de una típica operación de madereo raramente supera el 75%.



**Cuadro 25.** Análisis estadístico del rendimiento por jornada de trabajo de la cargadora

VARIABLES	N	Total (t)	Promedio (t)	Desvest	E. E.
Producción	2	132	66	8.485	6.000
Rendimiento prom/hora			7.54		

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

De acuerdo al cuadro 25 se puede ver el rendimiento de carga con el camión Hino FM 2; en el cual tenemos un rendimiento de 7.54 t/hora, 160 ciclos en un promedio de 8:44:39 horas, lo que difiere significativamente con Llanga (2011) 20.04 t/hora y Nájera *et al* (2011) 12.53 t/hora; ésto se debe a que las demoras se producen porque la cargadora se ubica junto a la torre y existe una interferencia al momento de las operaciones de carga, también hay interrupciones debido al proceso de trozado y por falta de abastecimiento de madera debido a daños mecánicos en los tractores de madereo.

**Cuadro 26.** Resumen del rendimiento de las máquinas en el proceso de aprovechamiento

VARIABLES	Costo /t (USD)	Rendimiento/hora (t)
Camión Hino FM 2		
(cargadora)	3.17	7.54
Tractor skidder timberjack	3.41	7.47
Case con remolque (toimil)	2.58	8.63
Torre de madereo	3.77	9.18
Servicio de aprovechamiento	8	11.20

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

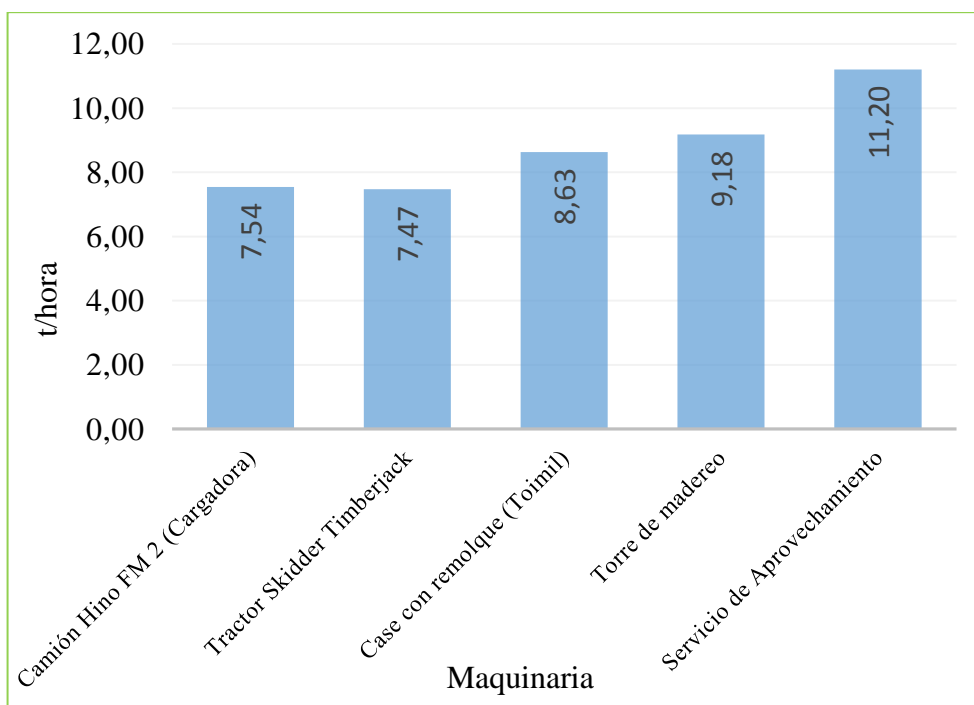


Gráfico. 7 Resumen del rendimiento de las máquinas en el proceso de aprovechamiento

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

De acuerdo al cuadro 26, gráfico 7 tenemos que el servicio de aprovechamiento tiene un rendimiento de 11, 20 t/hora; la torre de madereo presenta el 9.18 t/hora, el toimil con el 8.63 t/hora, el skidder con el 7,47 t/hora y la cargadora obtuvo un rendimiento de 7.54 t/hora. Cabe señalar que el rendimiento de los motosierristas (servicio de aprovechamiento) está tomado en cuenta con dos grupos de trabajo; además es importante mencionar que el servicio de aprovechamiento tiene el rubro más alto en el proceso de cosecha con un costo de 8 USD/t.

