

Consideraciones metodológicas para la evaluación de la cortadora-procesadora (harvester) en operaciones forestales

Methodological considerations to productivity valuation of harvesters in forest operations

MIGUEL PARRA O.¹, PATRICIO CAREY B.²

¹ Escuela de Ciencias Forestales, Universidad Católica del Maule, Casilla 617, Talca, Chile.

E-mail: mparra@hualo.ucm.cl

² Instituto de Manejo Forestal, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

This technical note describes the harvesting machine, "harvester", in forest operations, and includes a general method for machine evaluation and production studies of this equipment in forest plantations. In addition, procedures to obtain the information, determine the stages of a work cycle, and identify incident variables in the equipment efficiency are suggested.

Key words: Harvester, cycle, variables, productivity, evaluation.

RESUMEN

La presente nota técnica contempla la descripción de las características principales de la máquina harvester o cortadora-procesadora y un planteamiento metodológico para la evaluación de su productividad en faenas de cosecha forestal en plantaciones forestales. Además, se sugieren procedimientos de captura de información, determinación de elementos del ciclo de trabajo e identificación de las variables determinantes en los rendimientos del equipo.

Palabras claves: harvester, ciclo, variables, productividad, evaluación.

INTRODUCCION

A inicios de la década del '90, se incorpora la máquina cortadora-procesadora denominada harvester a las faenas de cosecha forestal en Chile y pasa a constituirse en uno de los equipos de mayor tecnología empleados en este tipo de faenas. Su alta sofisticación técnica viene dada, principalmente, por su capacidad de voltear, desramar y trozar el árbol (Eeronheimo y Mäkinen 1995).

La incorporación de este equipo surge por la necesidad de aumentar los estándares de producción debido a los mayores requerimientos de madera rolliza. Esto por las presiones generadas por el auge y desarrollo del sector forestal en todos

sus ámbitos al inicio de la década indicada, especialmente por los procesos vinculados a los bosques de plantaciones de pino insigne (Eeronheimo y Mäkinen 1995, Parra 1995, Parra 1997, Torres 1991).

Este equipo, dadas sus características tecnológicas, representa una alta inversión y por ello es indispensable maximizar y mejorar su productividad, en comparación a aquellos equipos tradicionales o de menor tecnología. En este contexto, resulta importante considerar los elementos necesarios y útiles para realizar una apropiada evaluación de la maquinaria, cuyos antecedentes constituyan una base para la toma de decisiones en la asignación de equipos y procedimientos de trabajo en la planificación de la cosecha forestal.

De acuerdo a lo anterior, este trabajo contempla una base metodológica de evaluación, considerando estudios ya realizados y cuyos objetivos han sido la determinación de la productividad y la identificación de los factores que influyen en ésta.

PERFIL TECNICO DEL HARVESTER

Características principales. El harvester es una máquina que, funcionalmente, se caracteriza por su capacidad de voltear, desramar y trozar el árbol. Este equipo está constituido, estructuralmente, de dos unidades de chasis que se unen por un sistema de articulación central, lo que le permite una gran maniobrabilidad (mínimo radio de giro) en espacio reducido y accidentado. Además, está construido e implementado de tal manera de dar la máxima estabilidad durante la operación (nivelación automática, por ejemplo) y el mejor confort al operador (cabina ergonómica), respectivamente (KWF y AFZ Der Wald 1996, Vignote *et al.* 1993).

Para sus funciones básicas posee un brazo rotatorio extensible articulado que, según el modelo y posición de trabajo, puede tener un radio de acción de alrededor de 10 m. Este se encuentra en la parte posterior del equipo y en su extremo tiene una unidad o cabezal de procesado, capaz de efectuar las funciones antes indicadas en árboles de hasta 65 cm de diámetro (fotos 1 y 2).

El cabezal (foto 3) es una estructura de acero implementada principalmente con diferentes elementos que permiten sujetar, cortar, facilitar el avance y medir (por sensores) el fuste en proceso, permitiendo esto último cuantificar la producción por operación de un microcomputador ubicado en la cabina (Eeronheim y Mäkmen 1995, Encke 1997, Gabriel 1997, Mitchell 1998, Vignote *et al.* 1993, Wagelaar 1997).

