



COSECHA FORESTAL: MAQUINARIA Y OPERADORES EN EL RENDIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Daniel FERRO¹, Tatiana CINQUETTI¹, Matilde MUR¹, Luciano LARRIEU¹, Facundo GUILINO¹, Esteban PEREIRA¹, María Clara DONADELLI¹, Juan Manuel VÁZQUEZ¹, Florencia BONGIORNO¹, María Florencia ZANARDI¹, Victor MERANI¹

RESUMEN

Las empresas forestales han incrementado la mecanización de la cosecha de madera acompañando el incremento productivo y garantizando un abastecimiento de las industrias a costos competitivos. El incremento en el rendimiento de cosecha y la disminución de costos es un punto importante para atender en los planteos forestales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los operarios en la cosecha mecanizada de madera sobre el rendimiento horario y el consumo de combustible. Se utilizaron los datos extraídos de cabezales de harvesters para el análisis de performance de operarios y maquinaria respecto a la productividad y consumo de combustible. Se analizaron 2 maquinarias y 5 operarios, estando anidados a las cosechadoras. Se observó que una máquina tuvo alrededor de un 30 % mayor de rendimiento y 29 % menor uso de combustible que la restante, mientras que se observaron diferencias en la productividad y consumo de combustible entre operarios, que incluso alcanzaron valores del 50 %. Finalmente, se definieron lineamientos de gestión en la relación maquinaria-operador para intentar maximizar los rendimientos y reducir los costos de combustible. El efecto máquina y operador son relevantes tanto en la productividad como en el uso de combustible durante el uso de cosechadoras forestales.

Palabras claves: *harvester, eficiencia, Big Data, StanForD*

1. INTRODUCCIÓN

La producción forestal en países como Argentina y Uruguay se ha incrementado notablemente en el último tiempo. La superficie forestada en Argentina se incrementó de 140.000 ha en 1960 a 1.300.000 ha en el año 2015 (Denegri et al., 2023), mientras que en Uruguay se incrementó de 50.000 ha en 1987 a más de 1.000.000 en la actualidad (Ceres, 2023).

Las empresas del sector forestal han incrementado el nivel de mecanización de las operaciones de cosecha de madera para acompañar el incremento de la producción y garantizar un abastecimiento de las industrias a costos competitivos (Lundbäck et al., 2021). Este comportamiento afecta directamente el costo total de la madera, y puede representar hasta el 50 % del costo total de la madera puesta en industria (Moreira, 1992). El incremento en el rendimiento de cosecha y la disminución de costos es un punto importante para atender en los planteos forestales.

La productividad y los costos de la cosecha mecanizada de madera se encuentra condicionada por características de los árboles, de las máquinas, del terreno, de los operarios, como así también factores legales, administrativos, ambientales, económico, financieros, entre otros (Burla, 2008). En este marco, varios autores concuerdan que una variable que debe ser considerada es el efecto de los operarios, puesto que las destrezas particulares de cada uno en cuanto al manejo de la maquinaria, dada por su capacitación previa en forma teórica o práctica, determina la productividad como los costos de la cosecha (Malinovski y Malinovski, 2000; Nurminem et al., 2006; Machado, 2008).

La racionalización de los sistemas forestales, clasificados según el método de cosecha, las máquinas utilizadas, la mano de obra y las herramientas específicas, permitiría reducir costos y aumentar la

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Contacto: daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar



productividad de la operación (Spinelli et al., 2018; Lundbäck et al., 2021). En este marco, podría utilizarse la información recopilada por los harvesters, puesto que el sistema de gestión de la cosechadora registra automáticamente las acciones del operario (Purfürst y Erler, 2011; Eriksson y Lindroos, 2014, Strubergs et al., 2021). El análisis de esta información permitirá conocer la performance de las máquinas y los operarios, cuya información será valiosa para establecer modificaciones en el sistema o generar espacios de capacitación intentando expresar el máximo potencial de la maquinaria utilizada (Wagner, 2012; Karttunen y Laitila, 2015).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los operarios de harvesters, sobre el rendimiento horario y el consumo de combustible en la cosecha mecanizada de madera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se extrajeron datos estructurados de cabezales harvesters en formato StanForD de operadores provenientes de la cosecha de madera con sistema *cut to length* (CTL) en tala rasa de *Eucalyptus spp.* El rodal tenía 100 meses de edad, con marco de plantación de 5 m x 3 m, y de terreno ondulado con pendiente máxima del 8 %, ubicados en la región de Cerro Chato, Uruguay. Se utilizaron dos harvesters con máquina base John Deere 1270E con un peso de 19.250 kg y cabezal marca Waratah modelo H480C, de 1.350 kg, con barra de corte de 650 mm. Se obtuvieron datos de 5 operarios al azar, de los cuales 3 de ellos (OP1, OP2 y OP3) trabajaron en una máquina (H1) y los otros 2 (OP4 y OP5) en la restante (H2). Se realizó una limpieza de los datos obtenidos eliminando datos nulos y valores atípicos considerados según una desviación mayor a dos veces el desvío estándar y se seleccionaron los datos correspondientes a la actividad de "Procesamiento". Los valores de Rendimiento Horario de la cosecha de madera (RH) y de Consumo Específico de combustible (CE) fueron analizados estadísticamente por análisis de la varianza (ANOVA) considerando un diseño completamente aleatorizado (DCA) con dos factores (Máquina y Operador), encontrándose el factor Operador anidado a Máquina ($p < 0,05$). La variable consumo de combustible se transformó mediante la operación logaritmo para linealizarla y cumplir con los supuestos del análisis. En los factores que arrojaron diferencias estadísticas significativas se realizó una comparación de medias por el test de Tukey ($p < 0,05$). En total se analizaron 429 datos que se corresponden con 80 datos por operador, contabilizando aproximadamente 50 h de trabajo efectivo por cada uno. Se utilizó el software estadístico RStudio (R Core Team, 2023).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra un resumen de los resultados obtenidos.

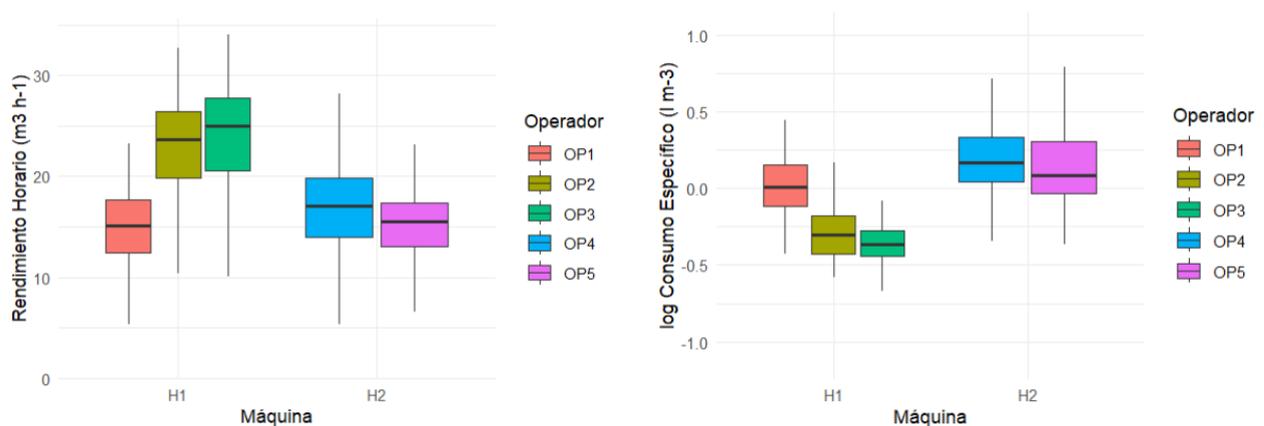


Figura 1. Rendimiento Horario (izquierda) y Consumo Específico (derecha) diferenciada por máquina y operador

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre máquinas para ambas variables y entre operarios en H1 para RH y CE, y en H2 solamente en RH ($p < 0,05$). Entre máquinas, H1 mostró un 27 % mayor de RH y un 29 % menos CE que H2 (**Cuadro 1**). En H1, OP2 y OP3 tuvieron un 50 % mayor de RH y un 40 % menor de CE que OP1; mientras que en H2, OP4 tuvo un 11% mayor de RH que OP5, sin mostrar diferencia en CE entre ellos (**Cuadro 2**).



