

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente



RENDIMIENTO DEL HARVESTER PONSSE S-15 CON
CABEZAL PONSSE H-73 PARA DISTINTAS CALIDADES
DE ARBOLES EN UN RODAL DE *Pinus radiata* D. Don.

Por

MAURICIO ALBERTO BENAVENTE AMIGO

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1999

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente

RENDIMIENTO DEL HARVESTER PONSSE S-15 CON
CABEZAL PONSSE H-73 PARA DISTINTAS CALIDADES
DE ARBOLES EN UN RODAL DE *Pinus radiata* D. Don.



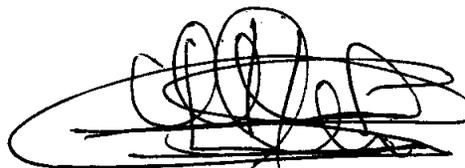
MAURICIO ALBERTO BENAVENTE AMIGO

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1999

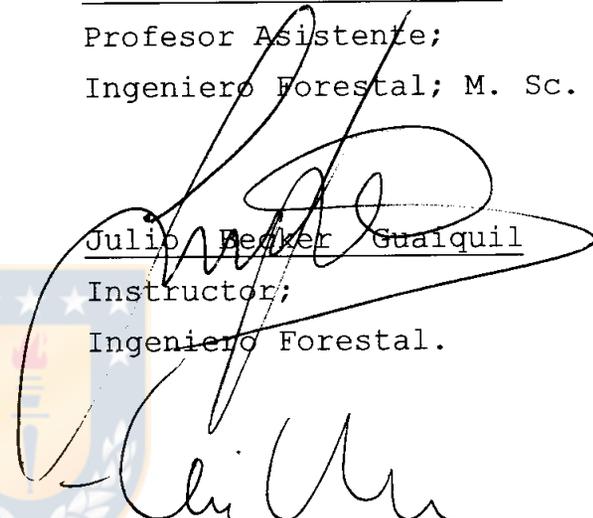
RENDIMIENTO DEL HARVESTER PONSSE S-15 CON CABEZAL PONSSE H-73 PARA DISTINTAS CALIDADES DE ARBOLES EN UN RODAL DE *Pinus radiata* D. Don.



Profesor Asesor

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

Profesor Asesor



Julio Becker Gualquil
Instructor;
Ingeniero Forestal.

Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente



Jaime Millán Herrera
Profesor Titular;
Ingeniero Forestal; Dr.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales



Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título:

Manuel Lineros P.: 90 puntos (noventa puntos).

Julio Becker G. : 75 puntos (setenta y cinco puntos).

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos, por el apoyo brindado en todo momento, además por la comprensión y el cariño que manifestaron durante el desarrollo de la presente memoria de título.

A mis padres, que me dieron la posibilidad de poder estudiar y obtener un título universitario.

A todas aquellas personas que en algún momento me apoyaron y motivaron en la obtención de la meta propuesta.



AGRADECIMIENTOS

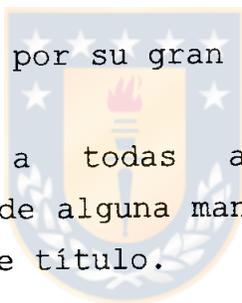
Al Sr. Manuel Lineros P., por su dedicación y ayuda en la elaboración de la presente memoria de título, además por su comprensión y buena disposición.

A la empresa Forestal Mininco S.A., por facilitar la tarea de toma de datos en terreno. En forma especial al Sr. Ricardo Landeros B., Jefe del departamento de Cosecha de dicha empresa.

Al Sr. Freddy Milla A., por su valiosa ayuda y cooperación.

Al Sr. Julio Becker G., por su gran colaboración.

En forma especial, a todas aquellas personas que colaboraron y ayudaron de alguna manera para poder realizar y terminar mi memoria de título.



INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCION.....	1
II METODOLOGIA.....	6
2.1 Materiales y equipos.....	6
2.2 Metodología.....	7
III RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
3.1 Ajuste de modelos.....	13
3.1.1 Arboles rectos.....	13
3.1.2 Arboles curvos.....	14
3.1.3 Arboles bifurcados.....	15
3.2 Rendimientos.....	16
3.3 Estudio de calidad de procesamiento.	18
3.3.1 Calidad de trozado.....	18
3.3.1.a Trozas basales, producto 4,15 m..	18
3.3.1.b Trozas apicales, producto 2,44 m.	19
3.3.1.c Trozas apicales, producto 4,90 m.	20
3.3.2 Calidad de desramado.....	21
3.4 Grado de aprovechamiento.....	23
IV CONCLUSIONES.....	25
V RESUMEN.....	27
VI SUMMARY.....	28
VII BIBLIOGRAFIA.....	29

VIII	APENDICE.....	31
	8.1 Análisis de regresión.....	31



INDICE DE TABLAS

TABLA	N°	PAGINA
-------	----	--------

En el texto

1	Características generales de los rodales.....	8
2	Tamaño de la muestra por calidad.....	9
3	Funciones de rendimiento según calidad de fuste.	16
4	Errores de procesamiento de trozado (%).....	21

En el Apéndice

1 A	Ajuste de modelos de volumen para árboles rectos.....	31
2 A	Ajuste de modelos de tiempos variables para árboles rectos.....	31
3 A	Ajuste de modelos de volumen para árboles curvos.....	32
4 A	Ajuste de modelos de tiempos variables para árboles curvos.....	32
5 A	Ajuste de modelos de volumen para árboles bifurcados.....	32
6 A	Ajuste de modelos de tiempos variables para árboles bifurcados.....	33