## B. COSTO DE APROVECHAMIENTO POR HECTÁREA

### 1. Costos del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado

**Cuadro 27.** Datos del inventario forestal del lote en estudio

Variables	
Rendimiento lote 4	28061.06 t
Superficie	45.20 ha

Rendimiento 620.82 t/ha

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

**Cuadro 28.** Costos de aprovechamiento del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado

Variables	USD/t	t/ hora	USD/ hora	horas /ha	USD/ ha
Camión Hino FM 2 (cargadora)	3.17	7.54	23.90	82.34	1968.00
Tractor skidder timberjack	3.41	7.47	25.47	83.11	2117.00
Case con remolque (toimil)	2.58	8.63	22.27	71.94	1601.72
Torre de madereo	3.77	9.18	34.61	67.63	2340.49
Servicio de aprovechamiento	8	11.20	89.60	55.43	4966.56
$\Sigma$		44.02	195.85	360.44	12993.76
				9.01	20.93
$\dot{x}$		8.80	39.17	días	USD/t

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

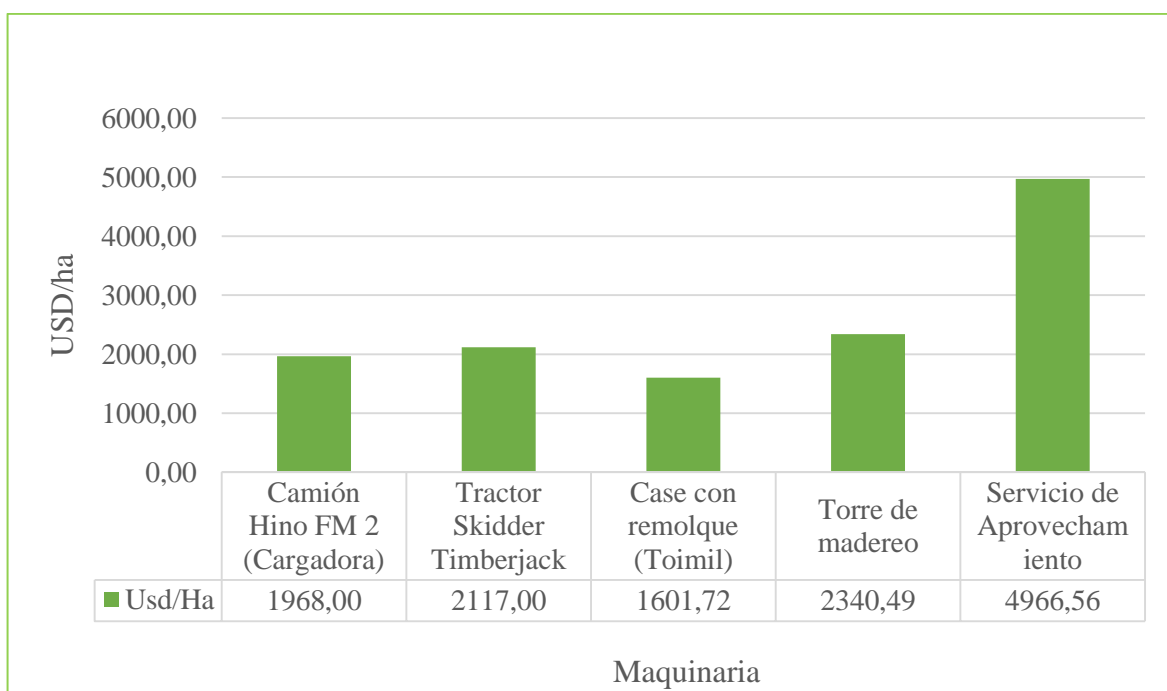


Gráfico. 8 Costos de aprovechamiento del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