El harvester, según modelo, puede presentar un sistema de rodado de cuatro a ocho ruedas neumáticas o bien un sistema de orugas. En ambos casos, el diseño considera el concepto de alta flotación para aminorar el efecto al suelo (Eeronheim y Mäkinen 1995, Parra 1997).

Procedimientos de trabajo. Como procedimiento básico y convencional, el harvester fue diseñado



Foto 1. Harvester en faena de volteo.
Harvester felling trees



Foto 2. Harvester en faena de procesado.
Harvester in process operation



Foto 3. Cabezal de procesado de un harvester tipo.
Harvester head processor type

do para convertir el árbol a trozos de hasta ocho metros de longitud, para luego ser asistido por un tractor autocargable (forwarder) y realizar el desembosque de la madera (figura 1). Dicho proceso lo puede ejecutar movilizándose de árbol a árbol o bien desde una vía de saca preestablecida

(Eeronheimo y Mäkinen 1995, Behrndt 1990, KWF y AFZ Der Wald 1996).

En las figuras 1 a la 4 se presentan las modalidades de trabajo que se practican con este equipo, siendo los sistemas harvester-forwarder y procesador-cancha los más habituales en Chile. Las otras combinaciones (figuras 2 y 3) son comunes en las prácticas de cosecha realizadas en Europa, donde un aspecto importante en este tipo de faenas es transitar siempre las mismas vías de saca (Behrndt 1990, Behrndt 1992, Boswell 1998, Eeronheimo y Mäkinen 1995, KWF y AFZ Der Wald 1996, Meek 1993).

Estándares de producción. Cabe destacar que los rendimientos sólo representan una referencia del potencial productivo del harvester, ya que los antecedentes existentes se originan desde una variada gama de modelos y situaciones con sus respectivas condiciones de trabajo (topografía, bosque, capacitación, entre otros). Además, aquí se presentan principalmente los resultados de sólo algunos estudios que existen, especialmente en aquellos países de mayor experiencia en el uso de esta tecnología. En el cuadro 1 se presentan, en forma sintetizada, los resultados obtenidos en diferentes estudios de producción realizados.

Relaciones funcionales. En general, se puede indicar que en la mayoría de los casos el tamaño volumétrico del árbol explica significativamente

la productividad del harvester. Así lo demuestran diversos estudios donde, además, se incluyen en el análisis variables como: DAP (diámetro altura del pecho) y altura del árbol, características del fuste (forma, número y tamaño ramas), densidad de árboles por superficie o espaciamiento, experiencia del operador, razón entre fustes no comerciales y comerciales, condición topográfica, entre otras (Boswell 1998, Eeronheimo y Mäkinen 1995, Hunt 1995, Meek 1993, Richardson 1989).

Los modelos para predecir la productividad pasan de los simples lineales a logarítmicos. Cabe destacar que, en la mayoría de los casos consultados, no se encuentran detalles estadísticos de los modelos probados u obtenidos. Los cuadros 2 y 3 muestran la tendencia de la productividad de acuerdo a tamaño volumétrico del árbol y DAP-tamaño volumétrico, respectivamente (Plamondon 1998, Richardson y Makkonen 1994).

Aspectos limitantes en la operacionalidad del harvester. Si bien es cierto que el harvester presenta una serie de ventajas respecto de otros sistemas de conversión, también es posible encontrar algunas limitaciones. A pesar de que algunos autores lo ven más tolerante a las mayores pendientes, su potencial productivo se ve disminuido, como ocurre en la mayoría de los equipos terrestres, sobre todo cuando se trabaja en situaciones donde la pendiente del terreno supera un 30% de inclinación (Eeronheimo y Mäkinen 1995, Meek 1993, Richardson y Makkonen 1994).

Lugar de Trabajo / Actividad	Rodal	Vía de saca	Camino o cancha
Volteo Proceso			
Madereo			

Figura 1. Sistema harvester y forwarder.

Harvester and forwarder system.

Lugar de Trabajo / Actividad	Rodal	Vía de saca	Camino o cancha
Volteo Proceso			
Madereo			
Después de 2 a 4 años			
Volteo Estrobado Premadereo			
Proceso			
Madereo			

Figura 2. Harvester en sistema con premadereo con animales (adaptado de KWF y AFZ Der Wald, 1996).

Harvester in prelogging system with animals.