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Cabecal procesador Ponsse H-73.....	7
2	Rendimiento del equipo para las distintas calidades fustales.....	17
3	Longitud de trozas basales producto 4,15 m.	18
4	Longitud de trozas apicales en producto 2,44 m.....	19
5	Longitud de trozas apicales en producto 4,90 m.....	20
6	Distribución de muñones residuales del proceso de desrame.....	22
7	Grado de aprovechamiento.....	23

I INTRODUCCION

Dada la creciente mecanización de las actividades productivas forestales y en la perspectiva de disminuir la tasa de accidentabilidad, en las faenas de tala rasa, se ha incorporado un conjunto de maquinarias destinadas al volteo, desrame y trozado de los árboles, lo cual se traduce en un aumento de la productividad, una disminución de los accidentes y un mejoramiento de las tasas de producción. En este contexto tienen una gran importancia las cosechadoras, mecanización que se ha visto restringida a sectores cuya pendiente no supera el 30% (Landeros, 1996).

En los últimos años, Chile ha presentado un crecimiento sostenido en la mayoría de los rubros, especialmente el forestal, el cual sobrepasa la más optimista de las proyecciones. Si se considera el volumen a extraer, es importante reconocer que los sistemas de cosecha tradicional son insuficientes ante esta nueva realidad. Se debe tener presente que la mecanización de faenas surge debido al crecimiento del sector, asociado a la necesidad de satisfacer compromisos adquiridos con mercados externos (Cejas, 1991).

Las condiciones ambientales están comenzando a incrementar su importancia en la selección de la maquinaria de cosecha y en el método del mismo. Hay una necesidad creciente para un alto performance de la maquinaria que produzca a bajos

costos, alta calidad de la madera y minimización del impacto del medio ambiente (White, 1996).

El desarrollo experimentado por el sector forestal en Chile durante las últimas décadas, ha incentivado el uso de equipos con mayores avances tecnológicos con el fin de optimizar el aprovechamiento del recurso cosechado. Hoy, es masivo el uso de motosierras y han ingresado al país equipos polifuncionales, tales como los harvester, para el desarrollo de la producción (Linerós, 1996).

La generación de productos forestales implica la utilización de variados equipos durante las faenas de cosecha forestal. MC Nally (1995), señala que las operaciones normales durante la cosecha de un rodal comprenden tres etapas: 1) volteo y preparación de la madera; 2) madereo o transporte corto y 3) transporte largo.

Se han realizado diversos análisis de sistemas de cosechadoras de madera para establecer cual es el más factible en cada situación, llegando a la conclusión que ningún sistema tiene una aceptación universal y que ninguno puede operar con su capacidad y costos óptimos bajo todas las circunstancias. La eficiencia de un sistema de producción es altamente dependiente del lugar y tipo de suelos que lo rodea y la infraestructura con la cual está operando (Hakkila, 1995).

Becker et al (1988) concluyen, en un estudio sobre el aprovechamiento económico del bosque, que las actividades de volteo y trozado son aquellas que producen una mayor pérdida económica durante las faenas de cosecha. Debido a ello, y a la introducción acelerada en los últimos años de nuevos equipos para el desarrollo de las operaciones forestales, los estudios relacionados con el rendimiento de equipos usados en estas actividades son de gran importancia para el aprovechamiento del recurso (Linerós, 1996). Debido a lo anterior, que los estudios de tiempo y rendimiento, constituyen la base fundamental para el desarrollo de modelos de simulación y optimización (Landerós, 1996).

Gingras (1994), señala que al registrar el número de rollizos producidos por árbol y por ciclo de proceso, es posible generar una relación aproximada entre el tamaño promedio de los árboles y la productividad del harvester. La relación muestra un aumento proporcional entre productividad y volumen hasta un punto de inflexión de $0,40 \text{ m}^3/\text{árbol}$. Se observó que llegando a este volumen, el tamaño de las ramas crean un serio problema para la cosechadora.

El estudio de rendimiento durante la cosecha forestal debe incluir el desglose de las operaciones estudiadas en sus etapas más relevantes determinando los tiempos parciales de cada una de ellas y el tiempo total de la operación, el cual se puede relacionar con la producción, expresando el

rendimiento en unidades de producción por unidad de tiempo. (Arrué,1985).

Forest Research Institute (1988), señala que el nivel de calidad de una máquina puede estar indicado por la productividad. Esta en sí puede estar expresada como la cantidad de materia producida por unidad de tiempo (m^3ssc/h), o el tiempo requerido para producir una cantidad dada de material (h/m^3ssc).

Richardson y Makkonen (1994), señalan que las cosechadoras están diseñadas para cortar, desramar y trozar los troncos a una longitud determinada en el bosque. El volumen del árbol es la variable más importante que afecta la productividad de las cosechadoras. Estas son muy sensibles al tamaño del árbol, porque ellas generalmente manejan un sólo tronco o árbol a la vez y el ciclo de tiempo para procesar un árbol pequeño es similar al que se utiliza para un árbol grande.

Los trozos no comerciales en un bosque puede afectar la productividad, así como la destreza de los operadores que puedan necesitar hasta dos años para alcanzar su potencial de productividad.

Araki (1994), realizó un estudio para el procesador cortador Lako AFM60. Este trabajó bien en árboles de tamaño pequeño y mediano con un promedio límite de diámetro menor a 45 cm, teniendo dificultades para procesar troncos

mayores a 45 cm y troncos con ramas de más de 5 cm de diámetro.

Los cabezales están clasificados dentro de la categoría de accesorios de las cosechadoras. Estos poseen sistemas de transmisión hidráulicas con diversos rodillos de alimentación, provocando una presión constante sobre el fuste, sin importar el diámetro del tronco. Además, tiene incorporados cuchillos metálicos que permiten el desrame siguiendo la geometría del trozo. Junto con esto, poseen sistemas de medición y cubicación registrando diámetros y longitudes que permiten un procesamiento exacto al momento de registrar la producción por volúmenes (Linerós, 1996).

