

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente

COMPARACION TECNICA DE DOS PROCESADORES, PONSSE
H53 Y H60, EN COSECHA DE *Eucalyptus nitens* MAIDEN

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1998

COMPARACION TECNICA DE DOS PROCESADORES, PONSSE
H53 Y H60, EN COSECHA DE *Eucalyptus nitens* MAIDEN

Profesor Asesor



Manuel Lineros Parra

Profesor Asistente;
Ingeniero Forestal; Mg. Sc.

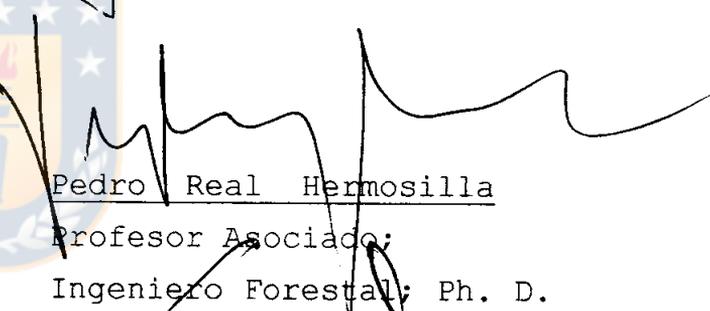
Profesor Asesor



Jorge Beyer Barrientos

Profesor Asistente;
Ingeniero Civil Industrial.

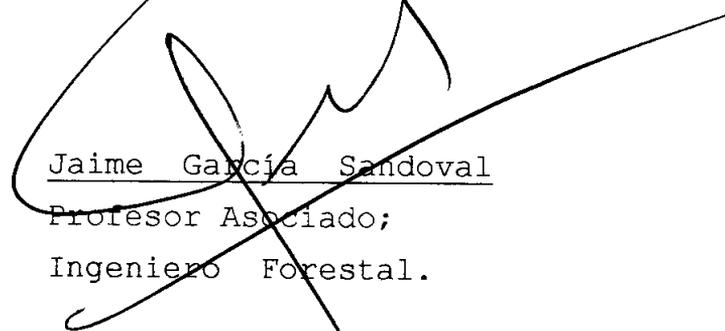
Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente

Pedro Real Hermosilla

Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal; Ph. D.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval

Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título:

Manuel Lineros P.: Noventa y cinco puntos.

Jorge Beyer B. : Noventa y cuatro puntos.

*A Dios,
por su eterno Amor ,
mis padres,
por su constante apoyo,
y a mis hermanos,
por su compañía sin igual.*



AGRADECIMIENTOS

En estas líneas deseo agradecer a las personas que de una u otra manera colaboraron con la realización del trabajo que culmina en estos momentos. En forma especial, a don Manuel Lineros P., quien junto con cumplir la función de asesor en el transcurso de esta memoria, se transformó en un guía, que como tal ayudó no a escribir un simple trabajo, sino a aprender a buscar y encontrar las debilidades y fortalezas en este estudiante de la vida, teniendo la paciencia para atenderme en los momentos necesarios así como la estrictez para exigirme lo que podía entregar.

También deseo agradecer a don Máximo Claveria, Ingeniero Forestal, Gerente de Operaciones de Forestal y Agrícola Monte Aguila S.A., por haber tenido la generosidad necesaria para facilitar la información que permitió desarrollar la presente memoria de título.

Por último, pero por ello no menos importantes en mi corazón. Deseo agradecer a mis compañeros y amigos, aquellos con quienes he compartido estos años, años de esfuerzos y alegrías, años de constante superación, buenos y felices años. Finalmente, deseo dar las gracias a un ser muy especial para mí, Leticia, por su constante ayuda y comprensión durante estos meses, lo que me permitió salir adelante en muchas ocasiones gracias a su cariño sin par.

A todos, ¡¡ Muchas Gracias !!.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PAGINA
I	INTRODUCCION.....	1
II	METODOLOGIA.....	7
	2.1 Materiales y equipos.....	7
	2.2 Metodología.....	8
III	RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
	3.1 Rendimiento de los cabezales procesadores.....	13
	3.1.1 Cabezal Ponsse H53.....	13
	3.1.1.a Arboles normales.....	13
	3.1.1.b Arboles curvos.....	13
	3.1.1.c Arboles bifurcados.....	14
	3.1.2 Cabezal Ponsse H60.....	15
	3.1.2.a Arboles normales.....	15
	3.1.2.b Arboles curvos.....	15
	3.1.2.c Arboles bifurcados.....	16
	3.1.3 Comparación de rendimientos.....	17
	3.1.3.a Arboles de calidad normal.....	17
	3.1.3.b Arboles de calidad curvos.....	19
	3.1.3.c Arboles de calidad bifurcados...	21
	3.2 Estudio de la calidad del procesamiento.....	23
	3.2.1 Calidad de desramado.....	23
	3.2.1.1 Cabezal H53.....	24
	3.2.1.1.a Trozas basales.....	24
	3.2.1.1.b Trozas apicales.....	24

	3.2.1.2 Cabezal H60.....	25
	3.2.1.2.a Trozas basales.....	25
	3.2.1.2.b Trozas apicales.....	26
	3.2.2 Calidad de trozado.....	27
	3.2.2.1 Cabezal H53.....	28
	3.2.2.1.a Trozas basales.....	28
	3.2.2.1.b Trozas apicales.....	30
	3.2.2.2 Cabezal H60.....	32
	3.2.2.2.a Trozas basales.....	32
	3.2.2.2.b Trozas apicales.....	34
IV	CONCLUSIONES.....	37
V	RESUMEN.....	38
VI	SUMMARY.....	39
VII	BIBLIOGRAFIA.....	40
VIII	ANEXO.....	43
	8.1 Determinación de límites de control de calidad.....	43

INDICE DE TABLAS

TABLA	N°	PAGINA
--------------	-----------	---------------

En el texto

1	Tamaño de la muestra por calidad de árbol.....	9
2	Modelos de ajuste para tiempos variables.....	10
3	Ajuste de modelos para árboles normales.....	13
4	Ajuste de modelos para árboles curvos.....	14
5	Ajuste de modelos para árboles bifurcados.....	14
6	Ajuste de modelos para árboles normales.....	15
7	Ajuste de modelos para árboles curvos.....	15
8	Ajuste de modelos para árboles bifurcados.....	16
9	Rendimiento en árboles de calidad normal.....	18
10	Rendimiento en árboles de calidad curvos.....	20
11	Rendimiento en árboles de calidad bifurcado...	22

En el Anexo

1 A	Factores para construir diagramas de control de variables.....	44
-----	--	----

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1 Cabezal procesador Ponsse H53.....	7
2 Cabezal procesador Ponsse H60.....	8
3 Rendimiento de los cabezales en árboles de calidad normal.....	18
4 Rendimiento de los cabezales en árboles de calidad curvos.....	20
5 Rendimiento de los cabezales en árboles de calidad bifurcados.....	22
6 Distribución de muñones residuales del cabezal H53 en trozas basales.....	24
7 Distribución de muñones residuales del cabezal H53 en trozas apicales.....	25
8 Distribución de muñones residuales del cabezal H60 en trozas basales.....	26
9 Distribución de muñones residuales del cabezal H60 en trozas apicales.....	27
10 Longitud de las trozas basales del cabezal H53.....	28

11	Diagrama de tendencia central en trozas basales procesadas por el cabezal H53.....	29
12	Diagrama de rango móvil en trozas basales procesadas con el cabezal H53.....	29
13	Longitud de las trozas apicales del cabezal H53.....	30
14	Diagrama de tendencia central en trozas apicales procesadas con el cabezal H53.....	31
15	Diagrama de rango móvil en trozas apicales procesadas con el cabezal H53.....	31
16	Longitud de las trozas basales del cabezal H60.....	32
17	Diagrama de tendencia central en trozas basales procesadas con el cabezal H60.....	33
18	Diagrama de rango móvil en trozas basales procesadas con el cabezal H60.....	33
19	Longitud de las trozas apicales del cabezal H60.....	34
20	Diagrama de tendencia central en trozas apicales procesadas con el cabezal H60.....	35
21	Diagrama de rango móvil en trozas apicales procesadas con el cabezal H60.....	35

I INTRODUCCION

El manejo de las plantaciones artificiales debe satisfacer numerosas necesidades originadas, en la sociedad en la cual se insertan cumpliendo funciones, tales como: la conservación de suelos y de agua, aspectos recreativos y otros. Sin embargo, uno de los objetivos más importantes de su existencia es la obtención de productos provenientes de ellas, y es por eso que las operaciones vinculadas con la faena de cosecha forestal deben considerarse como la culminación de todas aquellas prácticas silviculturales realizadas en su interior (Anaya y Christiansen, 1986).