Lugar de Trabajo / Actividad	Rodal	Vía de saca	Camino o cancha
Volteo Proceso			
Madereo			
Después de 2 a 4 años			
Volteo Estrobado Premadereo			
Proceso			
Madereo			

Figura 3. Harvester en sistema con premadereo con tractor y huiñche (adaptado de KWF y AFZ Der Wald, 1996).

Harvester in prelogging system with cable tractor

Lugar de Trabajo Actividad	Rodal	Vía de saca	Camino o cancha
Volteo Madereo			
Proceso			

Figura 4. Harvester como procesador en cancha.
Harvester as land processor.

CUADRO 1

Productividad de equipos harvester bajo diferentes condiciones.
Productivity of harvester equipment in different conditions.

Equipo	Faena	Pendiente (%)	Vol/árbol (m ³)	DAP medio (cm)	Productividad (m ³ /hora)	Fuente
Ponse Ergo HS15 Timberjack 608/762B Timberjack 608/762B Ponse Ergo HS15	Cosecha final <i>Eucalyptus sp.</i> Raleo comercial pino radiata Cosecha final pino radiata Cosecha final pino radiata sin manejo	20-35	0,51	5-53	24,10 13,00 24,90 24,60	Eeronheimo y Mäkinen 1995 (Chile)
Valmet 901C	Raleo pino blanco s/m	0-5	-	14,10	7,49	Mitchell 1998 (Canadá)
Timberjack 1270 Timberjack 1270 Rottne EGS85 Rottne EGS85	Raleo pino negro Raleo pino negro Raleo pino negro Raleo pino negro	0-19 0-19 0-19 0-19	-	23,60 17,50 23,60 17,50	37,20 15,90 24,00 6,50	Sambo 1998 (Canadá)
Timberjack 1270	Precosecha pino	0-30	0,47	27,00	15,00	Mitchell 1995 (Canadá)
Norcar 490	Raleo pino oregón s/m	0-15	-	29,00	6,00-14,00	Hunt 1995 (Canadá)
Valmet 500T	Pino oregón	10-25	0,37	24,00	26,90	Boswell 1998 (Canadá)
Timberjack 1270	Raleo fichte (<i>Picea abies</i>)	Plano	0,12	15,00	6,50	KWF y AFZ Der Wald 1996 (Alemania)
Timberjack 1270 Timberjack 1270	2º Raleo pino Cosecha final pino	-	0,20 1,16	-	21,2 53,20	Malinovski 1997 (Brasil)

CUADRO 2

Productividad en volteo y proceso de un Harvester Timberjack 608/7629 según tamaño del árbol.

Harvester productivity operations according to volume tree size.

Faena	Raleo pino insigne				Cosecha pino insigne		
Tamaño del árbol m ³	0,15	0,20	0,25	0,30	0,60	0,80	1,00
Productividad m ³ /hora	14	16	18	20	26	28	30

Fuente: Adaptado de Eeronheimo y Mäkinen (1995).

CUADRO 3

Productividad en volteo y proceso de un Harvester Timberjack 1270 según DAP y tamaño del árbol.

Harvester productivity operations according to DAP and tree size.

Faena	Raleo <i>Picea abies</i>					
Diámetro DAP cm	13	14	15	16	17	18
Tamaño del árbol m ³	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20
Productividad m ³ /hora	4,9	6,0	6,5	7,8	8,1	9,2
Número de árboles/hora	61	60	55	54	50	46

Fuente: Adaptado de KWF y AFZ Der Wald (1996).

También se pueden mencionar como limitantes los requerimientos de inversión y el alto nivel de capacitación del operador, siendo esta última en términos de mantención y operación. Desde el punto de vista de costos y considerando esta alta inversión, el harvester es altamente sensible al tamaño de los árboles, lo que se convierte en un factor de gran importancia al momento de decidir en la asignación de equipos. Además, sobre diámetros DAP que superan los 45 cm la productividad empieza a disminuir sobre todo si los árboles presentan ramas que superan los 5 cm de diámetro (Boswell 1998, Eeronheimo y Mäkinen 1995, Favreau y Gingras 1998, Plamondon 1998, Richardson y Makkonen 1994).