A continuación se presenta la siguiente memoria de título que tiene como objetivo estimar el rendimiento, la velocidad de procesamiento y calidad del mismo, de un cabezal Ponsse, en diferentes calidades de fuste.

II METODOLOGIA

2.1 Material y Equipos.

Los materiales utilizados para la toma de los datos en terreno fueron los siguientes: forcipulas, cronómetro digital, huinchas de distancia, hipsómetros, reglas graduadas, pintura para marcación, formularios y cinta refractante.

El equipo evaluado fue el cabezal procesador Ponsse H73, instalado sobre un Harvester Ponsse S-15. El equipo (Figura 1), tiene un peso en condiciones de trabajo de 1050 kg, una longitud de 1515 mm y un ancho de 1440 mm. El sistema de alimentación consta de tres unidades de rodillos de garra envolvente o ruedas con cadenas con una potencia de alimentación de 26 kW y una velocidad de alimentación de 0,4 m/s. El equipo de desrame está formado por una cuchilla fija y cuatro cuchillas móviles accionadas hidráulicamente, con una apertura máxima de 70 cm. El equipo de trozado cuenta con una sierra hidráulica de cadena con una potencia de 45 kW; la longitud de los cuchillos es de 75 cm, con un diámetro de corte de 64 cm.

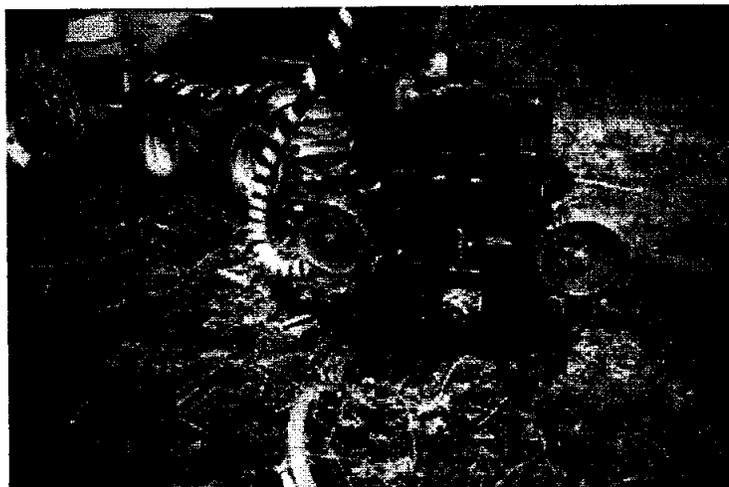


Figura 1. Cabezal procesador Ponsse H-73.

2.2 Metodología

El cabezal procesador Ponsse H73 fue evaluado en dos rodales de *Pinus radiata* D.Don, ubicados en el Fundo Cerro Verde de propiedad de Forestal Mininco S.A., comuna de Cabrero, VIII Región. El sistema de aprovechamiento utilizado fue de madera corta en largos de 5,10 m; 4,90 m; 4,15 m y pulpa de 2,44 m.

Los parámetros generales a nivel de rodal se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características generales de los rodales

Característica	Unidad	Rodal 1	Rodal 2
Edad	años	22	22
Superficie	ha	18,3	8,8
Raleo		Comercial	Comercial
Densidad	árb/ha	216	430
Suelo		Arenoso	Arenoso
Dap Medio	cm	35,6	27,2
Area Basal	m ² /ha	21,0	24,6
Altura Total Media	m	29,3	23,3
Indice Sitio	m	29,3	24,7
Volumen Medio	m ³ /ha	200,7	196,9

Para evaluar el rendimiento y la calidad de trozado y desramado del cabezal Ponsse H73, se seleccionaron tres calidades de fuste, definidos como:

1. Arbol recto: Entendiéndose como aquel que presente una forma cilíndrica, sin daños mecánicos y sin desviaciones del fuste respecto de su eje central.
2. Arbol curvo: Es aquel que presenta marcadas desviaciones del fuste respecto de su eje central.
3. Arbol bifurcado sobre 1,30 m de altura: Son aquellos que presentan doble flecha a una altura superior a 1,30 m.

En la Tabla 2, se indica el tamaño de la muestra para cada una de las calidades antes descritas.

Tabla 2. Tamaño de la muestra por calidad.

Calidad	Muestra
Recto normal	70
Curvo	60
Bifurcado	47
Total	177

Las variables medidas fueron Dap, altura total y volumen comercial por árbol.

La calidad de procesamiento en desrame y trozado fue evaluado midiendo dos variables :

- Longitud de cada muñón de rama dejado por el procesador una vez terminada la operación de desramado.
- Longitud real de la troza, una vez terminada la operación de trozado.

Para evaluar la calidad del desramado y trozado se seleccionaron 40 trozos (calidad recto y curvo), distribuyéndose en 20 trozas basales y 20 trozas de la parte apical de los árboles. A cada una de éstas se les midió el largo de los muñones una vez terminada la operación de desrame, clasificándolos desde 0 cm hasta mayores a 8 cm. El largo de cada muñón se midió desde la parte basal paralela a éste, determinando finalmente la incidencia porcentual de cada una de las categorías presentes después del procesamiento.

Las mismas trozas fueron medidas en su largo real comparándose posteriormente con el largo nominal preestablecido; obteniéndose el error de procesamiento expresado en porcentaje, de la siguiente forma:

$$EP (\%) = \frac{(L - Lp)}{L} \times 100$$

En donde:

EP = error de procesamiento, (%).

L = longitud nominal promedio del producto esperado, (m).

Lp = longitud real promedio, (m).

