

Productividad y costos de pequeños harvester con oruga operando en plantaciones de *Pinus* spp. en el norest argentinoSmall crawler harvester productivity and costs in *Pinus* spp plantations in north east argentinePatricio M. Mac Donagh,¹ Jorge A. Mulawka,¹ Ramón A Friedl¹,
Constantino Zaderenko¹ y Diego A. Alegranza,²**Resumen**

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar y modelizar el desempeño de un pequeño harvester con oruga trabajando en plantaciones de *Pinus* spp. en tres tipos de operaciones; primeros raleos (PR), tala rasa con raleo (TRCR) y tala rasa sin raleo (TRSR). La operación de PR, se desarrolló en un terreno de pendiente suave, con tamaño medio del árbol de 0,128 m³cc y se cortaron 83,4 m³/ha. Las talas rasas se realizaron en relieves planos. La situación TRCR poseía un árbol medio de 0,449 m³cc y se cosecharon 279,8 m³/ha. En la situación TRSR, se cosechó un árbol promedio de 0,363 m³cc, con un total de 339,7 m³/ha. Para este estudio se realizaron análisis de tiempos y movimientos, sobre dos máquinas idénticas en los que se tomaron 1.974 ciclos productivos para PR, 887 ciclos productivos para TRCR, y 1190 para TRSR. Para predecir la productividad, se testearon 24 modelos matemáticos. Los modelos seleccionados produjeron indicadores (R^2_{aj}) del orden de 80 % para la operación de un primer raleo, 44% en tala rasa con raleo sanitario previo y 64% para tala rasa sin tratamiento silvícola previo. La productividad fue mayor en función al tamaño del árbol, alcanzando los 12,99 m³/hef en PR, 32,66 m³/hef en TRCR, y 23,44 m³/hef para TRSR. El costo siguió el comportamiento inverso a la productividad con respecto al volumen del árbol, llegando a 4,82 U\$/m³ para PR, 2,61 U\$/m³ para TRCR, y 3,19 U\$/m³ para TRSR.

Palabras-claves: Harvesters pequeños, Cosecha forestal, Modelos matemáticos.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar e desenvolver modelos de desempenho de um harvester pequeno com esteira, em plantios de *Pinus* spp. em três tipos de operações; primeiros desbastes (PR), corte raso com desbaste (TRCR) e corte raso sem desbaste (TRSR). As operações de PR, foram desenvolvidas em um relevo suave, com uma árvore média de 0,128 m³cc e foram colhidos 83,4 m³/ha. Os cortes rasos foram feitos em relevos planos. As operações de TRCR tinha uma árvore média de 0,449 m³cc e foram colhidos 279,8 m³/ha. Nas operações TRSR, foi colhido uma árvore média de 0,363 m³cc, com um total de 339,7 m³/ha. Neste trabalho foram desenvolvidos estudos de tempos e movimentos, sob duas máquinas idénticas nas que se avaliaram 1.974 ciclos produtivos para PR, 887 ciclos produtivos para TRCR, y 1190 para TRSR. Para as predições da produtividade, foram avaliados 24 modelos matemáticos. Os modelos selecionados apresentaram indicadores (R^2_{aj}) da ordem do 80 % para as operações de primeiro desbaste, 44% em corte raso com desbaste prévio e 64% no corte raso sem desbaste prévio. A produtividade foi maior em função ao tamanho das árvores chegando aos 12,99 m³/hef em PR, 32,66 m³/hef em TRCR, e 23,44 m³/hef para TRSR. Os custos apresentaram um comportamento inverso á produtividade em relação ao volume das árvores, chegando a 4,82 U\$/m³ para PR, 2,61 U\$/m³ para TRCR, e 3,19 U\$/m³ para TRSR.

Palavras-chaves: Harvesters pequenos, Colheita florestal, Modelos matemáticos.

Abstract

This study aimed to analyze and predict the performance of a small crawler harvester working with *Pinus* spp. in three types of operations, first thinning (PR), clear cut of a plantation with thinning (TRCR) and clear cut of a plantation without thinning (TRSR). PR operation, took place in a gently terrain, with trees of 0,128 m³ob and were harvested 83,4 m³/ha. Clear cuts were done flat reliefs. The TRCR situation had an average tree of 0,449 m³cc and were harvested 279,8 m³/ha. In the TRSR situation the average tree was 0.363 m³ob

¹Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones - Bertoni 124 - Eldorado - CP 3380 - Misiones - Argentina - E-mail: patricio.macdonagh@gmail.com

²Actitud Forestal - Estudio de Ingeniería y Representaciones - Congreso 241 - Eldorado - CP 3380 - Misiones - Argentina -

and were harvested 339,7 m³/ha. Times studies were performed on two identical machines. The studies were done with 1974 cycles for PR, 887 cycles in the TRCR, and 1190 for TRSR. To predict productivity, 24 mathematical models were tested. The main variables used were the DBH, tree height, tree volume and number of trees processed by effective hour. The best models selected produced R²adj indicators of 80% for a first thinning operation, 44% in clear cutting with thinning, and 64% without thinning treatments. The machines performed according to parameters of efficiency and technical availability if compares with other reports, especially in first thinning and clear cutting. Productivity increased with the size of the tree, reaching 12.99 m³/h in PR, 32.66 m³/h TRCR, and 23.44 m³/h for TRSR. The curve cost presented an inverse shape if compared with productivity respect tree volume, reaching 4.82 U\$S/m³ for PR, 2.61 U\$S/m³ for TRCR, and 3.19 U\$S/m³ for TRSR.

Keywords: Small Harvesters, Forest Harvesting, Mathematical Models.

INTRODUCCIÓN

En la cosecha forestal de bosques implantados en NE Argentino, la mecanización de plantaciones se viene dando en forma acelerada e irreversible en los últimos años. Sobre todo en primeros raleos y en talas rasas con árboles de bajo volumen individual, donde el desafío es aún mayor. Esta acción se basa en el objetivo de aumentar el desempeño y reducir el costo de producción, especialmente donde los márgenes son más exiguos.