CONSIDERACIONES METODOLOGICAS

Area de estudio. Una adecuada y completa descripción del área de estudio lleva, por un lado, a generar una buena referencia para estudios posteriores y, por otro, fundamentalmente a facilitar la identificación de factores que afectan la productividad del equipo o sistema de trabajo. En general, esta información base está asociada al manejo del bosque o bien se completa al momento de la asignación de equipos, ya sea con cartografía convencional o con un sistema de información geográfica (SIG).

El SIG es una herramienta que facilita el conocimiento de las condiciones del área, permitiendo

manejar la información por coberturas y de cualquier punto de la situación en estudio. Por ejemplo, coberturas por clase de edad (rodales), clase de pendiente terreno, tipo y estado del suelo (granulometría, profundidad), trazado y ubicación de vías de saca, entre otras. Esto permite asociar el movimiento y productividad de un equipo a las condiciones o factores que lo afectan, los cuales se incorporan al análisis como variables explicatorias.

Ciclo de trabajo. La evaluación de un sistema de cosecha o un equipo en particular requiere, necesariamente, de una determinación clara y precisa del proceso mediante el cual se alcanza un objetivo. Es decir, en este caso, las acciones que ejecuta el harvester para convertir el árbol a materia prima utilizable o bien las acciones que constituyen su ciclo de trabajo.

Descomponer el ciclo de trabajo en sus respectivas acciones, llamadas elementos o momentos, lleva a poder realizar un análisis completo del proceso y, más aún, detectar aquellos elementos críticos del ciclo que consumen proporcionalmente mayor cantidad de tiempo y que son motivo de un menor rendimiento. Entonces, esta desagregación permite tomar medidas correctivas que lleven a maximizar el potencial del equipo, pudiendo ser éstas, en términos de capacitación, mantención

de equipos, organización y método de trabajo, entre otras.

Para el caso del harvester se ha identificado un ciclo de trabajo tipo y que, de acuerdo al estudio que se trate, puede presentar distintas combinaciones. Según esto y considerando un trabajo en bosque por parte del equipo, se plantea un ciclo para su evaluación y que se presenta en el cuadro 4 (Boswell 1998, Hunt 1995, Plamondon 1998, Richardson 1989).

Control de tiempos en el proceso de trabajo. De los métodos de control de tiempos existentes, tales como: vuelta a cero (control por momento), multimomento (frecuencia de cada momento en un período de tiempo determinado) y cronometraje continuo (control continuo en un período de tiempo), resulta más conveniente el uso de este último, principalmente porque es un método que permite reconstruir el ciclo de trabajo y, por consiguiente, detectar posibles errores de lectura. Cabe indicar que este método es ventajoso, pero se debe ser muy riguroso al controlar un equipo, cuyo ciclo de trabajo se caracteriza por presentar algunos elementos o momentos de corta duración, como ocurre en el caso del harvester: volteo y proceso de la primera troza (Parra 1992, Villagómez y García 1986).

CUADRO 4

Elementos y descripción del ciclo de trabajo para el harvester.

Elements and description of harvester work cycle.

Elementos del ciclo	Descripción
Movimiento prevolteo	Acomodación y posición del cabezal al pie del árbol
Volteo	Corte del árbol y posición de éste semisuspendido y horizontal para inicio del proceso
Proceso primer trozo	Desrame y trozado primer trozo del árbol
Proceso resto del árbol	Desrame y trozado del árbol restante
Clasificación producto	Ordenamiento ruma o pila de trozos por producto
Calibración	Regula y comprueba diámetros y largos requeridos en el proceso
Desplazamiento	Movimiento hacia el siguiente árbol
Limpia	Corte árboles no comerciales o arbustos mayores
Demoras operacionales	Interrupciones circunstanciales del ciclo
Demoras no operacionales	Interrupciones mayores a 10 minutos que no tienen relación con el ciclo directamente

Además de controlar el tiempo que ocupa cada ciclo y cada elemento de éste, es importante registrar inicios y términos de jornada de trabajo, u otra unidad referente, de manera de obtener los porcentajes o índices de utilización y de disponibilidad. El primero indica el tiempo efectivo de trabajo y el segundo la proporción de tiempo de disponibilidad mecánica de la máquina, ambos respecto de un horizonte de referencia que se fije y que aquí corresponde a la jornada de ocho horas de trabajo.