100 = factor porcentual.

La velocidad de procesamiento del cabezal se definió determinándose una función de rendimiento por cada clase de calidad de árbol. Para tal objetivo, se determinan los tiempos variables del trabajo de los equipos:

a) Volteo: tiempo comprendido desde el momento que el cabezal se posiona en la parte basal del árbol hasta que éste entra en contacto con el suelo.

b) Desrame y trozado: tiempo que transcurre desde que el cabezal inicio el desrame de la primera troza hasta la última, incluyendo el trozado total de dicho árbol.

Paralelo a la toma de tiempos de procesamiento se registraron la totalidad de los diámetros y largos de cada uno de los trozos obtenidos de los árboles seleccionados para las diferentes calidades estudiadas. Estos fueron obtenidos del computador del harvester, en el interior de la cabina de mando.

La expresión de rendimiento a utilizar fue la siguiente :

$$R = \frac{(60 \times V)}{Ftv}$$

En donde:

- R = Rendimiento del cabezal, m³scc/h
 V = Función de volumen comercial, m³scc;
 Ftv = Función de tiempo variable, min/ciclo;
 60 = Factor de conversión de minutos a hora.

Para determinar la función de tiempo variable se procedió a ajustar diversos modelos. Además se realizó un ajuste de modelos matemáticos con el fin de obtener una función de volumen, elegida en base a indicadores estadísticos.

Se determinó el grado de aprovechamiento (G A) de los árboles durante la faena de cosecha, el cual es un porcentaje de utilización de los árboles en el proceso de trozado. Este factor se calculó para distintas clases diamétricas, relacionando la sumatoria de las longitudes de las trozas obtenidas por árbol con su altura total, a través de la siguiente fórmula:

$$G A = \frac{\left(\sum_{i=1}^n Lt_i \right)}{\sum_{i=1}^n H_i} \times 100$$

En donde:

G A = Grado de aprovechamiento, (%)

$\sum Lt_i$ = Longitud de las trozas del árbol i de cada clase diamétrica, (m).

ΣH_i = Altura total del árbol i de cada clase diamétrica,
(m).



III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Ajuste de modelos.

3.1.1. Arboles rectos. El ajuste de modelos realizado con el fin de obtener una función de volumen en relación al DAP y la altura total, entregó los estadísticos presentadas en la Tabla 1A.

De los modelos presentados se selecciona el modelo 1, por poseer el mayor valor de coeficiente de determinación ajustado (R^2), el mayor valor de la Prueba de Varianza (F), y el menor valor de error estándar de estimación (EEE). La función de volumen seleccionada fue:

$$V = - 0,7355428 + 0,04347783 * DAP$$

De donde

R^2 Ajustado:	0,91
EEE (%) :	19,64
Prueba de F:	709,57
n :	68

Los resultados obtenidos en el ajuste de modelos de tiempos variables se presentan en la Tabla 2A. De dichos modelos se selecciona el número 2 por poseer éste los menores errores estándar de los parámetros β_0 y β_1 , asociados a los mejores estadísticos. De ésta manera, la función de tiempo variable seleccionada fue:

$$TV = 0,01485501 + 0,00070002 * DAP^2$$

De donde

R ² Ajustado:	0,77
EEE (%) :	25,82
Prueba de F:	233,30
n :	68

3.1.2. Árboles curvos. El ajuste de modelos con el fin de obtener una función de volumen en relación al DAP y la altura total entregó los estadísticos presentados en la Tabla 3A. De los modelos presentados en dicha tabla, se selecciona el número 1, por poseer los mejores estadísticos. La función de volumen seleccionada fue:

$$V = - 0,749810 + 0,0441957 * DAP$$

De donde

R ² Ajustado:	0,88
EEE (%) :	18,78
Prueba de F:	449,53
n :	59

El ajuste de modelos de tiempos variables entregó los estadísticos presentados en la Tabla 4A. De los modelos mencionados se procede a seleccionar el número 2 ya que éste presenta los menores errores estándar de los parámetros β_0 y β_1 , asociados a los mejores estadísticos estudiados. De acuerdo a esto, la función de tiempo variable seleccionada fue:

$$TV = -0,06835213 + 0,000832 * DAP^2$$

De donde

R ² Ajustado:	0,71
EEE (%) :	28,90
Prueba de F:	120,08
n :	49

3.1.3 Árboles bifurcados. El ajuste de modelos con el fin de obtener una función de volumen en relación al DAP y la altura total, entregó los estadísticos presentados en la Tabla 5A.

De los modelos presentados en la Tabla 5A. se selecciona el número 1 por poseer los mejores estadísticos antes mencionadas. La función de volumen seleccionada fue:

$$V = - 0,84890 + 0,04755225 * DAP$$

De donde

R ² Ajustado:	0,79
EEE (%) :	24,38
Prueba de F:	170,29
n :	44

Con respecto al ajuste de modelos de tiempos variables en función del DAP, éste entregó los estadísticos presentados en la Tabla 6A.

De los modelos se selecciona el número 2 por poseer los menores errores estándar de los parámetros β_0 y β_1 ,

asociados a los mejores estadísticos. La función de tiempo variable seleccionada fue:

$$TV = 0,2548196 + 0,0008142 * DAP^2$$

De donde

$$\begin{aligned} R^2 \text{ Ajustado:} & \quad 0,54 \\ \text{EEE (\%)} & \quad : \quad 26,66 \\ \text{Prueba de F:} & \quad 51,93 \\ n & \quad : \quad 44 \end{aligned}$$

3.2 Rendimientos.

La función de rendimiento para el procesador en los árboles de distinta calidad, se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Funciones de rendimiento según calidad de fuste.