La generación de productos forestales implica la utilización de variados equipos durante las faenas de cosecha forestal. Mc Nally (1975), señala que las operaciones normales durante la cosecha de un rodal comprenden tres etapas: (1) Volteo y preparación de trozas, (2) Madereo o transporte corto y (3) Transporte largo.

La etapa de volteo y preparación de trozas, a su vez se subdivide en tres operaciones específicas, a saber: (1) Volteo, operación que incluye todos aquellos cortes que se deben practicar en el árbol para que entre en contacto con el suelo; (2) Desrame, operación en que se despoja al árbol de sus ramas y (3) Trozado: operación en que se realizan los cortes necesarios en el fuste con el fin de obtener todas las trozas posibles de él.

González (1979), señala que las operaciones descritas durante el volteo y preparación de trozas se agrupan como componentes interrelacionados que permiten optimizar la producción a costos razonables, formando parte de un sistema de cosecha, el cual es capaz de sufrir transformaciones a través del tiempo.

El desarrollo experimentado por el sector forestal en Chile durante las últimas décadas, ha incentivado el uso de equipos con mayores avances tecnológicos incluidos con el fin de optimizar el aprovechamiento del recurso cosechado (Linerós, 1996). En relación a esto, la mecanización de las faenas de cosecha persigue, mediante la aplicación de métodos mecánicos apropiados, aumentar la productividad, aliviar el esfuerzo físico del hombre, mejorar su capacidad, eficiencia y calidad de trabajo, elevando junto con ello su calidad de vida (Linerós, 1996).

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), agilizando la adopción de alternativas de producción eficientes ante los nuevos requerimientos (Silva y Cabezas, 1991). Como ejemplo de este proceso, la ejecución de las actividades de volteo y trozado, hasta mediados de siglo, era realizado con hacha y serrucho, los cuales posteriormente fueron desplazados por la introducción de motosierras en las faenas de cosecha durante la década del 50, lo que permitió aumentar la producción a escala, disminuyendo significativamente los costos generados por ello (Overgaard, 1975). Hoy, ya es

masivo el uso de motosierras, y a partir del primer quinquenio de la década del 90 han ingresado a la región, para faenas de tala rasa y raleo, equipos de alta mecanización, como son los harvester, los que han permitido un aumento en la productividad (Hermosilla, 1991; Hermosilla, 1993).

Se debe tener presente, que la maquinaria forestal, posible de utilizar en las faenas de cosecha, es un insumo en el proceso productivo, por lo que los requerimientos de éstas en el proceso de mecanización se encuentran ligadas al nivel de producción forestal (Kunze, 1988).

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 utilizados en estas actividades son de gran importancia para el aprovechamiento del recurso forestal (Linerós, 1996).

Anaya y Christiansen (1986), indican que en el estudio de operaciones forestales se deben tener presente ciertos aspectos básicos, tales como: definir el objetivo del estudio; limitar el estudio, en base a diámetro a la altura del pecho (DAP), método, especie y otros; elegir el área de estudio, considerando condiciones que sean representativas de la población sobre la cual se generalizarán los

resultados; usar un número suficiente de repeticiones; descripción adecuada del lugar de trabajo; elegir trabajadores con aptitudes físicas y capacitados en los métodos de trabajo; capacitar a los trabajadores en caso de ser necesario; y, clasificar el tiempo de trabajo.

El estudio de rendimientos de equipos 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).

El estudio de tiempos corresponde a una técnica de medición del trabajo para registrar los tiempos y tasas de trabajo de los elementos de un trabajo específico llevado a cabo bajo condiciones determinadas, permitiendo obtener el tiempo necesario para ejecutar un trabajo a un nivel de rendimiento definido. Para el estudio de tiempos de trabajo se utiliza el cronometraje y registro de tiempo de los diferentes elementos que conforman el ciclo de trabajo. Se entiende por *elemento* a una parte distintiva de un trabajo específico; y, por *ciclo de trabajo*, a la secuencia de elementos que se requieren para efectuar una labor determinada (Valdés y Apud, 1988).

Las variables de mayor incidencia sobre los tiempos de trabajo y los rendimientos de algunas actividades forestales, según Apud et al. (1989) son:

- Volteo: DAP, diámetro basal y altura de tocón.

- Desrame: DAP y número de verticilos por árbol.
- Trozado: DAP, número de cortes por árbol, número de carga por unidad de tiempo y número de trozos por carga del equipo de madereo.

Alvarez y Kunz (1988), afirman que para operaciones de volteo y trozado en bosque, durante una cosecha de *Pinus radiata* D. Don, las variables de mayor incidencia sobre el rendimiento son el DAP, pendiente del terreno y número de cortes practicados.

La introducción en el mercado de equipos que cumplen con la función de volteo, desrame y trozado, conocidos como cabezales procesadores, conllevan el estudio de rendimiento y calidad del trabajo de éstos (Linerós, 1996).

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

Según Linerós (1996), existen diversos factores que influyen en el rendimiento y la calidad del trabajo realizado por estos equipos, los cuales son de importancia al realizar una evaluación técnica de ellos. Entre estos

factores se destacan: (1) tamaño de los árboles, (2) bifurcaciones, (3) diámetro de ramas, (4) número de verticilos, (5) habilidad del operador, (6) características técnicas de él y (7) otros.

A continuación, se presenta un estudio que tiene como objetivo comparar el rendimiento y la calidad del procesamiento (trozado y desrame) en cosecha de *Eucalyptus nitens* Maiden de dos cabezales procesadores marca Ponsse en diferentes calidades fustales.



II METODOLOGIA

2.1 Material y equipos.

El material a utilizar en este estudio fue una base de datos proporcionada por Forestal y Agrícola Monte Aguila S.A..

Los accesorios evaluados y comparados son los cabezales Ponsse H60 y Ponsse H53, ambos instalados sobre una harvester Ponsse S15. El cabezal H53 (Figura 1) tiene una longitud de 1275 mm y un ancho de 1150 mm, con un peso de 720 kg. Su sistema de alimentación consta de 3 unidades de rodillos de garras envolventes, con una potencia de alimentación de 18 kW. El equipo de trozado cuenta con una sierra hidráulica de cadena, con un diámetro de corte de 52 cm, requiriendo una potencia de 45 kW. El equipo de desrame está formado por una cuchilla fija y cuatro cuchillas móviles accionadas hidráulicamente, con una apertura máxima de 55 cm (Ponsse, 1997).



Figura 1. Cabezal procesador Ponsse H53.

El cabezal H60 (Figura 2) tiene una longitud de 1420 mm y un ancho de 1100 mm, con un peso de 850-900 kg. Su sistema de alimentación consta de 2 unidades de rodillos basculantes, los que pueden ser de cadena o dentados, con una potencia de alimentación de 24 kN. El equipo de trozado cuenta con una motosierra hidráulica, con un diámetro de corte de 52 o 64 cm, requiriendo una potencia de 45 kW. El equipo de desrame está formado por una cuchilla fija y 2 o 5 cuchillas móviles accionadas por fuerza hidráulica, con una apertura máxima de 60 cm (Ponsse, 1997).



Figura 2. Cabezal procesador Ponsse H60.

2.2 Metodología

Ambos procesadores fueron evaluados en un rodal de ***Eucalyptus nitens*** Maiden, propiedad de Forestal y Agrícola Monte Aguila S.A., ubicado en el Predio Rucámanqui, Octava Región, comuna de Tucapel, provincia del Bio-Bío. Las características principales de dicho rodal son un volumen medio de 252,2 m³ssc/ha y una densidad de 927 árboles/ha. El sistema de aprovechamiento utilizado fue el de madera corta, obteniendo el producto 5,5 m.

Con el objetivo de comparar el rendimiento y la calidad del trozado y desramado de ambos cabezales, se seleccionaron tres calidades de árboles en base a la forma del fuste: (1) árbol recto y normal, (2) árbol curvo y (3) árbol bifurcado antes de 1,3 m de altura. En la Tabla 1, se indica el tamaño de la muestra por cada una de las calidades indicadas. Dicha muestra se estableció por las características homogéneas que presentaba el rodal.

Tabla 1. Tamaño de la muestra por calidad de árbol.

Procesador	Normal	Curvo	Bifurcado	Total
Ponsse H53	20	20	15	55
Ponsse H60	20	20	10	50

Las variables dendrométricas medidas fueron: DAP, altura total y volumen comercial por árbol.