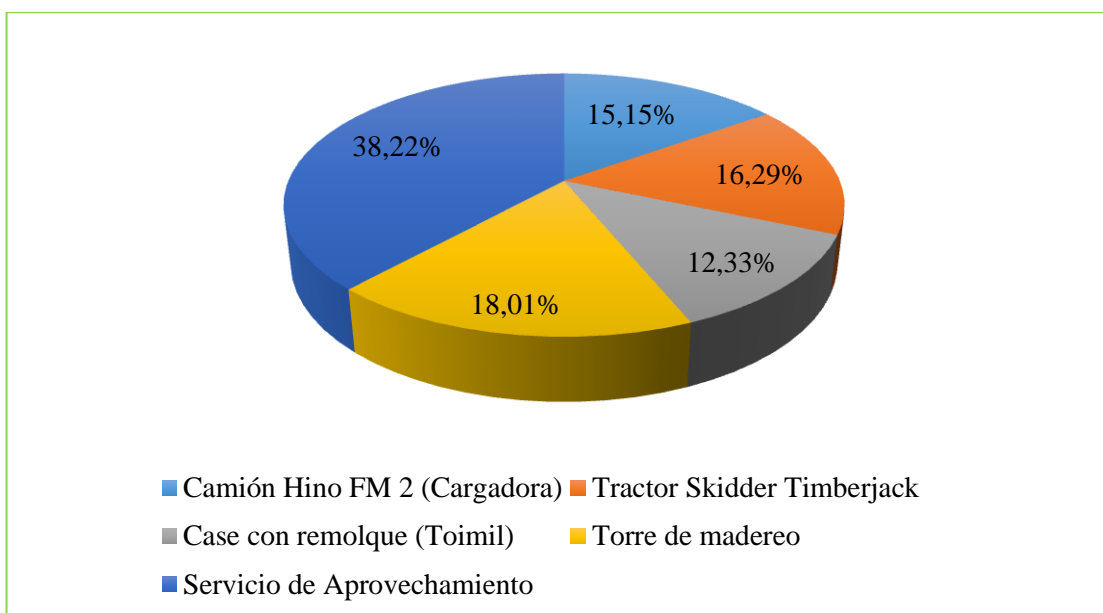


Gráfico. 9 Porcentajes de los costos de aprovechamiento del sistema de aprovechamiento semi-mecanizado

**Elaborado por:** Darío Quinchuela

Según la información del cuadro 28, tenemos que el servicio de aprovechamiento es el más costoso con 8 USD/t, seguido de la torre de madero con 3.77 USD/t, el tractor skidder con 3.41 USD/t, la cargadora con 3.17 USD/t y finalmente el tractor toimil con un costo de 2.58 USD/t.

En el cuadro 28, gráfico 9 se observa que para la cosecha de una hectárea de la plantación de pino en estudio el servicio de aprovechamiento es el más costoso con 4966.56 USD/ha que representa el 38.22% del costo total, seguido de la torre con 2340.49 USD/ha que significa el 18.01%, el tractor skidder con 2117.00 USD/ha que equivale al 16.29%, la cargadora con 1968.00 USD/ha con el 15.15% y finalmente el tractor toimil con 1601.72 USD/ha que equivale al 12.33%; dando un valor total de 12993.76 USD por el aprovechamiento de una hectárea de 620.82 t que se aprovecharía en 9.01 días trabajando una jornada de 8 horas.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. El conocer los rendimientos y costos de cosecha con el sistema semi-mecanizado nos permite obtener un valor real sobre el aprovechamiento por hectárea de una plantación de pino.
2. El formar grupos de trabajo de dos o máximo tres personas para las actividades de apeo, desrame y trozado nos brindó un mayor rendimiento y seguridad operacional en la plantación.
3. De las actividades de corta (apeo, desrame y trozado) la que mayor tiempo lleva es el desrame (39.40%).
4. Los tiempos productivos han alcanzado un 73.72% lo cual nos indica una efectividad importante, estudios de este tipo nos muestran que raramente se supera el 75%.
5. Los tiempos improductivos (26.28%) influyeron para no tener un mayor rendimiento en las operaciones de cosecha.
6. La utilización de las mismas vías para la extracción de la madera de la plantación a los acopiaderos, no permitió tener el máximo rendimiento en los tractores toimil y skidder.
7. La limitada experiencia de los operadores de las máquinas influyó para no tener un rendimiento óptimo de las mismas.
8. El rubro más costoso en la cosecha de una hectárea de madera de pino fué el servicio de aprovechamiento (contratistas, vías, campamentos, alimentación y otros) que representa el 38.22% del costo total de la cosecha.



## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Elaborar un cronograma de actividades previa a la ejecución, para establecer responsabilidades individuales a los trabajadores y para que exista constante operatividad del sistema de extracción de la madera.
2. Proporcionar capacitación en temas específicos y charlas de motivación al personal para disminuir los tiempos improductivos en el sistema de aprovechamiento de la plantación.
3. Planificar el madereo con los tractores skidder y toimil para reducir las demoras operativas debido a que utilizan las mismas vías de saca.
4. Se debe exigir a todos los trabajadores que intervienen en las actividades de aprovechamiento forestal, la utilización de equipo de seguridad.
5. Socializar los resultados de ésta investigación entre los madereros, para tener mayores rendimientos en el aprovechamiento de plantaciones forestales.

## **VIII. RESUMEN**

La presente investigación propone: evaluar el aprovechamiento forestal semi-mecanizado de madera de *Pinus radiata* D. Don (pino) en plantaciones de la empresa Novopan del Ecuador S.A. en la parroquia Cebadas, cantón Guamote provincia de Chimborazo. Se tomaron muestras para cada máquina y se realizó el estudio de tiempos, rendimiento y costos de producción del sistema de cosecha. En las actividades del sistema resultó: volteo, desrame y trozado con motosierra tenemos un rendimiento de 11.20 t/hora, 11 árboles volteados; un porcentaje de eficiencia del 72.64%. Madereo con tractor skidder; tenemos un rendimiento de 7.47 t/hora, 18 ciclos en un promedio de 6:14:47 horas y una DPM (distancia promedio de madereo) de 469.27 metros; con un porcentaje de eficiencia del 76.73%. Madereo con tractor Toimil; un rendimiento de 8.63 t/hora, 9 ciclos y una DPM de 551.91 metros; un porcentaje de eficiencia del 71.65%. Madereo con la torre Sigü; con un rendimiento de 9.18 t/hora, 57 ciclos en un promedio de 8:28:31 horas y una DPM aproximada de 150 metros; con un porcentaje de eficiencia del 73.69%. Carga con el camión Hino FM 2; con un rendimiento de 7.54 t/hora, 160 ciclos en un promedio de 8:44:39 horas; y un porcentaje de eficiencia del 73.90%. Para la cosecha de una hectárea de la plantación de pino, el servicio de aprovechamiento es el más costoso con 4966.56 USD/ha que representa el 38.22% del costo total, seguido de la torre con 2340.49 USD/ha que significa el 18.01%, skidder con 2117.00 USD/ha que equivale al 16.29%, cargadora con 1968.00 USD/ha con el 15.15% y finalmente el toimil con 1601.72 USD/ha que equivale al 12.33%; dando un valor total de 12993.76 USD por el aprovechamiento de una hectárea de 620.82 toneladas.



## **IX. ABSTRACT**

The purpose of this investigation is evaluate the semi-machining wooden of *Pinus radiata* D. Don (pine) in plantations Novopan company of Ecuador S.A. in Cebadas, Guamote canton, Chimborazo province. Samples were taken for each machine and were used for the study of time, performance and production costs of the harvest system. In the activities of the system was: flipping, trimming and chopping with a chainsaw we have a performance of 11.20 tons/hour, 11 turned trees, a percentage of efficiency of 72.64%. Logging skidder tractor; we have a yield of 7.47 tons/hour, 18 cycles in an average of 6:14:47 hours and a DPM (average distance of logging) of 469.27 meters; with a percentage of efficiency of the 76.73%. Logging with a tractor Toimil an efficiency of 8.63 tons/hour, 9 cycles and a DPM 551.91 meters, a percentage of efficiency of 71.65%. Logging with tower - Sigu; with a yield of 9.18 tons/hour, 57 cycles in an average of 8:28:31 hours and a DPM of approximately 150 meters; with a percentage of efficiency of 73.69%. Load with the Hino truck FM 2, with a performance of 7.54 tons/hour, 160 cycles in an average of 8:44:39 hours; and a percentage of efficiency of 73.90%. For the harvest of one hectare of plantation pine, use service is the most expensive with 4966.56 USD/Ha representing the 38.22% of the total cost, followed by the tower with 2340.49 USD/Ha which means the 18.01 %, skidder with 2117.00 USD/Ha which equals to the 16.29%, loader with 1968.00 USD/Ha with the 15.15% and finally the toimil with 1601.72 USD/Ha which equals the 12.33%; giving a total amount of 12993.76 USD for the use of a hectare of 620.82 tons.