Para predecir la productividad de las máquinas de cosecha, y así contribuir a la planificación, optimización, y reducción de los costos se han desarrollado distinto tipo de modelos, basados en regresiones que emplean al DAP, y al volumen del árbol como variables más frecuentes. Así por ejemplo Bramucci y Seixas (2002) en Brasil, ajustaron modelos a partir de 64 harvesters operando en cosecha de *Eucalyptus* spp. Encontraron que el volumen del árbol, fue la variable que mejor explicó la capacidad productiva de los harvesters, con modelos que arrojaron coeficientes de determinación superiores al 0,75.

Sin embargo, se han encontrado pocos antecedentes sobre modelos de regresión para situaciones de raleos y para plantaciones de *Pinus* spp. de pequeño volumen. Algunas razones pueden ser que el manejo forestal sobre eucaliptos, está más asociado con solo un corte raso, y que en el caso de *Pinus* spp., el raleo es una operación que es considerada como poco rentable. En este contexto, se centra la principal importancia del presente aporte, ya que predecir desempeños en base a modelos de producción sobre actividades de escaso o nulo margen es muy importante para un amplio espectro de usuarios.

Las máquinas más comúnmente empleadas en las operaciones de cosecha y de raleo, son las denominadas híbridas, que conjugan una excavadora con un cabezal procesador. Lo más frecuente son máquinas de alrededor de 20 t de

peso, motores con potencias superiores a los 120 hp, y cabezales de 1 tn, que procesan árboles de hasta 65 cm de diámetro. Sin embargo, esas máquinas no son aptas para situaciones de raleos, y se duda que sean las más adecuadas para plantaciones con árboles de pequeño volumen.

Simões et al. (2010) encuentran que en el ciclo operacional de un harvester del tipo CAT 320, con cabezal Valmet 965-BR, el tiempo de proceso de eucaliptos, estuvo por encima del 60% en promedio. Estos autores también relacionan la productividad del harvester con el DAP como principal variable de influencia. Encuentran una regresión logarítmica que da un R² de 0,5.

Martins et al. (2009), ensayan la influencia de la densidad o espaciamiento en conjunto con el volumen por árbol sobre el rendimiento de un harvester John Deere 1270, con cabezal Waratah 762. En este trabajo encuentran diferencias significativas en el tiempo efectivo de trabajo, entre las densidades ensayadas. Además señalan que más del 70% del tiempo, la máquina lo destinó al trozado, desrame y descortezado, para plantaciones de eucalipto con un volumen medio de 0,2 metros cúbicos por árbol. Estos autores también ensayan regresiones para predecir la productividad de la máquina, trabajando en los diferentes espaciamientos. Encuentran que, la capacidad efectiva del harvester, el volumen medio por árbol, y el espaciamiento, son las variables que mejor explican el desempeño. El modelo propuesto es lineal, y tiene un coeficiente de determinación de 0,98. Cuando se analizan los costos, obtienen un modelo cuadrático, con un coeficiente de determinación de 0,66.

Silva et al. (2010) analizan un harvester híbrido, compuesto por una máquina base CAT 320, con un cabezal Waratah 616, trabajando en plantaciones de pino híbrido de 28 años de edad, encontraron que el 66% del ciclo está destinado al procesamiento, con una eficiencia operacional del 77,85%. La productividad obtenida fue de 19,66 metros cúbicos por hora, para

árboles de 30 cm de DAP, con 23 m de altura promedio, cuando se realizaban tres productos.

Simões; Fenner (2010), analizan un harvester híbrido de orugas (JD 200 C LC, con cabezal Waratah H270) en diferentes situaciones de pendiente, de 10 a 25%, cortando y procesando *Eucalyptus grandis*. Concluyen que la productividad de la máquina está fuertemente influenciada por la pendiente, dando un modelo de regresión lineal cuadrática con un R² de 0,85.

Lopes et al. (2007) realizando estudios en plantaciones de *Pinus spp*, con harvester híbrido CAT 320, con cabezal Log Max 7000, encuentran que el procesamiento llevó el 58% del tiempo para árboles en promedio de 0,5 metros cúbicos, y tres tipos de productos. La productividad obtenida fue de 32,75 m³/hora y el costo de 3,56 U\$/m³.

Nurminen et al. (2006), trabajando en bosques mixtos de Finlandia, analizan 5 marcas distintas de harvesters de ruedas, trabajando en 9 situaciones de tala rasa, y en 5 de raleos. Encuentran que el volumen medio del árbol es la principal variable que determina la productividad, mientras que el tiempo de proceso es mucho más bajo que en otras situaciones citadas anteriormente.

El objetivo de este estudio fue analizar la viabilidad de emplear harvesters en raleos y talas rasas con árboles de pequeño volumen en plantaciones de *Pinus spp*. Para ello, se propone desarrollar y ajustar modelos de regresión para poder predecir la productividad de un harvester con oruga operando en tres situaciones distintas. Además se propone ajustar, en base a estas regresiones, curvas de costos en base al volumen del árbol. Por último, se propone analizar las diferencias de desempeño y costos, entre las situaciones operacionales de primeros raleos y talas rasas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de caso sobre un harvester de oruga, trabajando en tres situaciones como ser primeros raleos (PR), tala rasas con raleo (TRCR) y tala rasas sin raleo previo (TRSR), tal como se presenta en la Tabla 1. Todas las evaluaciones fueron hechas en plantaciones, de *Pinus spp*. de distintos orígenes, y con las características que se presentan en la Tabla 1.

En Corrientes se trabajó en campos situados entre Santo Tomé y Virasoro, con coordenadas 28°24'27" de Latitud Sur y 56°20'20" de Longitud Sur, en situaciones de relieves planos a suavemente ondulados. El clima se caracteriza por una temperatura media anual de 21° C, una mínima absoluta de -2,0° C y una precipitación media anual de 1744 mm de régimen uniforme. El clima en estas localidades se corresponde con la categoría de Caf según Koeppen, (LUPI et al., 2005).