Calidad	Función
Recto	$R = \frac{(-44,132568 + 2,608668 \times DAP)}{(0,01485501 + 0,00070002 \times DAP^2)}$
Curvo	$R = \frac{(-44,9886 + 2,651742 \times DAP)}{(-0,06835213 + 0,000832 \times DAP^2)}$
Bifurcado	$R = \frac{(-50,9340 + 2,853132 \times DAP)}{(0,2548196 + 0,0008142 \times DAP^2)}$

En forma práctica, el comportamiento del equipo procesador en relación a los rendimientos obtenidos, se puede apreciar en la Figura 2, para las tres calidades de árboles.

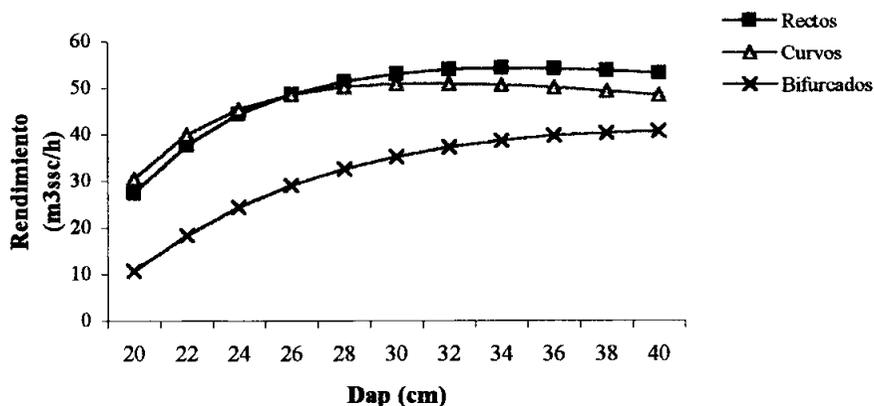


Figura 2. Rendimiento del equipo para las distintas calidades fustales.

De los antecedentes obtenidos anteriormente, se puede apreciar que a partir del diámetro medio de 26 cm, el rendimiento del procesador es mayor, en los árboles rectos que en los curvos, aumentando el incremento en rendimiento entre ambas calidades.

En los diámetros inferiores el rendimiento del procesador es un poco mayor en los árboles curvos que en los rectos, acercándose e igualándose en el diámetro medio de 24 cm.

Para el caso del rendimiento del equipo en árboles bifurcados, se aprecia que este es menor respecto de las otras dos calidades fustales estudiadas. Esto se podría explicar por la dificultad del equipo H-73 para procesar árboles de esta calidad, influidos directamente por la pérdida de tiempo en las operaciones de desramado y trozado principalmente.

Finalmente se puede señalar que el rendimiento del cabezal es similar para las calidades fustales recto y curvo, debido principalmente a que los árboles curvos según apreciación en terreno no tienen una gran malformación, ya que el bosque cosechado fue manejado en forma oportuna, realizándose los esquemas tradicionales de manejo.

3.3 Estudio de calidad de procesamiento.

3.3.1 Calidad de trozado. De suma importancia es la evaluación de la calidad del trozado en la operación del cabezal, ya que incide directamente en la calidad del producto obtenido con relación al largo exigido por la empresa mandante. Esto surge de la comparación entre el producto obtenido y el esperado de acuerdo a la planificación de la producción.

3.3.1.a Trozas basales, producto 4,15 m. La precisión en el trozado para este producto se pueden apreciar en la Figura 3.

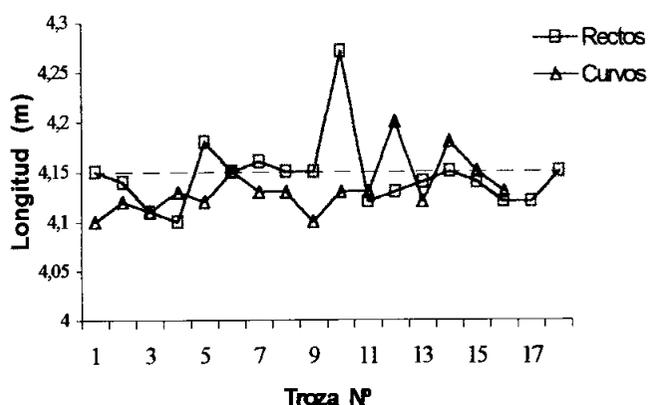


Figura 3. Longitud de trozas basales producto 4,15 m.

La longitud promedio para este producto en árboles rectos fue de 4,14 m, ubicándose bajo el largo esperado un 61 % de las trozas procesadas. En el caso de árboles curvos la longitud promedio fue de 4,13 m, con un 86 % de las trozas ubicadas bajo el largo esperado. La tendencia del cabezal procesador es, en este caso, a trozar longitudes menores que las requeridas. La longitud de las trozas basales para árboles rectos fluctúa entre 4,10 m y 4,27 m. En el caso de las trozas basales para árboles curvos fluctúa entre 4,10 m y 4,20 m.

3.3.1.b Trozas apicales, producto 2,44 m. La precisión en el trozado para este producto se puede observar en la Figura 4.

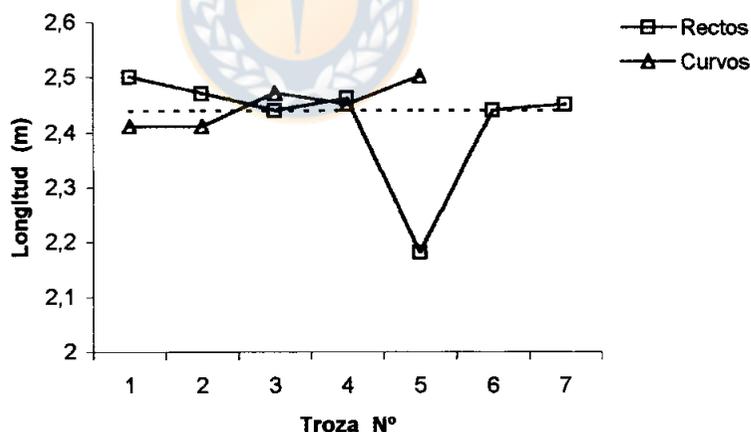


Figura 4. Longitud de trozas apicales en producto 2,44 m.