## **X. BIBLIOGRAFÍA**

1. ALVAREZ, S. & KUNZ, M. (1988). Modelo predictor de rendimientos y costos de explotación. In: Actas I Taller de Producción Forestal. Concepción, 1988, Chile. Cap. VIII. 13 pp.
2. AMBROSIO, Y. & TOLOSANA, E. (2007). El control de tiempos y rendimientos en los trabajos forestales. El programa kronos. Madrid - España. En línea: <http://www.revistamontes.net/fichaArt.aspx?id=4869>.
3. BARNES, R. (1979). Estudio de Movimientos y Tiempos. V Edición, III Impresión. Madrid - España: Aguilar S.A. 746 pp.
4. BEYER, J. (1991). Modelo de apoyo a la toma de decisiones respecto a la localización de canchas de madereo en conjunto con el trazado de caminos forestales. In: Actas III Taller de Producción Forestal. Fundación Chile-Grupo de Producción Forestal. Concepción - Chile. Cap. XIII. 9 pp.
5. BRITO, J. (2007). Estadística descriptiva. Quito - Ecuador: Trébol.
6. CÁNDANO, F. (2004). Aprovechamiento forestal. La Habana - Cuba: Félix Varela.
7. CAREY, P. (1997). Metodología y diseño de un sistema para el apoyo en la planificación de operaciones forestales. Chile
8. CARRASCO, S. (1984). Análisis del madereo mediante una torre Koller-300 (Live Sky Line Sistem). (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago - Chile. 95 pp.
9. CORFO-INFOR. (1989). Análisis y diagnóstico de procesos industriales de transformación mecánica de madera. Parte III: Estudio de utilización del tiempo de trabajo en plantas de aserrío. Informe Técnico N° 119. Santiago - Chile. 50 pp.

10. CONWAY, S. (1982). *Logging Practices: Principles of Timber Harvesting Systems*. San Francisco - USA: Miller Freeman. 434 pp.
11. CHÁVEZ, A. (1997). *Estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío, Manual Práctico*. Santa Cruz – Bolivia: Proyecto BOLFOR.
12. DYKSTRA, D. & POSCHEN, D. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Barcelona – España: Chantal Dufrense.
13. EORONHEIMO, O. & MÄKINEN, P. (1995). *Desarrollo de cosecha forestal en las plantaciones de pino radiata en Chile*. Helsinki - Finlandia: Instituto de Investigación Forestal de Finlandia. 79 pp.
14. FAO. (1975). *Informe sobre Seminario FAO/SIDA/México. El transporte de la madera en países de América Latina*. Roma. 478 pp.
15. FUENTES, J. A. (1995). *Diseño y construcción de un simulador de explotación forestal en plantaciones para uso docente*. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago - Chile. 70 pp.
16. FRAUENHOLZ, O. (1984). *Estudios del trabajo en actividades forestales forstliche ausbildungsstatte ort. Informe del tercer curso de capacitación*. Roma: FAO. 285 pp.
17. GARCÍAS, M. A. (2004). *Sistema de presupuesto para faenas de cosecha forestal mecanizadas*. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal.) Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción - Chile. 95 pp.
18. GAYOSO, J & ACUÑA, M. (1999). *Mejores Prácticas de Manejo Forestal. Guía de Campo*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia - Chile. 34 pp.