Los suelos donde se desarrollan dichas plantaciones son rojos, presentándose en terrenos con algunas ondulaciones suaves (pendientes en general no superan el 2%) y con algunos sectores de pedregosidad variable (granulometría mediana a pequeña), insertos en general en una región de llanuras anegables. Dichos sitios bajo estudio responden a los grandes grupos: Kandiudalfes y Ocracualfes (LUPI et al., 2005).

En Misiones se trabajó en la zona norte, en campos entre las localidades de Montecarlo y San Ignacio, a los 26°52'38" de Latitud Sur y 54°43'05" de Longitud Sur. Los terrenos eran suavemente a ondulados a ondulados, con pendientes nunca superiores al 10%. El clima subtropical húmedo está clasificado como Caf según Koeppen, con temperatura media anual de 20° C y una amplitud de 11° C, y una precipitación de 2000 mm por año. Los suelos pertenecen al gran grupo de los Kandiudultes, conocidos como "tierras coloradas" (INTA, 1990).

En todos los casos, previamente a que los árboles fueran procesados por el harvester, se midió en cada uno el DAP y se calculó posteriormente su volumen. De esta forma, en cada situación de trabajo, se calculó del volumen (m³) del árbol utilizando funciones de volumen (CRECHI et al., 2006, FASSOLA et al., 2006).

La máquina base, denominada harvester con oruga, estaba formada por una excavadora con oruga, marca Caterpillar modelo 312D de 12.920 kilogramos de peso. Estaba equipada con un motor de 67 kW (SAE J1349, 90 hp) de potencia neta. El brazo articulado tenía un alcance de 2,5 m y una capacidad de levante de 67 kN (SAE). Esta máquina ejercía con una presión sobre el suelo de 39,4 kPa, Esta máquina base estaba equipada con un cabezal procesador marca Log Max modelo 5000 de 924 kg de peso.

Tabla 1. Características de las plantaciones de Pinos.
Table 1. Pine plantations characteristics.

Provincia	Operación	Vol /ha	DAP	Vol árb. Medio (m ³)	Densidad árb/ha
Misiones	Raleo	186,8	16,8	0,1282	1457
Corrientes	Tala Rasa con raleo	279,8	25,5	0,4489	619
	Tala Rasa sin raleo	339,7	24,4	0,3634	929



Figura 1. Excavadora con oruga.
Figure 1. Crawler base machine.



Figura 2. Cabezal procesador.
Figure 2. Harvesting head.

Este cabezal, tiene un rango óptimo entre 10 a 40 cm de DAP, con una barra de corte de 64 cm; y con una velocidad de alimentación de hasta 5m/s a 230 bar de presión. Las dos máquinas analizadas eran similares, con condiciones de mantenimiento también similar.

En las operaciones de raleo, se cortaba cada quinta línea y luego selectivo en las laterales. Se realizaba una marcación previa, por parte del personal de la industria. Los árboles eran volteados y procesados por el harvester en la misma secuencia, y los productos apilados en la línea del raleo sistemático. Los productos eran de un solo tipo, raleo destinado a madera de proceso, largo 2,2 m y diámetro en punta fina mayor a 5 cm (Figura 3 y Figura 4)



Figura 3. Primer raleo en Misiones.
Figure 3. First thinning in Misiones.

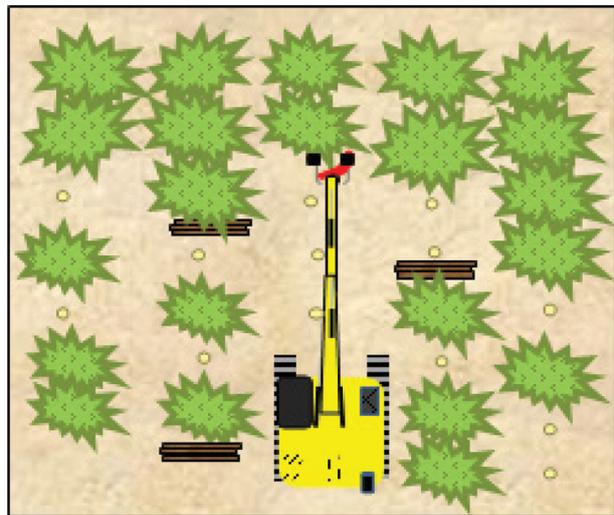


Figura 4. Esquema del primer raleo.
Figure 4. First thinning design.

En las operaciones de tala rasa, tanto en las situaciones con raleo previo, como sin raleo previo, el harvester volteaba y procesaba los árboles en secuencia. Se diferenciaban dos tipos de productos. El primero madera para trituración, con un largo estándar de 2,4 metros y 12cm de diámetro en punta fina. El segundo, madera con destino aserrable, en tres largos 8, 10, y 12 pies, y 18 cm de diámetro en punta fina (Figura 5 y Figura 6).



Figura 5. Tala rasa en Corrientes.
Figure 5. Clear cut in Corrientes.

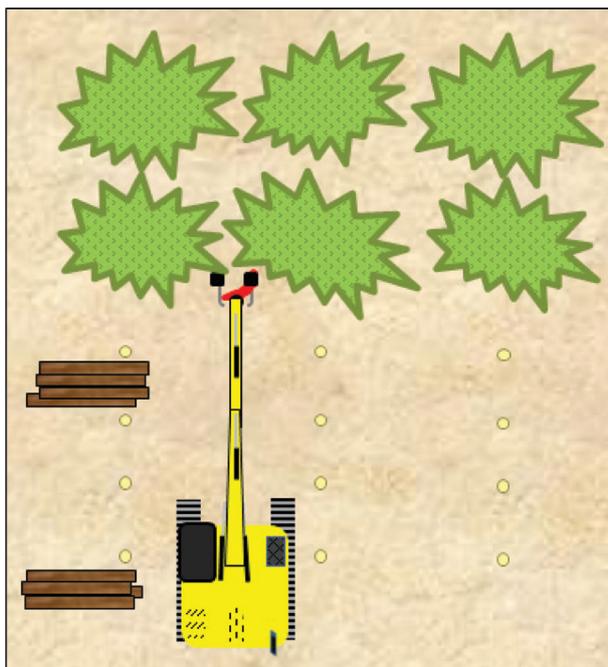


Figura 6. Esquema de tala rasa.
Figure 6. Clear cut design.