Tamaño maestral del control de tiempos. En general, las plantaciones forestales son más bien regulares respecto de las características de los árboles y su distribución. A pesar de esto, es recomendable proceder de manera de evaluar con una muestra estadísticamente válida. Aunque algunos estudios no dan detalles de la estimación del tamaño muestral, es posible encontrar desde algunas decenas hasta sobre un par de miles de ciclos controlados, cuya significativa diferencia se podría explicar por el tipo de bosque en que se basaron los trabajos (Boswell 1998, Eeronheimo y Mäkinen 1995, Richardson 1989).

Para una muestra válida, es recomendable un muestreo con un error de hasta un 10% y un nivel de confianza de un 95%, para lo cual se pueden emplear las siguientes fórmulas (Mendenhall y Reinmunth 1981):

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

donde:

n = tamaño muestra, t = distribución, t Student, s = desviación estándar, x = media; E - error, estándar, N = muestra observada.

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

Variables que influyen o determinan la productividad del harvester: a) Espaciamento o densi-

dad: distancia recorrida de un árbol a otro; b) Pendiente: longitudinal y lateral, afectan todo el tiempo; c) DAP, altura y volumen árbol: afectan todo el tiempo; d) Experiencia operador: afecta todo el tiempo; e) Diámetro ramas: afecta desrame y trozado; f) Transitabilidad: afecta desplazamiento del equipo y acomodo del árbol para su proceso. Esta puede estar dada por un porcentaje de cobertura y tamaño (0-25, 26-50, etc.).

Para obtener un valor cuantitativo de cada variable es conveniente medir esta información en forma previa a la ejecución del trabajo de la máquina. Para esto se sugiere registrar en el bosque los datos de un árbol a otro, de acuerdo al número de muestras necesarias según el muestreo. Por ejemplo, medición características dasométricas y numeración del árbol N° 1, igual caso árbol N° 2. Además, entre 1 y 2 registrar pendiente y espaciamiento. Y así sucesivamente hasta completar la muestra.

Esta información lleva y forma parte de un formulario que tiene los espacios para registrar los diámetros de las trozas y ramas, largo y número de trozas, largo y diámetro despunte. Además, los espacios debidamente identificados para anotar el tiempo de cada elemento del ciclo, representado en este caso por cada árbol.

Para esta dinámica de registro se necesita de la participación de por lo menos dos personas: una para controlar los tiempos e identificar cada árbol con su número (sección transversal del trozo) y, la otra, para medición de los trozos, cuya información servirá para obtener el volumen real procesado de acuerdo a fórmulas volumétricas convencionales (Por ejemplo: Smalian y JAS).

Por último, se debe señalar la importancia de esta etapa, ya que a partir de variables bien medidas se podrá hacer una buena cuantificación del rendimiento o productividad del equipo.

Análisis de productividad. Este se puede diferenciar en dos partes principales. La primera puede contener toda la estadística descriptiva de las variables tanto de tiempo como de influencia (media, frecuencia, desviación estándar, entre otras) y así obtener una referencia básica de la producción del equipo respecto de una hora o jornada de trabajo. Esta permite analizar el ciclo de trabajo en términos de: proporción de tiempos por cada momento, concentración del mayor tiempo, tiempo efectivo de trabajo, proporción de tiempos en demoras, tiempo improductivo, índice de utilización y disponibilidad, entre otros.

Por ejemplo, Eeronheimo y Mäkinen (1995) desagregan y analizan el ciclo en: preparación (1%), limpias (5%), desplazamiento (8%), demoras (19%) y manipulación de la madera (67%). Estas cifras indicarían que las demoras y limpias requieren atención de manera de establecer una explicación técnica, ya que en conjunto consumen un 24% del tiempo productivo.

La segunda, referida al modelamiento matemático de la producción del proceso, consistente en determinar el comportamiento funcional entre las variables de tiempo (dependientes), incidencia y productividad (independientes o explicatorias). Para ello se pueden desarrollar modelos predictorios, con o sin transformación de variables, como los que se indican a continuación (Andersson y Young 1998, Parra 1992):

- Lineal: $y = a + bx$ (3);
- Logarítmico: $y = a \times x^b$ (4);
- Exponencial: $y = \exp(a + bx)$ (5);
- Recíproco: $\frac{1}{y} = a + bx$ (6);

donde:

y = variable dependiente (tiempo); x = variable independiente (incidentes); a y b = coeficientes de regresión.