La velocidad de procesamiento de cada cabezal se comparó determinándose una función de rendimiento por procesador y clase de árbol. Para tal objetivo, se consideraron solamente los tiempos variables del trabajo de los equipos, los cuales fueron:

- *Volteo*: tiempo comprendido desde el momento que el cabezal se posesiona en la parte basal del árbol hasta que éste entre en contacto con el suelo;
- *Desrame y trozado*: tiempo que ocupa la máquina desde que inicia el desrame de la primera troza hasta la última, incluyendo el seccionamiento o trozado del árbol.

La expresión de rendimiento utilizada fue la siguiente:

$$R = \frac{(3600 \times V)}{Ftv}$$

Donde: R : Rendimiento del cabezal, m³scc/h
 V : Volumen comercial medio por árbol, m³scc
 Ftv : Función de tiempo variable, s/árbol
 3600 : Factor de conversión de segundo a hora.

El volumen comercial por árbol se determinó mediante la fórmula de Smalian aplicada a las trozas comerciales de cada árbol.

Para determinar la función de tiempo variable se procedió a ajustar diversos modelos, considerando para ello las variables de mayor incidencia en la faena ejecutada según literatura, seleccionando la función de acuerdo al método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios, sujeto a los supuestos del método (Gujarati, 1982). Los modelos a utilizar para este fin son los que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos de ajuste para tiempos variables.

Nº	Modelo
1	TV = f (DAP)
2	TV = f (DAP ²)
3	TV = f (1/DAP)
4	TV = f (Ln DAP)
5	TV = f ((Ln DAP) ²)

En donde TV: Tiempos variables (segundos);
 DAP: diámetro a la altura del pecho (cm);
 Ln : Logaritmo natural.

En base a la dispersión de los datos en un gráfico DAP versus Tiempo Variable, se estableció la presencia de datos atípicos en las distintas muestras, por lo cual se realizó una depuración de éstas con el objetivo de obtener modelos representativos.

Además, se consideró una muestra de treinta (30) trozas de los 2/3 iniciales del fuste y quince (15) trozas del último tercio (parte apical del fuste), debido a la variación tanto en la forma del árbol, como por la cantidad y tamaño de las ramas de esta zona, para poder desarrollar una comparación de calidad en el proceso de desrame de los equipos.

La calidad del procesamiento en volteo y desrame fue evaluado a través de las siguientes variables: (1) longitud real de la troza y (2) tamaño de los muñones residuales del proceso de desrame.

Con estos antecedentes se procedió a evaluar la calidad del desrame para lo cual se categorizó el largo remanente de cada muñón dejado después de realizado el desrame, clasificándolos desde 0 cm hasta mayores a 8 cm. El largo de muñón se midió desde la parte basal paralelo al muñón o trozo de rama dejado, determinando finalmente la incidencia porcentual de cada una de ellas presente después del procesamiento y comparando dichos resultados entre los trabajos realizados por ambos procesadores.

Para el proceso de trozado se compararon las longitudes obtenidas en las trozas muestreadas con la longitud del

producto esperado a obtener, obteniéndose el error de procesamiento de la siguiente forma:

$$E = \frac{[(L-l) \times 100]}{L}$$

En donde E : error de procesamiento (%);
L : longitud del producto esperado, (m);
l : longitud real promedio de las trozas, (m);
100 : factor porcentual.

Además, se utilizaron diagramas de control estadísticos basados en la tendencia central de las longitudes de las trozas y una medida de dispersión de las diferencias de longitud entre trozas expresada a través del rango móvil (RM(2)) (Montgomery, 1991).



III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Rendimiento de los cabezales procesadores.

3.1.1 Cabezal Ponsse H53.

3.1.1.a Arboles normales. El ajuste de modelos de tiempos variables en función del DAP entregó los siguientes estadísticos presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Ajuste de modelos para árboles normales.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV = f (DAP)	0,539	15,69	18,57	16
2.TV = f (DAP ²)	0,530	15,86	17,97	16
3.TV = f (1/DAP)	0,533	15,82	18,13	16
4.TV = f(Ln DAP)	0,540	15,69	18,65	16
5.TV = f((LnDAP) ²)	0,541	15,68	18,67	16

De la Tabla 3 se desprende que todos los modelos ajustados presentaron estadísticos similares, especialmente los modelos número 1, 4 y 5, decidiendo finalmente seleccionar el modelo 2 por poseer menores errores estándar de los estimadores β_0 y β_1 . La función de tiempo variable seleccionada es:

$$TV = 12,2995098 + 0,01973927 * DAP^2$$

3.1.1.b Arboles curvos. El ajuste de modelos de tiempos variables en función del DAP entregó los siguientes estadísticos presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Ajuste de modelos para árboles curvos.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV = f (DAP)	0,629	19,74	26,53	16
2.TV = f (DAP ²)	0,648	19,23	28,69	16
3.TV = f (1/DAP)	0,653	21,77	20,39	16
4.TV = f (Ln DAP)	0,601	20,49	23,61	16
5.TV = f ((Ln DAP) ²)	0,611	20,22	24,61	16

De los modelos ajustados presentados en la Tabla 4, se destaca por sus estadísticos el modelo 2. Por lo tanto, la función de tiempo variables (TV) seleccionada es:

$$TV = 8,15653856 + 0,03248026 * DAP^2$$

3.1.1.c Árboles bifurcados. El ajuste de modelos de tiempos variables en función del DAP entregó los siguientes estadísticos.

Tabla 5. Ajuste de modelos para árboles bifurcados.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV = f (DAP)	0,128	19,56	2,76	13
2.TV = f (DAP ²)	0,124	19,60	2,70	13
3.TV = f (1/DAP)	0,097	19,90	2,29	13
4.TV = f (Ln DAP)	0,119	19,65	2,63	13
5.TV = f ((Ln DAP) ²)	0,124	19,60	2,70	13

De acuerdo a los estadísticos señalados en la Tabla 5, se selecciona el modelo número 2 por poseer éste los mayores valores de los estadísticos asociados a un menor error estándar de los estimadores de los parámetros. Por lo tanto, la función de tiempo variables (TV) seleccionada es:

$$TV = 19,184244 + 0,0116305 * DAP^2$$

3.1.2 Cabezal Ponsse H60.

3.1.2.a Árboles normales. El ajuste de modelos de tiempos variables en función del DAP en los árboles de calidad normal entregó los siguientes estadísticos presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Ajuste de modelos para árboles normales.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV = f (DAP)	0,617	12,48	25,22	15
2.TV = f (DAP ²)	0,629	12,28	26,47	15
3.TV = f (1/DAP)	0,539	13,70	18,56	15
4.TV = f (Ln DAP)	0,586	12,98	22,28	15
5.TV = f ((Ln DAP) ²)	0,598	12,78	23,38	15

De los modelos presentados en la Tabla 6, de acuerdo a sus estadísticos se selecciona el modelo 2. Por lo tanto, la función de tiempo variables (TV) seleccionada es:

$$TV = 16,4457062 + 0,02675833 * DAP^2$$

3.1.2.b Árboles curvos. El ajuste de modelos de tiempos variables en función del DAP entregó los siguientes estadísticos presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Ajuste de modelos para árboles curvos.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV = f (DAP)	0,516	22,03	15,98	15
2.TV = f (DAP ²)	0,534	21,63	17,06	15
3.TV = f (1/DAP)	0,439	23,75	11,95	15
4.TV = f (Ln DAP)	0,484	22,76	14,15	15
5.TV = f ((Ln DAP) ²)	0,496	2249	14,82	15

Entre los modelos presentados en la Tabla 7, de acuerdo a sus estadísticos se selecciona el modelo número 2. Por lo tanto, la función de tiempo variables (TV) seleccionada es:

$$TV = 15,5952931 + 0,02976327 * DAP^2$$

3.1.2.c Árboles bifurcados. El ajuste de modelos de tiempos variables en función del DAP entregó los siguientes estadísticos.

Tabla 8. Ajuste de modelos para árboles bifurcados.