Los estudios de tiempos se realizaron con la metodología de toma de tiempos individuales, discriminando entre actividades efectivas y generales. La unidad experimental fue el ciclo operacional. El número mínimo de observaciones necesarias, fue calculado de acuerdo a la fórmula de (1), de modo de proporcionar un error de muestreo máximo de 5%.

El error absoluto de muestreo:

$$E = t * s / \sqrt{n} \quad (1)$$

El error relativo de:

$$E\% = E/x * 100$$

Dónde:

t: Valor de la distribución t Student.

s: Desvió estándar de la muestra.

n: Tamaño de la muestra.

x: Promedio de la muestra

Para cada situación de trabajo se ajustaron modelos lineales y no lineales predictivos del volumen por hora efectivas de trabajo, utilizando como principales variables al DAP, la altura, volumen del árbol y número de árboles procesados por hora efectiva de trabajo.

El costo operativo fue determinado por la metodología FAO (MALINOVSKI, 1983), con datos de uso y valores provistos por la empresa contratista.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los resultados de productividad, eficiencia y disponibilidad mecánica. Para la productividad se observan valores muy disímiles entre sí, y fuertemente influenciados por el tipo de operación realizada. En general se espera que las operaciones de tala rasa sean más productivas que las de raleos, y que a medida que aumenta el volumen del árbol y el volumen total a cosechar aumente la productividad en forma continua. Sin embargo, según los resultados presentados en la Tabla 2, se observa que este no fue el comportamiento en terreno. Esto posiblemente se deba a que en la operación 2 el volumen individual fue mayor que en la operación 3, aunque el volumen total cosechado fue mayor en la operación 3 que en la 2. Esto es coincidente con los resultados señalados por Bramucci y Seixas (2002), Martins et al. (2009), y Lopes et al. (2007), que argumentan que el volumen individual del árbol es la principal variable en la predicción de la productividad de un harvester, por encima del volumen total a cosechar, y otras condiciones del rodal. Además también coincide con los resultados de Nurminen et al. (2006), donde se demuestran diferencias en productividad entre cortes rasos y raleos. En los raleos toman particular importancia las tareas de desplazamiento, y de limpieza en detrimento de los tiempos de procesamiento.

De los trabajos referidos en pino, ninguno compara operaciones con y sin raleo previo, factor que se argumenta afecta la productividad, ya que no solo condiciona el volumen del árbol, sino también la operatividad del harvester. Por ejemplo, en este estudio se encontró una productividad de 23,44 m³/h ef para un volumen medio de 0,36 m³. Mientras que Lopes et al. (2007), para un volumen de 0,47 m³ y una máquina mayor, obtienen 32,7 m³/h ef. Ahora cuando se compara con los datos surgidos de la operación con raleo, se encuentra una productividad similar a la de Lopes et al. (2007), para un volumen de árbol apenas menor, 0,45 m³ contra 0,47 m³. Se argumenta en este caso que no influyó el tamaño de la máquina, pero que existe un factor de espaciamiento que puede haber favorecido a los resultados de este estudio, ya que como se mencionó es una situación con raleo. Esto coincide con lo encontrado por Martins et al. (2009), ya que el espaciamiento, de un rodal más abierto, afecta positivamente el desempeño del harvester.

Con respecto a los primeros raleos, los tamaños de árbol con los que se realizan estas operaciones en la región de estudio, son poco frecuentes en la bibliografía referida a Brasil, ya que la mayoría comparan tamaños de árboles mayores y talas rasas. En este sentido solo Nurminen et al. (2006), en Finlandia estudia comparativamente talas rasas y raleos, pero en bosques nativos, mixtos y manejados. Para el caso de la eficiencia operacional, como de la disponibilidad mecánica, no hubo diferencias significativas, a pesar de que eran máquinas distintas con similar nivel de uso, y diferentes operadores, pero con similares destrezas y comportamientos.

Estos estudios de tiempos arrojan en general una eficiencia menor que los citados para operaciones en Brasil, donde los operadores tienen cursos de entrenamiento y mayor supervisión que en las situaciones analizadas. Sin embargo, el tiempo de proceso es similar en el caso de las máquinas de oruga, y bajo en el caso de las máquinas de rueda. Por ejemplo en trabajos de talas rasas de pino, con máquina del tipo CAT 320 más cabezal Logmax 7000 se señalan eficiencias del 88% (LOPES et al., 2007) y del 90% (SILVA et al., 2010). Ya en situaciones más desfavorables (pendiente) y con otra marca Simões; Fenner (2010) presentan una eficiencia del 82,4%, mientras que Simões et al. (2010) con Cat 320 pero cabezal Valmet, obtienen en eucaliptos una eficiencia del 92%. De esta forma, se argumenta que la menor eficiencia presentada en este trabajo, se atribuye principalmente a la organización de la empresa contratante, y como se mencionó al escaso nivel de entrenamiento de los operadores.

Con los resultados de los estudios de tiempos y movimientos, se realizaron modelos predictivos de la productividad para los tres tipos de operaciones analizadas. Para esto, se probaron un set de 24 regresiones las que se obtuvieron de la literatura y del proceso de investigación. De estas regresiones, en las figuras 4 y 6 se presentan los mejores resultados, y en la tabla 3, un resumen estadístico de las mismas.

Tabla 2. Productividad y eficiencia de las operaciones.
Table 2. Operational productivity and efficiency.

Operación	Productividad (m ³ / h ef)	Eficiencia Operacional (%)	Tiempos de Proceso por árbol (%)	Disponibilidad Mecánica (%)
PR	12,99 a	70	64 a	99,63 a
TRCR	32,66 c	74	70 b	99,08 a
TRSR	23,44 b	84	83 c	99,54 a

Las medias seguidas de las mismas letras, no difieren estadísticamente entre sí, por el test de Tukey, a 5% de probabilidad.
Means followed by the same letters are not statistically different from each other, by the Tukey test at 5% probability.