Conocida la relación entre variables, se puede establecer el aporte de las variables independientes simultáneamente en un modelo general múltiple del tipo:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots b_nx_n \quad (7);$$

donde:

y = variable dependiente (tiempo); $x_1 \dots x_n$ = variables independientes (incidentes); $b_0 \dots b_n$ = coeficientes regresión.

Con estos modelos, u otros, se puede obtener un modelo o función de tiempo de buen ajuste (error estimación, coeficiente determinación, prueba de hipótesis) para explicar el tiempo de un ciclo de trabajo o, mejor aún, obtener una función para cada momento del ciclo ya que se debe tener en cuenta que cada uno de éstos se explicaría por variables incidentes distintas (Parra 1992). Esto permite lograr un modelo compuesto para explicar con mayor validez estadística los tiempos totales del ciclo y luego obtener una función de rendimiento que permita una válida predicción de la productividad del harvester para áreas similares a la de estudio (Gujarati 1981, Mendenhall y Reinmunth 1981). Este modelo, que expresa metros cúbicos por hora, queda de la siguiente forma:

clo de trabajo o, mejor aún, obtener una función para cada momento del ciclo ya que se debe tener en cuenta que cada uno de éstos se explicaría por variables incidentes distintas (Parra 1992). Esto permite lograr un modelo compuesto para explicar con mayor validez estadística los tiempos totales del ciclo y luego obtener una función de rendimiento que permita una válida predicción de la productividad del harvester para áreas similares a la de estudio (Gujarati 1981, Mendenhall y Reinmunth 1981). Este modelo, que expresa metros cúbicos por hora, queda de la siguiente forma:

$$R = \frac{60 \times v}{ft} \quad (8);$$

donde:

v = volumen medio por ciclo, ft = función de tiempo por ciclo o función de tiempo compuesta (min), 60 = factor conversión minutos a hora.

CONCLUSIONES

La evaluación de productividad de un equipo, en este caso el harvester, permite conocer sus potencialidades y limitaciones, lo que lleva a mejoras en la asignación, organización y trabajo de éste. Para esto es particularmente importante, por un lado, conocer las características técnicas y funcionales del equipo de manera de identificar y definir cada momento del ciclo de trabajo. Por otro, el registro de las condiciones de trabajo facilita la identificación de aquellos factores o variables que limitan la potencialidad y rendimiento de la máquina.