La longitud promedio para este producto en árboles rectos fue de 2,42 m, ubicándose bajo el largo esperado un 57 % de las trozas procesadas por el cabezal. Para los árboles

curvos la longitud promedio fue de 2,45 m, con un 60 % de las trozas ubicadas sobre el largo esperado.

La longitud de las trozas apicales para árboles rectos se mueve entre 2,50 m y 2,46 m. Para el caso de los árboles curvos, esta longitud fluctúa entre 2,41 m y 2,50 m.

3.3.1.c Trozas apicales, producto 4,90 m. El comportamiento del cabezal procesador en este producto se puede apreciar en la Figura 5.

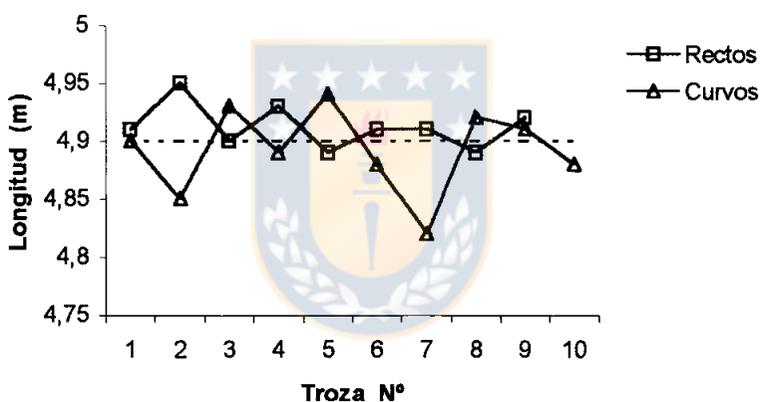


Figura 5. Longitud de trozas apicales en producto 4,90 m.

La longitud promedio para este producto en árboles rectos fue de 4,91 m, ubicándose un 78 % de las trozas procesadas por el cabezal sobre el largo esperado. En el caso de los árboles curvos la longitud promedio del producto fue de 4,89 m, con un 60 % de trozas bajo el largo esperado. El largo de las trozas para árboles rectos fluctúa entre 4,89 m y 4,95 m, y en el caso de los árboles curvos, este rango va desde 4,82 m a 4,94 m.

A continuación se presenta la Tabla 4 con los errores de procesamiento (%), en trozas basales y apicales, para las calidades recto y curvo.

Tabla 4. Errores de procesamiento de trozado (%).

Producto (m)	Basal		Apical	
	Recto	Curvo	Recto	Curvo
2,44	-	-	0,82	0,33
4,15	0,09	0,41	-	-
4,90	-	-	0,25	0,16
5,10	-	-	-	-

Se considera que por el bajo porcentaje de errores de procesamiento, menos de 1 %, este se está realizando en forma precisa. Se puede apreciar que en los largos inferiores (producto 2,44 m), se produce el mayor error, principalmente debido a problemas de maniobrabilidad del operador por la alta velocidad del equipo.

3.3.2 Calidad de desramado. Para determinar la calidad de desrame, sólo se estudiaron las trozas apicales de las calidades recto y curvo, debido a que el bosque se encontraba manejado con poda alta, encontrándose las trozas basales sin verticilos.

En la Figura 6 se presenta la distribución de los muñones residuales estudiados.

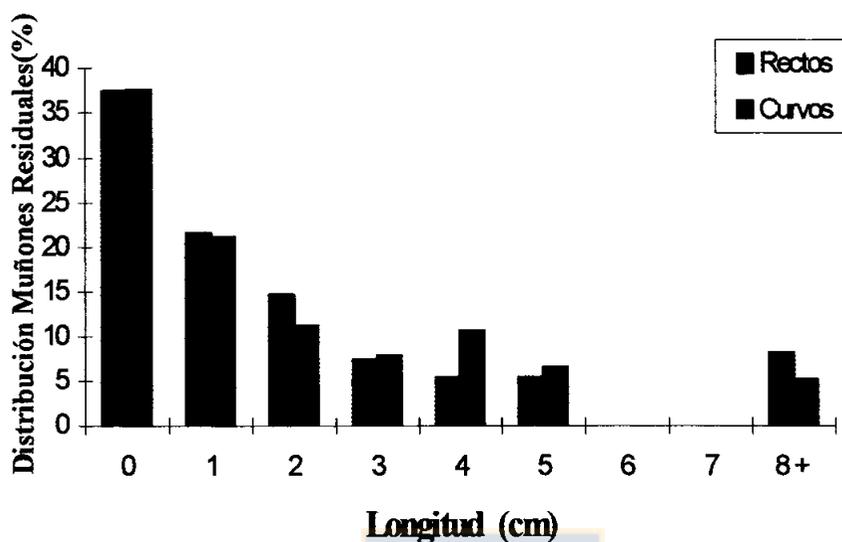


Figura 6. Distribución de muñones residuales del proceso de desrame.

De los resultados, se desprende que el proceso de desrame es mejor en los árboles rectos, que en los curvos.