En estas regresiones, el volumen del árbol siempre ha sido la variable regresora que mejor funcionó, mejor que el DAP, o que el DAP y la altura. Además en todos los modelos seleccionados el volumen del árbol siempre fue significativo. En los modelos obtenidos para las situaciones de raleo (situación 1) y la tala rasa con raleo (situación 2), el mejor ajuste se logró con una regresión polinómica cuadrática, no así en la situación de tala rasa con raleo, en que el mejor modelo fue en función del DAP y la altura, lineal y no cuadrática. Se argumenta que los modelos cuadráticos se asemejan más a la situación real de trabajo, ya que plantean un incremento no lineal en un punto, tal como la limitación por tamaño de árbol, o por diámetro que puede tener un cabezal. Por ejemplo las especificaciones técnicas de este cabezal señalan limitaciones a partir de los 40 cm de diámetro, lo que de alguna forma estaría coincidiendo con disminuciones importantes de rendimiento en las figuras 4 y 6.

En este contexto, los modelos presentados por Martins et al. (2009) y Simões et al. (2010) son lineales, y con las restricciones de no tener limitaciones por aumento de diámetro. En el estudio realizado en Finlandia por Nurminen et al. (2006) se generan modelos de productividad, pero en base a la comparación de tres cosechadoras distintas, ninguno como el CAT 312 que se presenta en este trabajo. De cualquier forma, los modelos encontrados por Nurminen et al. (2006) para raleos, también emplean al volumen del árbol como la principal variable para predecir los rendimientos. Los modelos presentados por Nurminen et al. (2006), son también del tipo cuadráticos, y similares en comportamiento, aunque en Finlandia, como se mencionó se trata de distinto tipo de bosques y de máquinas.

Tabla 3. Indicadores estadísticos de las regresiones seleccionadas.

Table 3. Regressions summary statistics.

Operación	R2 aj	S y;x	PRESS
PR	0,8010	4,3277	37223
TRCR	0,4392	7,1468	38946
TRSR	0,6358	6,4283	30353

Luego, al considerar los costos de producción, se observa en la tabla 4, que la operación 2 fue la menos costosa, y que el raleo la más costosa.

La operación 2 presenta el menor costo de producción a causa de mejores condiciones operacionales, mejores condiciones de la plantación y mayor volumen del árbol.

Tabla 4. Costo operacional y de producción para el harvester con oruga.
Table 4. Operational cost and production for crawler harvester.

Operación	Productividad (m ³ / hora)	Costo Operacional (u\$s/hora)	Costo de Producción (u\$s/m ³)
PR	9,06	43,71	4,82
TRCR	24,26	63,27	2,61
TRSR	19,82	63,27	3,19

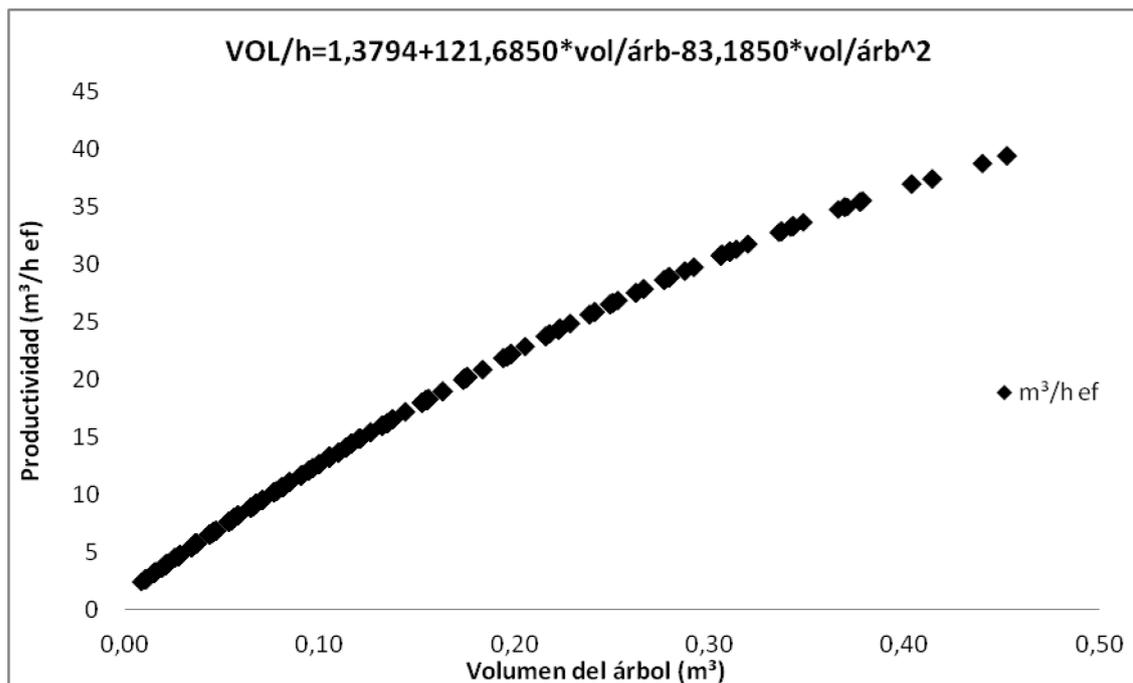


Figura 7. Comportamiento del modelo seleccionado para primer raleo.
Figure 7. Selected model behavior for first thinning.