Además, es conveniente estructurar la información de tiempos de manera de conocer la participación relativa de cada momento en el ciclo de trabajo y así, considerando el rendimiento, el análisis permitirá conocer la eficiencia del trabajo al comparar los resultados con referencias o, por lo menos, con aquellos antecedentes nominales entregados por los fabricantes. Por último, para el objetivo de plantear un modelo que explique la productividad, resulta de mayor validez plantear una función de tiempo compuesta, es decir, funciones parciales por cada momento del ciclo de trabajo ya que éstos se explican por factores o variables incidentes distintas.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSSON, B., G. YOUNG. 1998. Harvesting Coastal Second-Growth Forests: Summary of Harvesting System Performance. Technical Report TR-120. Forest Engineering Research Institute of Canada, 37 p.
- BEHRNDT, W. 1990. Hochmechanisierte Nadeholzdurchforstung. Merkblatt N° 23. Niedersächsischen Forstplanungsamt. Alemania, 18 p.
- BEHRNDT, W. 1992. Umweltschonender Maschineneinsatz. Merkblatt N° 28. Niedersächsischen Forstplanungsamt. Alemania, 36 p.
- BOSWELL, B. 1998. Vancouver Island Mechanized Thinning Trials. Wood Harvesting, Technical Note TN-271. Forest Engineering Research Institute of Canada, 15 p.
- EERONHEIMO, O., P. MÄKINEN. 1995. Desarrollo de cosecha forestal en las plantaciones de pino radiata en Chile. Instituto de Investigaciones Forestales de Finlandia, Serie Informativa 542. Helsinki, 79 p.
- ENCKE, B. 1997. "Ein Starkes Team für Ernte und Transport von Holz. AFZ, Der Wald", *Allgemeine Forst und Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*. Alemania. 52 (15): 806-808.
- FAVREAU, J., J. F. GIGRAS. 1998. An Analysis of Harvesting Costs in Eastern Canada. Special Report SR-129. Forest Engineering Research Institute of Canada, 8 p.
- GABRIEL, O. 1997. Forstliches von der Ligna, Hannover. AFZ, Der Wald. *Allgemeine Forst und Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*. Alemania. 52 (13): pp. 685-688.
- GUJARATI, D. 1981. *Econometría*. McGraw-Hill. Santiago, Chile, 463 p.
- HUNT, J. 1995. Harvesting System: Cut-To-Length, Item # 4. Compendium of Commercial Thinning-Operations. Forest Engineering Research Institute of Canada, Western Division, 2 p.
- KWF (KURATORIUM FÜR WALDARBEIT UND FORSTTECHNIK E.V.) y AFZ, Der Wald (ALLGEMEINE FORST ZEITSCHRIFT FÜR WALDWIRTSCHAFT UND UMWELTVORSORGE). 1996. 12' KWF Tagung Forsttechnik für Naturnahe Waldwirtschaft. Oberhof, Thüringen. Alemania, 136 p.
- MALINOVSKI, J. 1997. Los Sistemas de Cosecha Mecanizados de Madera en Brasil. En: Actas Sistemas de producción Forestal: Análisis, Cuantificación y Sustentabilidad. Universidad de Talca. Chile, pp. 155-163.
- MEEK, P. 1993. An Evaluation of Form Methods for Processing Timber at the Stump. Wood Harvesting, Technical Note TN-208. Forest Engineering Research Institute of Canada, 8 p.
- MENDENHALL, W., J. REINMUNTH. 1981. *Estadística para Administración y Economía*. 2° ed., Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, 707 p.
- MITCHELL, J. 1995. Harvesting System: Cut-To-Length, Item # 2. Compendium of Commercial Thinning - Operations. Forest Engineering Research Institute of Canada, Western Division, 2 p.
- MITCHELL, J. 1998. Harvesting System: Cut-To-Length, Item # 14. Compendium of Commercial Thinning - Operations. Forest Engineering Research Institute of Canada, Western Division, 2 p.
- PARRA, M. 1992. Productividad del maderero con torre en faena de raleo comercial. Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 104 p.
- PARRA, M. 1995. "Cosecha de bosques de pino insignie en la Séptima Región del Maule", *Revista Académica de la Universidad Católica del Maule*. (Talca, Chile). 18: 23-29.
- PARRA, M. 1997. "Proposición de líneas de investigación sobre el problema del efecto del maderero en el suelo". *Revista Académica de la Universidad Católica del Maule* (Talca, Chile) 23: 11-23.
- PLAMONDON, J. A. 1998. Trials of Mechanized Tree-Length Harvesting in Eastern Canada. Wood Harvesting, Technical Note TN-273. Forest Engineering Research Institute of Canada, 8 p.
- RICHARDSON, R. 1989. Evaluation of Five Processors and Harvesters. Technical Report TR-94. Forest Engineering Research Institute of Canada, 18 p.
- RICHARDSON, R., J. MAKKONEN. 1994. The Performance of Cut-To-Length Systems in Eastern Canada. Technical Report TR-109. Forest Engineering Research Institute of Canada, 16 p.
- SAMBO, S. 1998. Harvesting System: Cut-To-Length. Forest Engineering Research Institute of Canada, Western Division. Compendium of Commercial Thinning-Operations, 2 p.
- TORRES, E. 1991. El desarrollo forestal chileno y su impacto sobre la accidentabilidad laboral del sector. En: Actas III Taller de Producción Forestal. Grupo Producción Forestal, Fundación Chile. Concepción, s.p.
- VIGNOTE, S., J. MARTOS, M. GONZALEZ. 1993. Los tractores forestales en la explotación forestal. Depto. Economía y Gestión de las Explotaciones e Industrias Forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. España, 150 p.
- VILLAGOMEZ, A., A. GARCIA. 1986. "El estudio del trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal", *Ciencia Forestal*. México. 11 (59).
- WAGELAAR, R. 1997. "Rundholzvermessung mit Harvestern, Erfahrungen und Erwartungen der Praxis. AFZ, Der Wald", *Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*. Alemania. 52 (15): 809-812.