19. GIORDANO, G. (1959). Logging Cableways. Génova: United Nation Publications. 145 pp.
20. GUTIÉRREZ, S. (1999). Introducción al estudio del trabajo. Apuntes cátedra de Gestión de Operaciones, Ingeniería en la Madera. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago - Chile. 36 pp.
21. GRANDA, Y. (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Cebadas. Riobamba – Ecuador: Gutenberg
22. HAUSKA, E. (1984) Estudios de tiempo en las operaciones de arrastre de madera. Forstliche Bundesversuchsanstalt. Informe del tercer curso de capacitación. Roma: FAO. 285 pp.
23. LARGO, S. (1985). Principios y técnicas de extracción forestal con cables. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Concepción. Boletín de Extensión N° 9. Concepción - Chile. 19pp.
24. LARRAIN, O., BECKER, J. & GARRIDO, G. (1989). Evaluación del madereo con torres. In: II Taller de Producción Forestal. Fundación Chile-Grupo de Producción Forestal. Concepción, 1989. Concepción - Chile. 13pp.
25. LINDEROS, M. (1999). Utilización Forestal. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción - Chile, 81 pp.
26. NEUENHWANDER, R. (1987). Tractores forestales para el madereo. Revista Chile Forestal. Documento Técnico N° 26. Septiembre, 1987. 8 pp.
27. NOORI, H. & RADFORD, R. (1997). Productividad como medida del desempeño. P: 580 - 583. In: Administración de operaciones y producción: Calidad total y respuesta sensible rápida. Bogotá - Colombia: McGraw-Hill. 648 pp.

28. LUNA, H. & SÁNCHEZ, J. (2008). Evaluación operacional y ambiental del abastecimiento forestal en el Ejido San Pablo, Pueblo Nuevo, Durango. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Durango – México.
29. LLANGA, P. (2011). Evaluación de los sistemas de cosecha en plantaciones de pino (*Pinus patula*) en forma mecanizada y semi-mecanizada en la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Riobamba - Ecuador.
30. ORTIZ, L. (1995). Manual de gestión y aprovechamientos forestales de la madera. Pontevedra – España
31. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(1): 58-59, (2011). NÁJERA, J. *et al* (2011).
32. TOLOSANA, E., GONZÁLEZ, V. & VIGNOTE, S. (2000). El aprovechamiento maderero. Madrid – España: Mundi-Prensa.
33. SAPUNAR, P., MANSILLA, B. & FUENTEALBA, G. (1999). Sistema Cartográfico de apoyo a la planificación y habilitación de la cosecha forestal. Concepción - Chile: XII SILVOTECNA. 120 pp.
34. SÁEZ, A., FÉRNANDEZ, A. & GITIÉRREZ, G. (1993). Contabilidad de costes y contabilidad de gestión. Volumen 1. España: McGraw-Hill, 560 pp.
35. TRONCOSO, J. (1996). PLADEC: Un modelo para la planificación de sistemas de cosecha en *Pinus radiata* D. Don. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal.) Universidad de Talca. Facultad de Recursos Naturales. Talca - Chile, 112 pp.
36. URRA, G. (1999). Estudio de tiempo, rendimiento y costo para los equipos de madereo mecanizado: logger's dream y skidder. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. Talca - Chile. 68 pp.

37. VALDEBENITO, G. (1994). Modelo matemático para el cálculo de la distancia promedio de madereo. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Universidad de Talca. Facultad de Recursos Naturales. Talca - Chile. 112 pp.
38. VALDEBENITO, G. & NEUENHWANDER, R. (1995). Evaluación y selección de número de canchas en función de costos mínimos de madereo. In: Actas Seminario Internacional. Sistema de Producción Forestal: Decisiones y Técnicas. Universidad de Talca. Talca - Chile. pp: 85-93.
39. VERGARA, M. (2000). Evaluación del rendimiento de torres de madereo en faenas a tala rasa. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. Talca - Chile. 75 pp.
40. VIGNOTE, S., MARTOS, J. & GONZÁLEZ, M. (1993). Los tractores en la explotación forestal. Madrid – España: Mundi-Prensa.
41. WANG, J., LONG, CH., MCNEEL, J. & BAUMGRAS, J. (2004). Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Products Journal*. 54(12): 45-51.