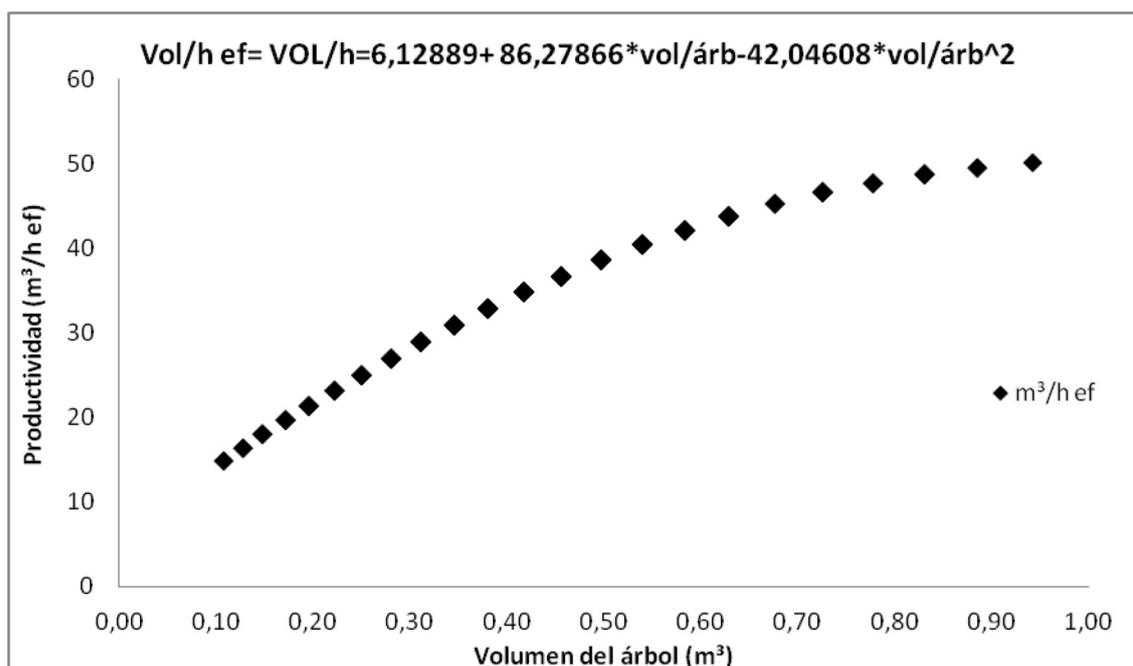


Figura 8. Comportamiento del modelo seleccionado para tala rasa con raleo previo.
Figure 8. Selected model behavior for clear cut with previous thinning.

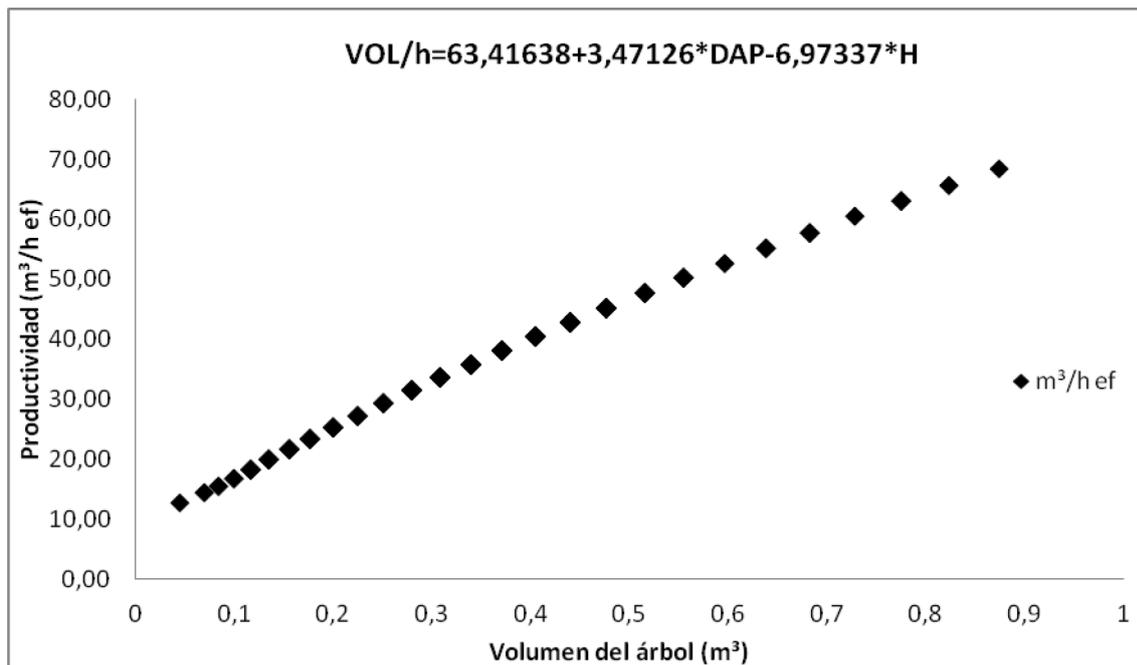


Figura 9. Comportamiento del modelo seleccionado para tala rasa sin raleo
Figure 9. Selected model behavior for clear cut without thinning.

Considerando la productividad obtenida por los modelos seleccionados y el costo medio de producción para cada operación, se observa una disminución exponencial del costo de producción hasta llegar a un punto en que las reducciones obtenidas por el aumento de productividad comienzan a disminuir. (Figuras 10, 11 y 12)

Al analizar estos valores de costos se debe co-

menzar considerando que el harvester bajo estudio es una máquina pequeña si se la compara con las más tradicionales. Tiene casi 10 toneladas menos que las retro excavadoras más comunes, y un motor también menos potente. En consecuencia su valor de mercado está entre un 30 a un 35% menos que las máquinas empleadas comúnmente en operaciones de tala rasa.