Modelo	R ² Ajustado	EEE (%)	F	n
1.TV = f (DAP)	0,141	25,80	2,48	10
2.TV = f (DAP ²)	0,109	26,29	2,10	10
3.TV = f (1/DAP)	0,214	24,69	3,45	10
4.TV = f (Ln DAP)	0,177	25,26	2,94	10
5.TV = f ((Ln DAP) ²)	0,165	25,45	2,77	10

De acuerdo a los estadísticos presentados en la Tabla 8, se selecciona el modelo número 4, por poseer éste los menores errores estándares de los estimadores β_0 y β_1 asociados a los mayores valores del coeficiente de determinación ajustado y prueba F, junto con un menor error estándar de estimación (EEE). Por lo tanto, la función de tiempo variables (TV) se define como:

$$TV = 32,6673741 + 0,02522599 * DAP^2$$

Al igual que en el caso de los árboles de calidad bifurcados del cabezal H53, el reducido tamaño de la muestra y el comportamiento de los datos generan estadísticos de reducida importancia, como son un bajo

coeficiente de determinación ajustado asociado a un alto error estándar de estimación.

Como se puede apreciar, de todos los modelos ajustados, aquel que presentó los mejores indicadores estadísticos fue el que considera los tiempos variables (TV) en función del DAP al cuadrado, aunque el error estándar de estimación (EEE) para este modelo fluctuó entre 15 % y 19 % en el cabezal H53 y entre 12 % y 26 % para el cabezal H60. Siendo el error estándar de estimación una medida de precisión de los modelos, esto nos indica que los tiempos variables medidos son mejor explicados en el caso de los árboles procesados por el cabezal H53.

3.1.3 Comparación de rendimientos.

3.1.3.a Árboles de calidad normal. Los árboles de calidad normal procesados con los cabezales H53 y H60, tienen un volumen medio de 0,407 m³scc y 0,532 m³scc respectivamente. De esta manera, la función de rendimiento para cada procesador, queda definida como:

$$\text{a. Ponsse H53} \quad R = \frac{(3600 \times 0,407)}{(12,2995098 + 0,01973927 \times DAP^2)}$$

$$\text{b. Ponsse H60} \quad R = \frac{(3600 \times 0,532)}{(16,4457062 + 0,02675833 \times DAP^2)}$$

Dichas funciones de rendimiento generan los resultados presentados en la Tabla 9.

Tabla 9. Rendimiento en árboles de calidad normal.

DAP (cm)	Rendimiento (m ³ scc/h)	
	H53	H60
14	90,6	88,3
16	84,4	82,2
18	78,3	76,2
20	72,5	70,5
22	67,0	65,1
24	61,9	60,1
26	57,1	55,4
28	52,7	51,1
30	48,7	47,2
32	45,0	43,6

En forma práctica, el comportamiento de los rendimientos de ambos cabezales se puede apreciar en la Figura 3.

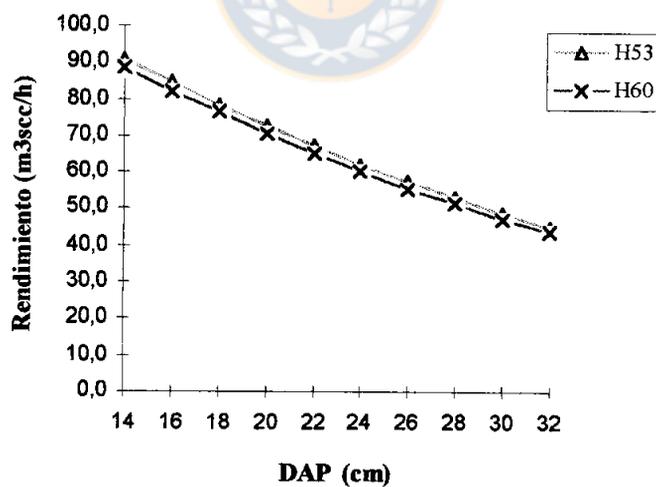


Figura 3. Rendimiento de los cabezales en árboles de calidad normal.

De los antecedentes anteriores se aprecia que el cabezal H53 posee un mayor rendimiento que el cabezal H60 y que dicho comportamiento se mantiene a medida que se aumenta en las clases diamétricas.

La diferencia en el rendimiento de ambos equipos en este tipo de calidad fustal no es de importancia a lo largo de las clases diamétricas estudiadas, puesto que la mayor diferencia se produce en los diámetros inferiores y alcanza a 2,30 m³scc/hora en favor del cabezal H53. Ello nos indica que con árboles de este tipo de calidad predominantes se recomienda ocupar este último procesador.

3.1.3.b Árboles de calidad curvos. Los árboles de calidad curvos procesados con los cabezales H53 y H60, tienen un volumen medio de 0,359 m³scc y 0,401 m³scc respectivamente. De esta manera, la función de rendimiento para cada procesador es expresada de la siguiente forma:

$$\text{a. Ponsse H53} \quad R = \frac{(3600 \times 0,359)}{(8,15653856 + 0,03248026 \times DAP^2)}$$

$$\text{b. Ponsse H60} \quad R = \frac{(3600 \times 0,401)}{(15,595293 + 0,02976327 \times DAP^2)}$$

Dichas funciones de rendimiento generan los siguientes resultados presentados en la Tabla 10.

Tabla 10. Rendimiento en árboles de calidad curvos.

DAP (cm)	Rendimiento (m ³ scc/h)	
	H53	H60
14	89,1	67,3
16	78,6	62,1
18	69,3	57,2
20	61,2	52,4
22	54,2	48,1
24	48,2	44,0
26	43,0	40,4
28	38,5	37,0
30	34,6	34,0
32	31,2	31,3

En forma práctica, el comportamiento de los rendimientos de ambos cabezales se puede apreciar en la siguiente figura:

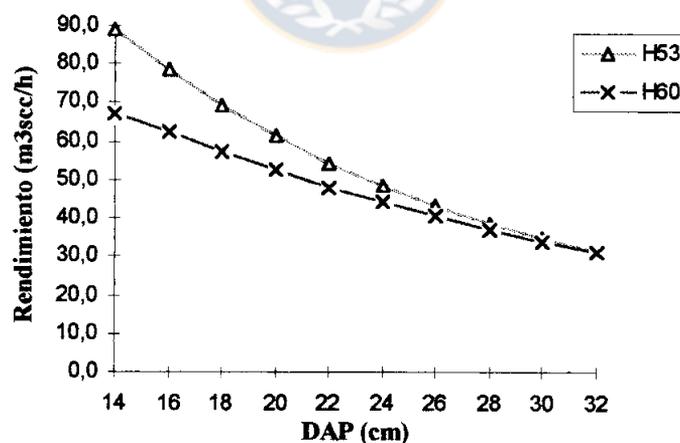


Figura 4. Rendimiento de los cabezales en árboles de calidad curvos.

Como se puede apreciar, ambos cabezales poseen un menor rendimiento en los árboles de este tipo de calidad con

respecto a los árboles de calidad normal. Sin embargo, existe una notable diferencia en el rendimiento al ocupar uno u otro equipo, dependiendo de las clases diamétricas que de este tipo de árbol predominen en un rodal. Mientras en las clases inferiores es notorio el mayor rendimiento del cabezal H53, éste disminuye hasta equipararse en las clases superiores con el rendimiento del procesador H60. En el caso particular de este estudio, por los antecedentes entregados se sabe que el mayor porcentaje de los árboles del rodal estudiado corresponden a calidad del fuste normal, por lo que este tipo de árboles no afecta el rendimiento general de los equipos.

3.1.3.c Árboles de calidad bifurcados. Los árboles de calidad bifurcados procesados con los cabezales H53 y H60, tienen un volumen medio de 0,347 m³scc y 0,407 m³scc respectivamente. Por lo tanto, la función de rendimiento de cada procesador es expresada de la siguiente forma:

$$\text{a. Ponsse H53} \quad R = \frac{(3600 \times 0,347)}{(19,1842440 + 0,0116305 \times DAP^2)}$$

$$\text{b. Ponsse H60} \quad R = \frac{(3600 \times 0,407)}{(32,6673741 + 0,02555899 \times DAP^2)}$$

Dichas funciones de rendimiento generan los resultados presentados en la Tabla 11.

Tabla 11. Rendimiento en árboles de calidad bifurcado.

DAP (cm)	Rendimiento (m ³ scc/h)	
	H53	H60
14	58,2	38,9
16	56,3	37,4
18	54,4	35,8
20	52,4	34,2
22	50,3	32,6
24	48,2	31,0
26	46,1	29,4
28	44,1	27,9
30	42,1	26,4
32	40,1	25,0

En forma práctica, el comportamiento de los rendimientos de ambos cabezales se puede apreciar en la Figura 5.