Considerando que un 73,7% de los muñones residuales en el caso de los árboles rectos, se concentra en las categorías de longitud que van desde 0 a 2 cm, se puede señalar que la calidad de desrame es óptima. En el caso de los árboles curvos, el porcentaje en iguales condiciones, es levemente inferior a la calidad de árboles anteriormente señalada, correspondiendo a 69,9 %. Del gráfico de distribución, se puede apreciar que el porcentaje de muñones residuales disminuye a medida que aumenta el largo de los muñones.

3.4 Grado de aprovechamiento.

El grado de aprovechamiento refleja el nivel de utilización de los árboles en el proceso de trozado. De acuerdo a la metodología, se estudió la utilización en cuanto a la longitud de los productos obtenidos en relación a la altura de los árboles.

La Figura 7 muestra el grado de aprovechamiento para las tres calidades de árboles estudiadas.

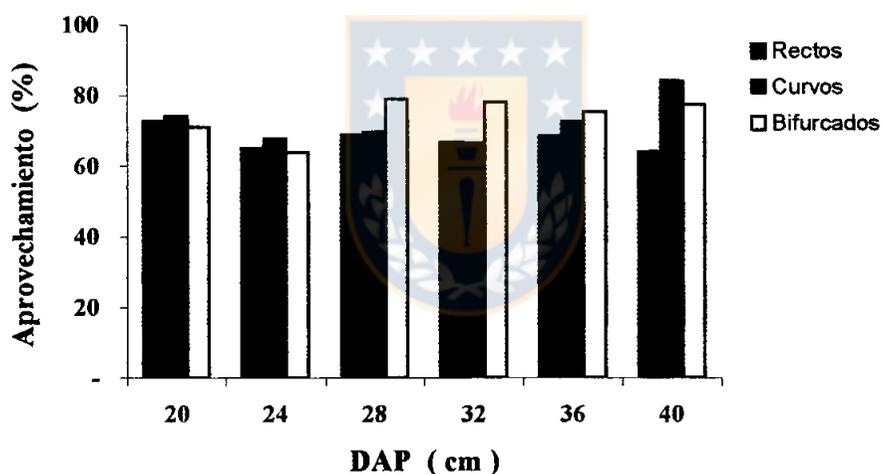


Figura 7. Grado de aprovechamiento.

El grado de aprovechamiento para árboles rectos se mantiene en promedio cercano al 68 %, presentándose un mayor valor en la clase diamétrica 20 cm. La tendencia en este tipo de árboles es en mantener los valores en porcentaje para todas las clases diamétricas.

Para el caso de los árboles curvos, el índice presentado en promedio es cercano a un 72 %, presentándose un mayor aprovechamiento en la clase diamétrica 40. El porcentaje en promedio, es mayor que los árboles rectos en un 4 %, cifra que no es significativa.

El grado de aprovechamiento para árboles bifurcados se mantiene en promedio cercano a un 74 %, donde el mayor aprovechamiento se presenta en las clases 28 y 32 cm. En general, el porcentaje de aprovechamiento es mayor en los árboles de este tipo de calidad que en los árboles rectos y curvos, produciéndose una diferencia cercana al 4 %. La explicación a este hecho es que la evaluación del grado de aprovechamiento se está realizando en base a la longitud de las trozas extraídas, por esto, en el caso de los árboles bifurcados estos presentan en su forma una mayor longitud que los árboles de otro tipo de calidad, por lo que se obtienen una mayor cantidad de trozas comerciales.

IV CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se concluye que:

1. El modelo que mejor representa el comportamiento de los volúmenes para los tres tipos de calidad fustal fue:

$$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP$$

2. Para el caso de los tiempos variables (T V), el modelo que mejor representa el comportamiento para el cabezal estudiado para los tres tipos de calidad fustal fue:

$$T V = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$$

3. El rendimiento estimado del cabezal Ponsse H 73 es mayor en la calidad fustal recto, que en el caso de los árboles curvos y bifurcados.

4. Los errores porcentuales, con respecto a un largo preestablecido, en el proceso de trozado tanto para trozas basales y apicales en las calidades recto y curvo, fluctúan entre 0,09 % y 0,82 %; concluyéndose que el trozado se está efectuando en forma precisa. Además, los errores de trozado disminuyen a medida que el largo del producto requerido aumenta.

5. La mayor cantidad de muñones residuales; tanto en trozas basales y apicales, para las calidades recto y curvo; se concentran en un promedio de 72 % entre las categorías de 0 cm y 2 cm. El porcentaje de muñones residuales disminuye a medida que aumenta el tamaño de ellos.

6. El grado de aprovechamiento para el caso de las calidades fustales recto, curvo y bifurcado se mantiene cercano al 70 %, siendo mayor para las calidades curvo y bifurcados, en un 4 % y 6 %, respectivamente.



V RESUMEN

En una faena de cosecha de dos rodales de *Pinus radiata* D. Don, del fundo Cerro Verde de propiedad de Forestal Mininco S.A., ubicado en la comuna de Cabrero, VIII^a Región, se realizó un estudio de rendimiento y calidad de procesamiento de un cabezal procesador Ponsse H-73, con árboles de diferente calidad fustal. Para ello se midió el tiempo de procesamiento (tiempos variables) del cabezal procesador, junto al DAP, altura total, volumen comercial por árbol, número y tamaño de muñones residuales y longitud de trozas en cada calidad fustal.

Del estudio realizado, se concluyó que el rendimiento estimado del cabezal H-73 es mayor en la calidad fustal recto, que en el caso de las calidades curvo y bifurcado. Respecto de la calidad de procesamiento, el trozado se está realizando en forma precisa, para las calidades fustales recto y curvo, siendo este error de procesamiento menor a 1%. A su vez, respecto a la calidad de desramado, la mayor cantidad de muñones residuales se concentra en las categorías de menor tamaño. En cuanto al grado de aprovechamiento estudiado, este presenta una situación particular, debido a que este es mayor en las calidades curvo y bifurcado, respecto a la calidad fustal recto.