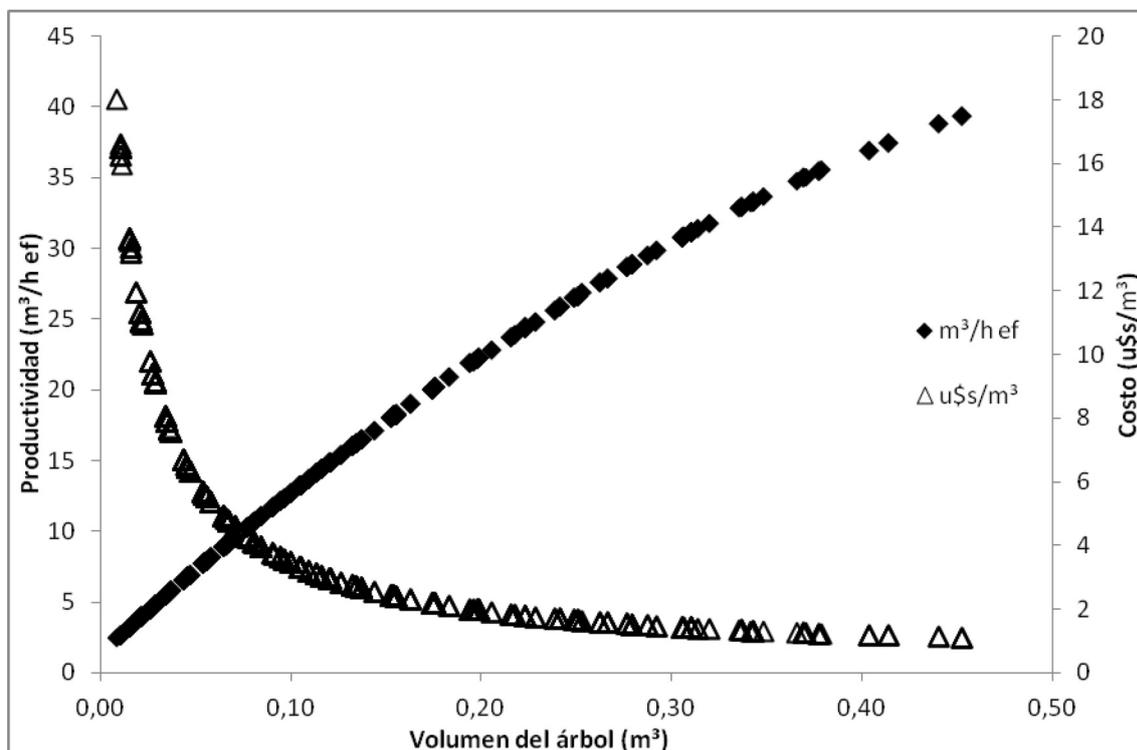


Figura 10. Productividad y costo del harvester en función del volumen de los árboles, en primer raleo.
Figure 10. Harvester productivity and cost based on tree volume, in first thinning.

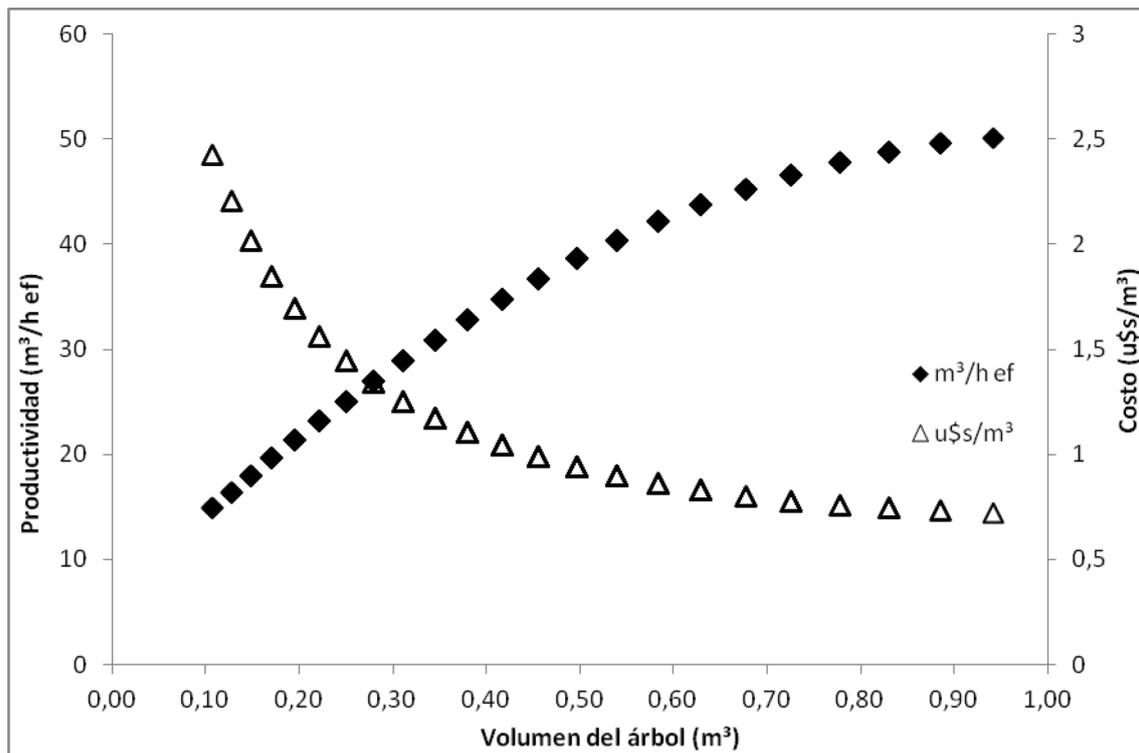


Figura 11. Productividad y costo del harvester en función del volumen de los árboles, en tala rasa con raleo previo.
Figure 11. Harvester productivity and cost based on tree volume, in clear cut with previous thinning.