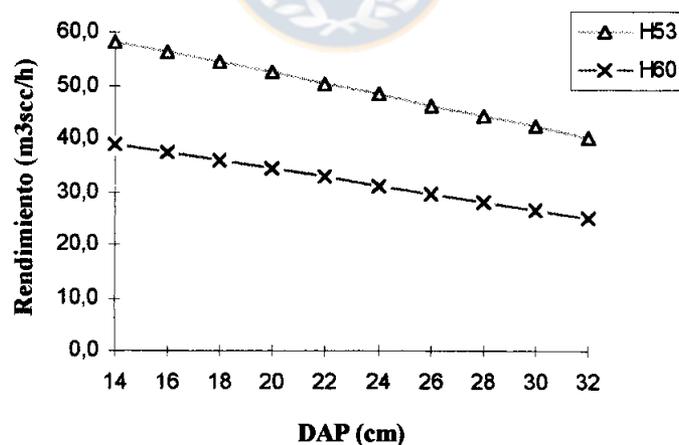


Figura 5. Rendimiento de los cabezales en árboles de calidad bifurcados.

El cabezal H53 expresa claramente un rendimiento superior al rendimiento del cabezal H60 a lo largo de todas las clases diamétricas estudiadas. Es así como este equipo, en los tres tipos de calidad fustal analizadas, ha presentado los mejores rendimientos sobre el procesador H60. Esto se debe a las mejores características técnicas para trabajar con árboles de diámetros pequeños (inferiores a 55 cm) del cabezal H53 que el cabezal H60 (Ponsse, 1997).

Se debe señalar que, considerando la existencia de bajos valores de los estadísticos correspondientes a las funciones de tiempos variables insertas en la función de rendimiento en ambos tipos de cabezales, no se puede asegurar en forma determinante que el comportamiento expresado a través del rendimiento de estos equipos, tal como aquí se presenta, sea su comportamiento en condiciones de terreno. Para la obtención de estadísticos representativos, se debe sugerir un mayor tamaño de muestra, que en este caso se vio disminuida por la baja presencia de estos tipos de árboles en el rodal.

3.2 Estudio de la calidad del procesamiento.

3.2.1 Calidad de desramado. La calidad de desramado, evaluada a través del porcentaje de muñones residuales en las trozas distribuidos en distintas categorías, nos indica la calidad del trabajo realizado por el cabezal durante el procesamiento de éstas.

3.2.1.1 Cabezal H53.

3.2.1.1.a Trozas basales. La distribución de los muñones residuales en las trozas basales en que se realizó el desrame por el cabezal H53 se puede apreciar en la Figura 6.

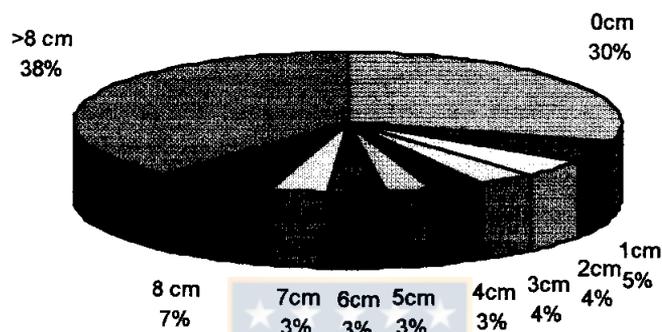


Figura 6. Distribución de muñones residuales del cabezal H53 en trozas basales.

De los resultados presentados en la Figura 6, se aprecia como el 30 % de los muñones residuales no supera 1 cm de longitud, sin embargo la calidad del procesamiento queda sujeta al 38 % que supera los 8 cm de longitud, considerada la categoría máxima.

3.2.1.1.b Trozas apicales. En la muestra de las trozas apicales, la distribución de los muñones residuales del desrame se puede analizar a partir de la Figura 7.

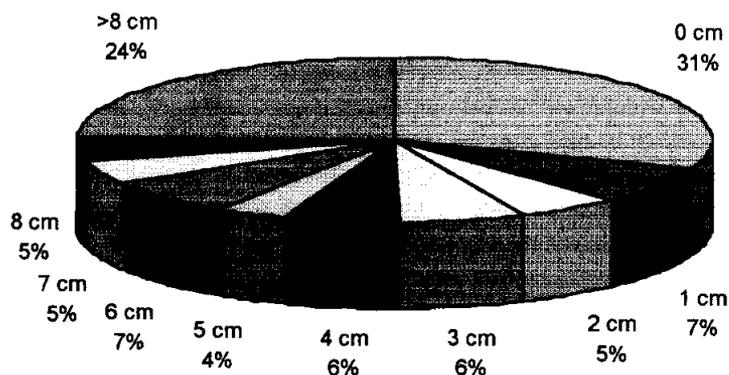


Figura 7. Distribución de muñones residuales del cabezal H53 en trozas apicales.

Como se puede apreciar en la figura, mientras en la categoría de 0 cm el porcentaje de muñones residuales se mantiene cercano al 30 %, el número de muñones en la categoría de mayores a 8 cm disminuye con respecto a las trozas basales de 38 % a 24 %, produciendo una mejora en la calidad del proceso de desrame.

3.2.1.2 Cabezal H60.

3.2.1.2.a Trozas basales. La distribución de los muñones residuales en las trozas basales en que se realizó el desrame por el cabezal H60 se puede apreciar en la Figura 8.

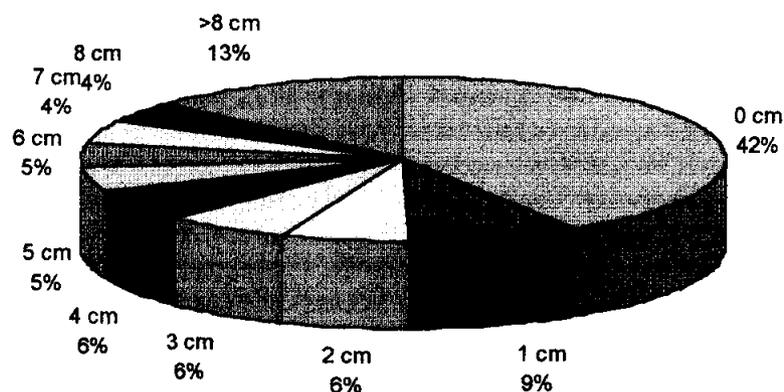


Figura 8. Distribución de muñones residuales del cabezal H60 en trozas basales.

Comparando el proceso de desramado entre ambos cabezales, se distingue una mejor calidad de éste en el cabezal H60 sobre el cabezal H53, ya que más de un 40 % de los muñones tiene menos de 1 cm de longitud en relación con el 30 % de muñones de igual longitud en el segundo cabezal, y, sobre todo, una disminución notoria en el número de muñones de categoría mayor a 8 cm desde 38 % en el cabezal H53 a un 13 % en el cabezal H60.

3.2.1.2.b Trozas apicales. En la muestra de las trozas apicales, la distribución de los muñones residuales del desrame se puede analizar a partir de la Figura 9.

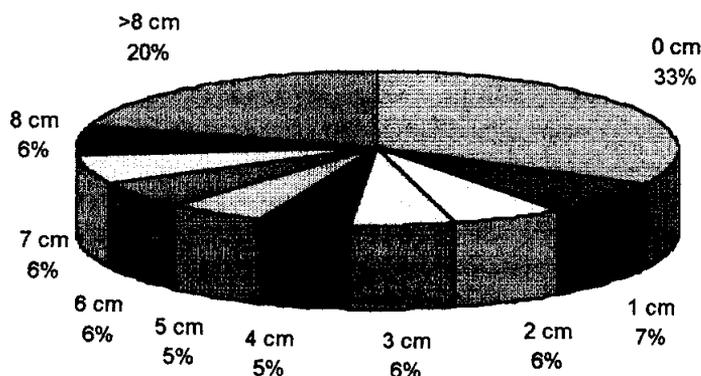


Figura 9. Distribución de muñones residuales del cabezal H60 en trozas apicales.

De la figura se desprende un aumento en el número de muñones de longitud menor a 1 cm desde un 31 % del cabezal H53 a un 33 % en el cabezal H60; mientras que en la categoría de muñones de longitud mayores a 8 cm se registra una disminución de éstos desde un 25 % producidos por el cabezal H53 a un 20 % por el cabezal H60. Al igual que en las trozas basales, el cabezal H60 posee una mejor calidad de desrame, aunque ésta no es tan notoria como en el caso anterior.

Se debe tener presente este antecedente de calidad por la mayor cantidad de trozas de tipo basal presentes en el árbol, las que definirán la calidad del producto obtenido, el cual se debe acercar a los objetivos de calidad que se establezcan.