VI SUMMARY

A study of the output performance and processing quality of Ponsse H-73 processor head with trees of varied stem qualities was carried out during harvest operations at two stands planted with *Pinus radiata* D. Don. The stands - owned by Forestal Mininco S.A. - are located at the Cerro Verde site in the commune of Cabrero, VIII^a Región. Processing time (a variable time) of the processor head was measured, along with DBH, total height, commercial volume per tree, number and size of residual stubs, and the length of the logs for each stem quality.

It was concluded from the study that the output of Ponsse H-73 head is higher in the case of straight stems than in the case of curved and forked stems. With respect to processing quality, precision bucking was obtained for both straight and curved qualities, with an error of less than 1%. Concerning quality of delimiting, the highest amount of residual stubs were concentrated on smaller diameter stems. As for better bucking decisions, it presents a particular situation, because it is higher in the curved and forked stems than with the straight stems.

VII BIBLIOGRAFIA

- Araki, D. 1994. Evaluation of an AFM 60 Lako feller-processor. Forest Engineering Reseach Intitute of Canada. Technical Note TN-215. Canadá.
- Arrué, E. 1985. Estudios de tiempo y rendimiento en faenas de explotación. División Información y Desarrollo. Forestal Río Vergara S.A. Documento Técnico N°11. Nacimiento, Chile.
- Becker, J., W. Cabezas y J. Alvarez. 1988. Aprovechamiento económico del recurso bosque. Tema 3. En: Fundación Chile (Ed.). Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Actas I Taller Producción Forestal, Noviembre 24 y 25, 1988. Concepción, Chile.
- Cejas, J. 1991. Raleo mecanizado en arenas. Tema 4. En: Fundación Chile (Ed.). Actas III Taller Producción Forestal, Noviembre 27, 28 y 29, 1991. Concepción, Chile.
- Forest Reseach Institute, 1988. The Lako Harvester. What's New in Forest Research N°161. New Zeland.
- Gingras, J. 1994. A comparision of full-tree versus ant-to-length systems in the Manitoba model forest. Forest Engineering Research Institute of Canada. Special Report N°Sr-92. Mayo, 1994. Canadá.

- Hakkila, P. 1995. Recent trends of timber harvesting in Finland. Tema 16. En: Fundación Chile (Ed.). Actas V Taller Producción Forestal, Noviembre 21, 1995. Concepción, Chile.
- Landeros, R. 1996. Tiempos y rendimientos de los equipos Harvester 608 y Forwarder de Timberjack en intervención de raleo selectivo. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Lineros, M. 1996. Cátedra de Utilización Forestal. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Mc Nally, J. 1975. La explotación y el transporte de trozos en bosques artificiales de países en desarrollo. En: FAO (Ed.). El transporte de la madera en países de América Latina. Seminario FAO/SIDA, Febrero 23 - Marzo 21, 1975. Oaxtepec, México.
- Richardson, R. and J. Makkonen. 1994. The performance of ant-to-length system in eastern Canada. Technical Report N°TR-109. Canadá.

VIII APENDICE

8.1 Análisis de regresión. El análisis de regresión entregó los siguientes estadísticos:

Tabla 1 A. Ajuste de modelos de volumen para árboles rectos.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.V = -0,7355 + 0,04347 * DAP	0,91	19,64	709,57	68
2.V = 0,0122 + 0,000022* DAP ² *H	0,90	20,55	642,56	68
3.V = -0,7122 + 0,0446 * DAP - 0,00232 * H	0,91	19,78	698,14	68

Tabla 2 A. Ajuste de modelos de tiempos variables para árboles rectos.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV= f (DAP)	0,74	27,60	195,98	68
2.TV= f (DAP ²)	0,77	25,82	233,30	68
3.TV= f (1/DAP)	0,60	34,16	105,02	68
4.TV= f (Ln DAP)	0,68	30,66	146,27	68
5.TV= f ((Ln DAP) ²)	0,70	29,67	160,74	68

Tabla 3 A. Ajuste de modelos de volumen para árboles curvos.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.V=-0,74981 + 0,04419 * DAP	0,88	18,78	449,53	59
2.V=-0,0337+0,0000258 *DAP ² *H	0,88	18,51	464,26	59
3.V=-0,77585 + 0,042746*DAP + 0,002825 * H	0,88	18,88	222,59	59

Tabla 4 A. Ajuste de modelos de tiempos variables para árboles curvos.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	N
1.TV = f (DAP)	0,68	29,76	107,47	49
2.TV = f (DAP ²)	0,71	28,90	120,08	49
3.TV = f (1/DAP)	0,59	34,16	72,55	49
4.TV = f (LnDAP)	0,64	31,92	89,98	49
5.TV = f (LnDAP ²)	0,66	31,29	95,51	49

Tabla 5 A. Ajuste de modelos de volumen para árboles bifurcados.

Modelo	R ² Ajustado	EEE %	F	n
1.V =-0,8489 + 0,0475 * DAP	0,79	24,38	170,29	44
2.V =0,0291 + 0,0000245*DAP ² *H	0,78	25,40	153,53	44
3.V =-0,91522 + 0,04428 * DAP + 0,007135 * H	0,79	24,43	85,22	44

Tabla 6 A. Ajuste de modelos de tiempos variables para árboles bifurcados.

Modelos	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV = f (DAP)	0,57	25,60	59,86	44
2.TV = f (DAP ²)	0,54	26,66	51,93	44
3.TV = f (1/DAP)	0,59	25,20	63,13	44
4.TV = f (Ln DAP)	0,59	25,08	64,14	44
5.TV = f ((Ln DAP) ²)	0,59	25,17	63,42	44