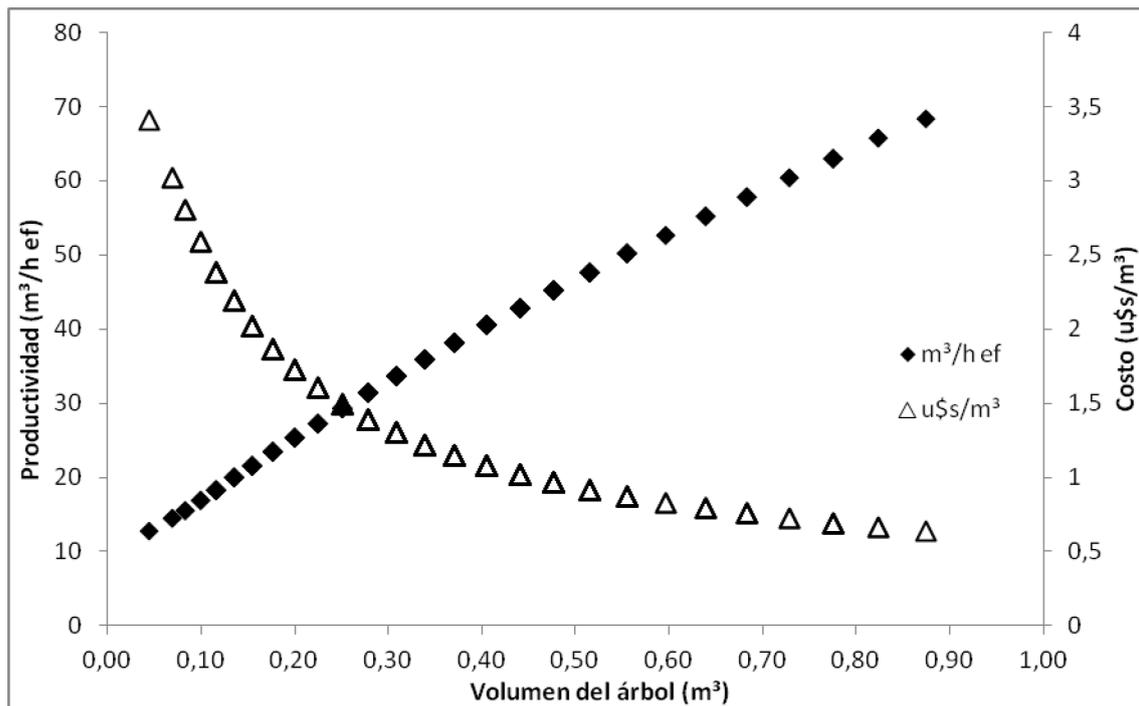


Figura 12. Productividad y costo del harvester en función del volumen de los árboles, en tala rasa sin raleos.
Figure 12. Harvester productivity and cost based on tree volume, in clear cut without thinning.

En consecuencia, el valor del costo horario empleado en este trabajo es menor que los relacionados por Lopes et al. (2007), 115,72 U\$/h ef; Martins et al. (2009), 113,28 U\$/h ef, Simões; Fenner (2010), 78,78 U\$/h ef, todos con tasas de interés superiores al 10%. Ya en el caso de Silva et al. (2010) es intermedio (52,27 U\$/h ef) con un tasa del 6%.

Sin embargo al analizar el costo operacional, se observa que los valores de referencia están entre 2 y 2,5 U\$/m³ para talas rasas, tanto de pino como eucaliptos. Estos valores promedio no están muy alejados de los obtenidos en este estudio, con la salvedad de la máquina más pequeña y de árboles más pequeños, como ya fue mencionado anteriormente.

Para los raleos no se han encontrado valores de referencia, en costos operacionales, y con árboles de 100 kg como los que se cosechan en estas plantaciones. Sin embargo, se observa que los mismos no están tan por encima de los señalados por Diaz; Mac Donagh (2001).

CONCLUSIONES

Los harvesters pequeños son una opción muy adecuada para el desarrollo de raleos, y muy recomendables para tamaños de árboles de hasta 30 cm de DAP.

Estas máquinas son viables también en operaciones de talas rasas, cuando el tamaño del árbol lo permita. El desempeño es comparable al de máquinas superiores en tamaño y potencia, y su costo operativo hasta puede ser más conveniente con árboles promedio de 350 a 450 kg por planta, dependiendo de si existieron o no raleos.

El rendimiento de una operación de tala rasa con raleo, fue superior al de una operación sin raleo previo. Esto se debe al mayor volumen individual de los árboles en la operación con raleo, pero también al espacio necesario para la mejora en el rendimiento del harvester.

El volumen individual del árbol es la variable más importante a la hora de planificar una operación de corte mecanizado. En contraposición el volumen total a cosechar, es un factor de menor importancia.

Los modelos de regresión cuadráticos son los más aptos para representar situaciones reales, especialmente cuando se consideran las limitaciones físicas por diámetro de los cabezales procesadores.

BIBLIOGRAFÍA

BRAMUCCI, M., SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de harvesters na colheita florestal. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 62, p. 62-74, dez. 2002.

CRECHI, E.; FASSOLA, H.; KELLER, A.; BARTH, S. Modelos de estimación del volumen individual de árboles con y sin corteza de *Pinus taeda* L. para la zona de Misiones, Argentina. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES Y AMBIENTALES, 12., Eldorado. **Trabajos Apresentados...** Eldorado: FCF-INTA. 2006. 14 p.

FASSOLA, H.; CRECHI, E.; BARTH, S.; KELLER, A. Estimación del volumen individual de árboles con corteza en *Pinus taeda* L. implantado en la zona NE de Corrientes, Argentina. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES Y AMBIENTALES, 12., Eldorado. **Trabajos Apresentados...** Eldorado: FCF-INTA. 2006. 9 p.

LOPES, E.S.; CRUZINIANI, E.; NOGUEIRA, D. A.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de *Pinus* com cabeçote harvester em diferentes condições operacionais. *Floresta*, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 305-313, set./dez. 2007.

LUPI, A.; FERNÁNDEZ, R.; PAHR, R.; MARIARENA, N.; PEZZUTTI, R.; HERNÁNDEZ, A. Pinos en tierras bajas. *Revista IDIA*, v. 21, p. 92-96. 2005.

MALINOVSKI, J. Metodologia do custo hora para máquinas florestais. CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1983. p. 57-70.

MARTINS, R.J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 253-263, set. 2009.

NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; JORI, U. Time Consumption Analysis of the Mechanized Cut-to-length Harvesting System. *Silva Fennica*, Helsinki, v. 40, n.2, p. 335-363, 2006.

SILVA E.N.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus* sp. com harvester. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 745-753, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 107-114, mar. 2010.

SIMÕES, D.; Fenner, P. T.; Esperancini, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, dez. 2010.

Recebido em 10/12/2012

Aceito para publicação em 20/08/2013