3.2.2 Calidad de trozado. Un factor de importancia en la evaluación de la calidad del procesamiento de los cabezales es la calidad de trozado, la cual surge de la comparación

entre el tipo de producto obtenido y el tipo de producto esperado en la planificación en relación a la longitud de éste.

3.2.2.1 Cabezal H53.

3.2.2.1.a Trozas basales. La precisión en el trozado de esta zona de los árboles se puede apreciar en la Figura 10.

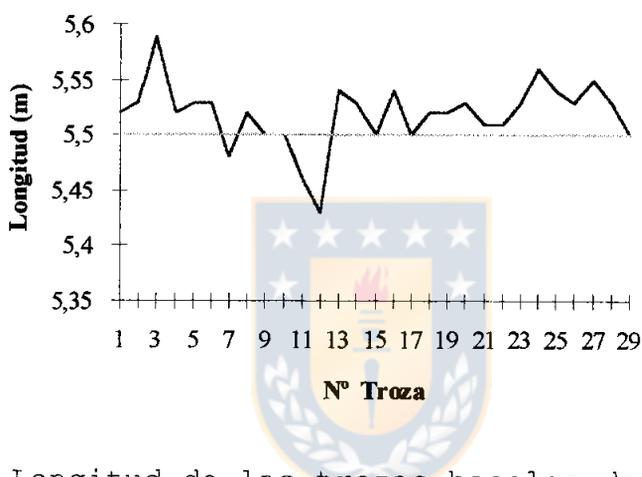


Figura 10. Longitud de las trozas basales del cabezal H53.

La longitud de las muestras fluctúa entre 5,43 m y 5,59 m, concentrándose principalmente en el rango 5,50 m a 5,59 m, siendo su longitud promedio de 5,52 m, lo que se expresa en un error cometido de 0,34 %, obteniendo un rango móvil (RM(2)) de 0,026 m.

Los diagramas de control utilizados se presentan en las siguientes figuras.

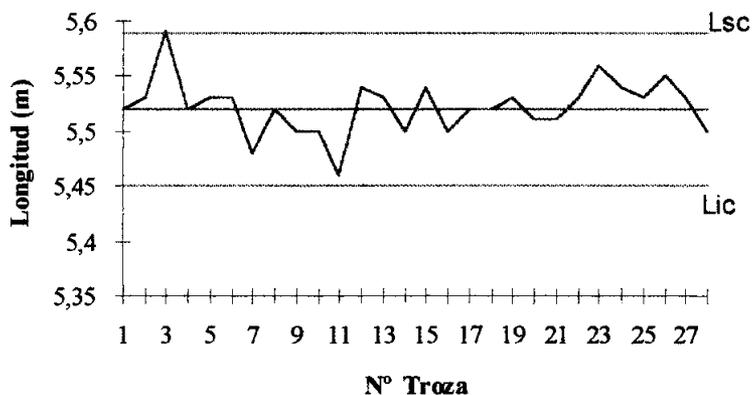


Figura 11. Diagrama de tendencia central en trozas basales procesadas por el cabezal H53.

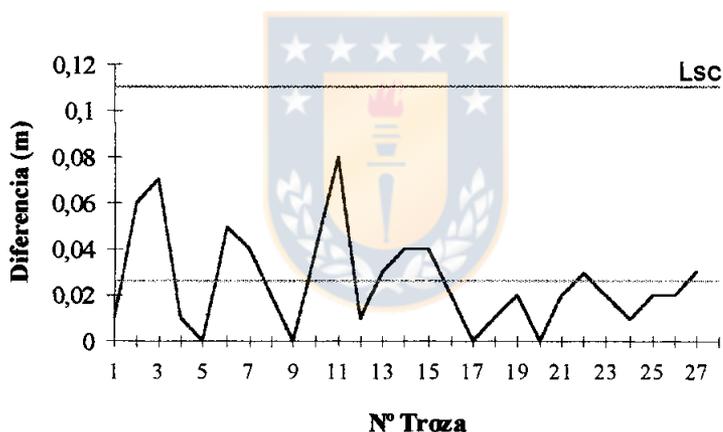


Figura 12. Diagrama de rango móvil en trozas basales procesadas con el cabezal H53.

De estos diagramas se desprende que el proceso de trozado se encontrará bajo control cuando se obtengan trozas cuyas longitudes estén en el intervalo dado por el límite superior de control (Lsc) de 5,59 m y el límite inferior de control (Lic) de 5,45 m. En la muestra analizada, se encontró una troza de menor dimensión que la antes señalada, lo que puede deberse a errores originados por el

operario. Junto con ello, una troza se encuentra en el límite superior, por lo que puede estar a un paso de encontrarse fuera de control.

3.2.2.1.b Trozas apicales. El comportamiento del cabezal procesador en este tipo de trozas se aprecia en la Figura 13.

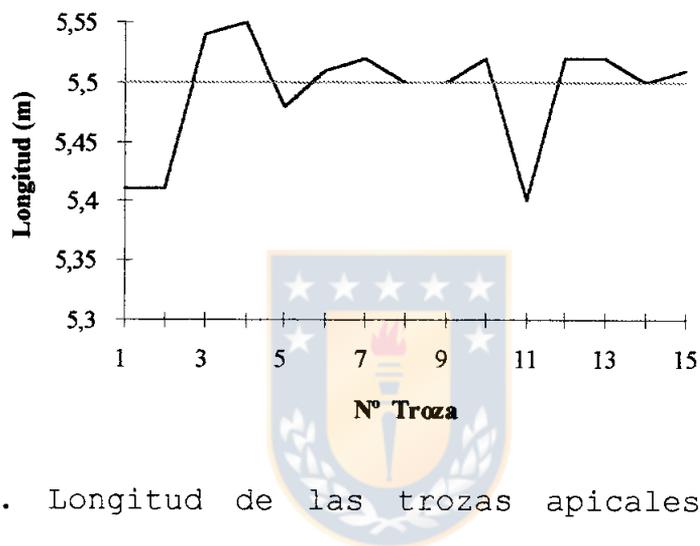


Figura 13. Longitud de las trozas apicales del cabezal H53.

El rango de longitud en que fluctúan estas trozas es desde 5,40 m hasta 5,55 m, concentrándose principalmente en el intervalo 5,48 m a 5,52 m, con una longitud promedio de 5,49 m. Dicha longitud promedio es cercana al tipo de producto esperado por lo que el error cometido es 0,13 %, obteniendo un rango móvil de 0,04 m.

Los diagramas de control empleados se presentan en las Figuras 14 y 15.

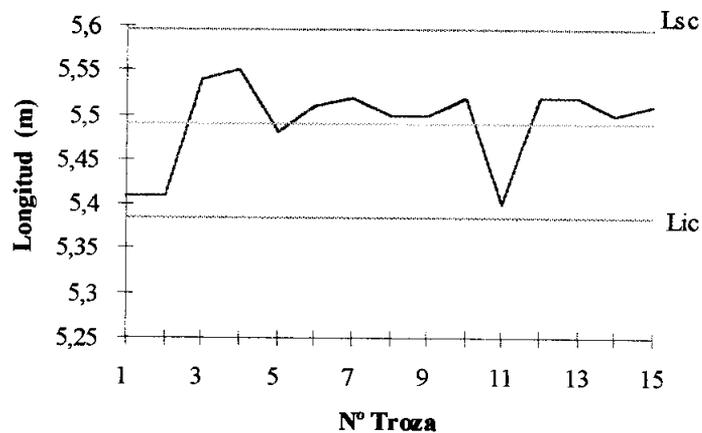


Figura 14. Diagrama de tendencia central en trozas apicales procesadas con el cabezal H53.

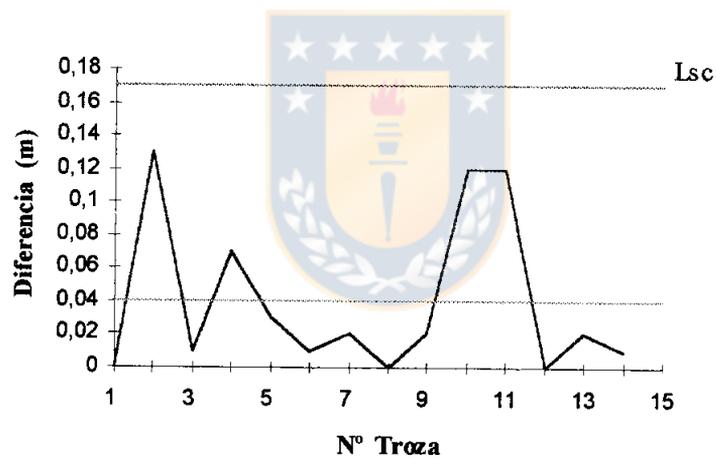


Figura 15. Diagrama de rango móvil en trozas apicales procesadas con el cabezal H53.

De estos diagramas se desprende que el proceso de trozado se encontrará bajo control cuando se obtengan trozas cuyas longitudes estén en el intervalo de Lsc igual a 5,60 m y Lic igual a 5,38 m. De la muestra analizada, todas las trozas se encuentran dentro del intervalo mencionado por lo

que no existe evidencia que el proceso se encuentre fuera de control.

3.2.2.2 Cabezal H60.

3.2.2.2.a Trozas basales. El comportamiento del cabezal procesador en este tipo de trozas se ve reflejado en la Figura 16.

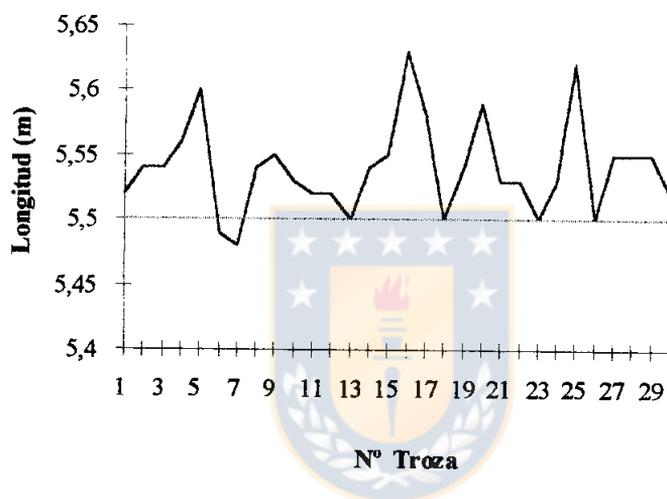


Figura 16. Longitud de las trozas basales del cabezal H60.

La longitud de las trozas fluctúa entre 5,48 m y 5,63 m, con una longitud promedio de 5,54 m. En este caso, prácticamente todas las trozas se sitúan en el intervalo superior a 5,5 m, obteniéndose un error del proceso de 0,72 % y un rango móvil de 0,037 m.

Los diagramas de control se presentan en las Figuras 17 y 18.

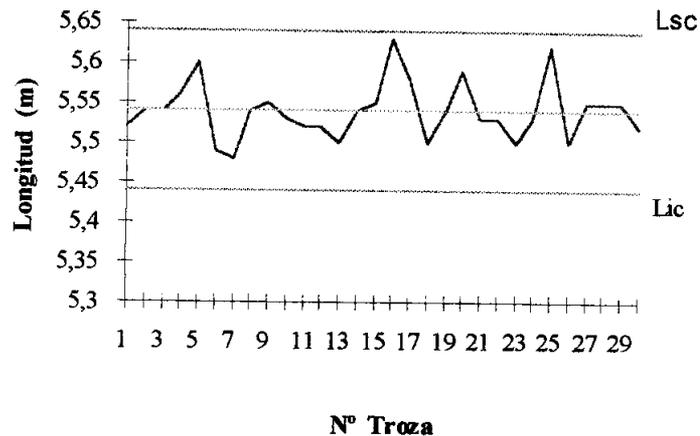


Figura 17. Diagrama de tendencia central en trozas basales procesadas con el cabezal H60.

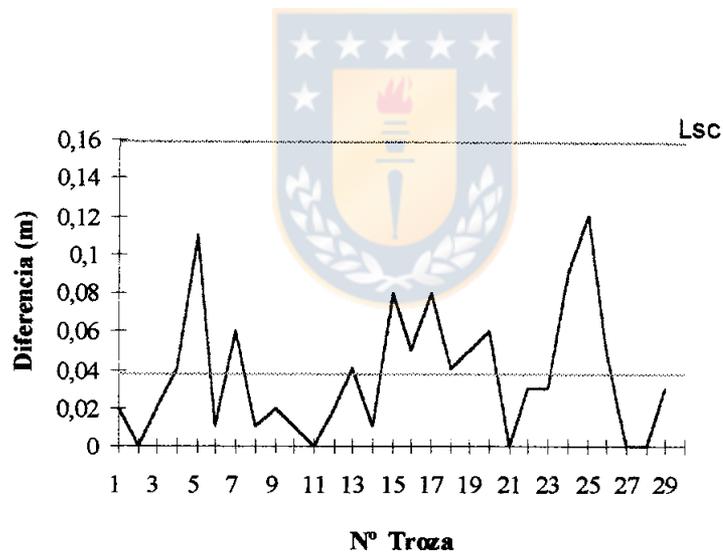


Figura 18. Diagrama de rango móvil en trozas basales procesadas con el cabezal H60.

De estos diagramas se desprende que el proceso de trozado se encontrará bajo control cuando se obtengan trozas cuyas longitudes estén en el intervalo de Lsc igual a 5,64 m y Lic igual a 5,44 m. En el caso de la muestra analizada, ninguna troza se encuentra fuera del intervalo mencionado

por lo que no existe evidencia que el proceso se encuentre fuera de control.

3.2.2.2.b Trozas apicales. El comportamiento del cabezal procesador en este tipo de trozas se ve en la Figura 19.

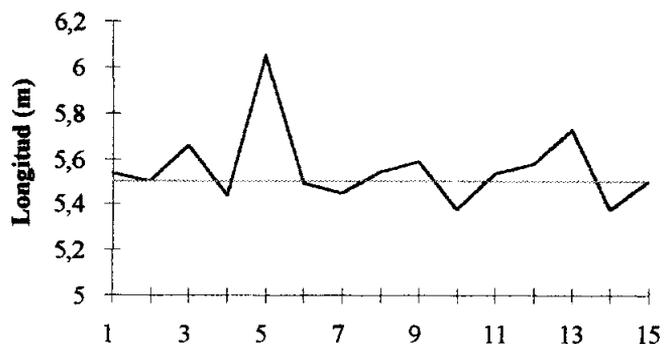


Figura 19. Longitud de las trozas apicales del cabezal H60.

El rango de longitud de la muestra es más amplio que en las anteriores, fluctuando entre 5,38 m y 5,73 m. Nuevamente el promedio de longitud de las trozas es cercano al valor del producto esperado, siendo éste de 5,52 m, lo que conlleva a un error de 0,39 % con un rango móvil de 0,128 m.

Los diagramas de control se presentan en las Figuras 20 y 21.

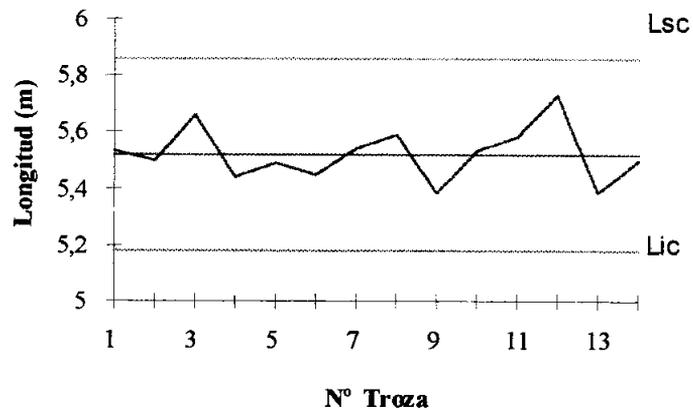


Figura 20. Diagrama de tendencia central en trozas apicales procesadas con el cabezal H60.

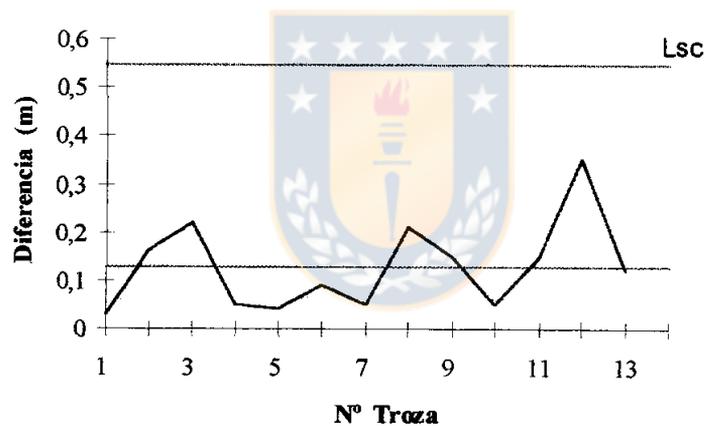


Figura 21. Diagrama de rango móvil en trozas apicales procesadas con el cabezal H60.

De estos diagramas se desprende que el proceso de trozado se encontrará bajo control cuando se obtengan trozas cuyas longitudes estén en el intervalo de Lsc igual a 5,86 m y Lic igual a 5,18 m. Al igual que en el caso anterior, en la muestra analizada, ninguna troza se encuentra fuera del intervalo mencionado por lo que no existe evidencia que el proceso se encuentre fuera de control.

Por los resultados expresados, en que el error de procesamiento en todos los casos es inferior a 1 % y que en tres de los cuatro casos analizados el proceso se encuentra bajo control en forma segura, se desprende que la calidad de trozado es buena. En el caso de las trozas basales procesadas con el cabezal H53, el menor tamaño de una troza puede ser explicado por un error del operador.

Sin embargo, para mantener un nivel de calidad aceptable, es recomendable una mayor preparación del operador, un mantenimiento constante de los equipos, una calibración adecuada del equipo que realiza las mediciones de longitud y diámetro de las trozas junto con una definición según los objetivos del rango de aceptación del producto.



IV CONCLUSIONES

1. El modelo que mejor representa el comportamiento de los tiempos variables (T V) de ambos cabezales, en los tres tipos de calidad fustal, fue:

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

2. En los tres tipos de calidad fustal estudiados, el cabezal H53 obtuvo mayores rendimientos estimados que el cabezal H60.
3. La mayor cantidad de muñones residuales, tanto en trozas basales como apicales procesadas por ambos cabezales, se concentran en las categorías extremas de 0 cm y 8 cm .
4. El cabezal H60 presenta una mejor calidad de desrame, expresada en la mayor cantidad de muñones residuales concentrados en las categorías inferiores.
5. Los errores del proceso de trozado, tanto para trozas basales y apicales, fluctúan entre 0,13 % y 0,72 %; siendo menores, en ambos casos, en el cabezal H53 que en el cabezal H60.
6. El cabezal H53 es el que presenta una mejor calidad de trozado, expresada en menores límites de control tanto en trozas basales como en trozas apicales, los que fluctúan entre 5,38 m y 5,60 m.

V RESUMEN

En una operación de cosecha de un rodal de *Eucalyptus nitens* Maiden ubicado en la Octava Región, con un volumen medio de 252,2 m³ssc, perteneciente a Forestal y Agrícola Monte Aguila S. A., se realizó una comparación de rendimiento y calidad de procesamiento de dos cabezales procesadores, Ponse H53 y H60, con árboles de diferente calidad fustal. Para ello, se midió el tiempo de procesamiento (tiempos variables) de cada cabezal procesador, junto con DAP, número y tamaño de muñones residuales, diámetro y longitud de trozas en cada calidad de fuste.

Se concluyó que en todas las calidades de fuste, el cabezal H53 alcanzó un rendimiento superior al cabezal H60, reflejado en un rendimiento 2,9 % mayor en el diámetro medio de los árboles de calidad normal. Respecto de la calidad del desrame, se consideró que el cabezal H60 es el de mejor calidad, concentrando los muñones residuales en las categorías de menor tamaño. Mientras, en la calidad de trozado, el cabezal H53 presentó los menores valores de error de procesamiento y de tamaño del intervalo de los límites de control.

VI SUMMARY

In a harvesting operation of a stand of *Eucalyptus nitens* Maiden located in the VIII^a Region, with a volume average of 252,2 m³ssc, belonging to Forest y Agrícola Monte Aguila S. A., it was accomplished a yield comparison and quality of processing of two head process, Ponse H53 and H60, with trees of different quality stem. For this, it was measured the processing time (variable times) of each head process, together with DBH, number and residual stumps size, diameter and length of logs in each quality of stem.

It was concluded that in all the qualities stem, the head H53 reached a yield superior head process H60, reflected in a yield 2,9 % greater in the diameter average of the trees of normal quality. Respect to the quality of debranching, the head process H60 is the better one, concentrating the residual stumps in the smaller size categories. While, in the quality of slash, the head process H53 present the smaller values of processing mistake and of size of the interval of the limits of control.

VII BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, S. y M. Kunz. 1988. Modelo predictor de rendimientos y costos de explotación. Tema 5. En: Fundación Chile (Ed.). Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Actas I Taller Producción Forestal, Noviembre 24 y 25, 1988. Concepción, Chile.
- Anaya, H. y P. Christiansen. 1986. Aprovechamiento Forestal, análisis de apeo y transporte. IICA. San José, Costa Rica.
- Apud, E., M. Cofré, N. Vargas y R. Burgos. 1989. Aspectos productivos y ergonómicos en una faena de tala rasa mecanizada de invierno. Tema 13. En: Fundación Chile (Ed.). Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Actas y Taller Producción Forestal, Noviembre 24 y 25, 1988. Concepción, Chile.
- 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.
- González, M. 1979. Alcances sobre la mecanización de faenas de explotación forestal. Chile Forestal N° 50. Santiago, Chile.
- Gujarati, D. 1982. Econometría básica. McGraw-Hill. Bogotá, Colombia.
- Hermosilla, R. 1991. Aumento de la productividad en cosecha forestal. Tema 2. En: Fundación Chile (Ed.). Actas III Taller Producción Forestal, Noviembre 27, 28 y 29, 1991. Concepción, Chile.
- Hermosilla, R. 1993. Experiencia de CMPC en mecanización de cosecha. Tema 3. En: Fundación Chile (Ed.). Actas IV Taller Producción Forestal, Noviembre 25 y 26, 1993. Concepción, Chile.
- Kunze, A. 1988. Desarrollo de la industria de bienes de capital para el sector forestal en Chile. Tema 4. En: Fundación Chile(Ed.). Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Actas I Taller Producción Forestal, Noviembre 24 y 25, 1988. Concepción, Chile.
- Linerós, 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.
- Montgomery, D. 1991. Control estadístico de la calidad. Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- Overgaard, J. 1975. El transporte sobre rutas, costos de explotación y tendencias de las operaciones de apeo. En: FAO (Ed.). El transporte de la madera en países de América Latina. Seminario FAO/SIDA, Febrero 23 - Marzo 21, 1975. Oaxtepec, México.
- Ponsse. 1997. Catálogo cabezales Ponsse H53, H60 y H70. Panamericana Norte 18900. Santiago, Chile.
- Silva, J. y W. Cabezas. 1991. Mecanización en una faena de cosecha forestal. Tema 16. En: Fundación Chile (Ed.). Actas III Taller Producción Forestal, Noviembre 27, 28 y 29, 1991. Concepción, Chile.
- Valdés, S. y E. Apud. 1988. Orientación para el mejoramiento de las condiciones de trabajo de los trabajadores forestales. Tema 13. En: Fundación Chile (Ed.). Explotación, transporte, caminos y recurso humano. Actas I Taller Producción Forestal, Noviembre 24 y 25, 1988. Concepción, Chile.

8.1 Determinación de límites de control de calidad.

La determinación de los límites de control de calidad en trozado se realizó a través de la metodología señalada por Montgomery (1991) para una muestra. En ella, se calcula el promedio de las trozas pertenecientes a la muestra (δ). Luego, se calcula el valor del rango móvil (RM(2)), que es el promedio del valor absoluto de las diferencias de longitud entre dos trozas consecutivas, de ahí que se le designe como RM(2). Con estos valores se determina el límite superior de control (Lsc) y el límite inferior de control (Lic) para el diagrama de tendencia central a través de la siguiente fórmula:

$$Lsc = \delta + 3 * RM(2) / d_2$$

$$Lic = \delta - 3 * RM(2) / d_2$$

El valor d_2 es un factor para línea central, obteniéndose de la Tabla 1 A, que corresponde a factores para construir diagramas de control de variables. El número de observaciones en la muestra (n) es de 2, por su facilidad para trabajar.

Así, los límites de control estarán dados por:

$$Lc = \delta \pm 3 * RM(2) / 1,128$$

Para el diagrama de rango móvil se determina el Lsc con la siguiente fórmula:

$$Lsc = RM(2) + D_4 * RM(2)$$

El valor D_4 es entregado por la Tabla 1 A.

Tabla 1 A. Factores para construir diagramas de control de variables.

Observaciones en la muestra, n	Diagrama para amplitudes						
	Factores para línea central		Factores para límites de control				
	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,574
4	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,114
6	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777

Ambos gráficos se relacionan para asegurar que los procesos se encuentren bajo control.