Cuadro 1. Rendimiento Horario (RH) y Consumo Específico (CE) según Máquina. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre máquinas para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	RH ($m^3 h^{-1}$)	CE ($l m^{-3}$)
H1	20,2 b	0,9 a
H2	16,0 a	1,2 b

Cuadro 2. Rendimiento Horario (RH) y Consumo Específico (CE) según Máquina. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre operarios dentro de cada máquina para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	Operador	RH ($m^3 h^{-1}$)	CE ($l m^{-3}$)
H1	OP1	14,7 A	1,03 B
	OP2	22,4 B	0,76 A
	OP3	23,4 B	0,72 A
H2	OP4	16,8 b	1,20 a
	OP5	15,1 a	1,16 a

Las diferencias entre máquinas podrían asociarse con el estado de los componentes, y puede deberse al año de fabricación de los elementos constitutivos de la maquinaria, a la historia de uso del equipo y/o al mantenimiento general, en coincidencia con lo mencionado por Burla (2008).

Las diferencias entre los operarios, relacionadas con la productividad, podrían deberse tanto a la edad de estos, a la experiencia en el uso de las herramientas y/o a la capacitación recibida para el uso y manipuleo de la maquinaria (Malinovski y Malinovski, 2000; Nurminem et al., 2006; Machado, 2008). Existen estudios que cuantifican las diferencias esperadas en el procesamiento luego de la capacitación de los operarios para el uso de los harvesters (Strubergs et al., 2021; Strubergs et al., 2022).

Las diferencias en la productividad entre operarios podrían haber sido la causa de las diferencias observadas en el uso del combustible. Según los resultados encontrados en este trabajo, en tanto se incrementó la productividad por las máquinas y los operadores, en general, se produjo una reducción en el uso de combustible específico. Este comportamiento resulta sumamente importante dado que la cosecha forestal es uno de los principales costos en relación con la madera cosechada y puesta en industria (Moreira, 1992).

En el caso de la situación planteada en este trabajo, cabría la posibilidad de generar lineamientos para maximizar las prestaciones de las maquinarias. Se observó que H1 tiene un mayor potencial que H2, del mismo modo que OP1 (asociado a H1) tendría un menor potencial que OP4 (asociado a H2). En este marco, se sugeriría que se realice una modificación en las máquinas utilizadas por los operarios. La maquinaria con mayor potencial (H1) debería ser utilizada por el operario con mejor performance (OP4). Estas modificaciones, relacionadas con la racionalización de los sistemas según autores (Spinelli et al., 2018; Lundbäck et al., 2021), permitirían expresar el máximo potencial de los recursos y la maquinaria utilizada en pos de un mayor rendimiento y menores costos (Wagner, 2012; Karttunen y Laitila, 2015). Asimismo, no debe descartarse los espacios de capacitación para que los operarios puedan incrementar su productividad, reducir los costos y alargar la vida útil de la maquinaria (Strubergs et al., 2022).

4. CONCLUSION

El rendimiento horario y el consumo de combustible depende considerablemente de la maquinaria y de los operarios. El análisis de la performance de los operarios y las máquinas permiten tomar decisiones de gestión para maximizar el rendimiento y reducir los costos de combustible.

AGRADECIMIENTOS

La/os autores agradecen a Interagrovia S.A., representante John Deere en Uruguay y Argentina, por los datos brindados para la realización de este trabajo.



5. BIBLIOGRAFÍA

- BURLA, E. 2008. Evaluación técnica y económica del "Harvester" en la cosecha de Eucaliptos. Tesis en Ingeniería Agrícola. Minas Gerais, Brasil. Universidad Federal de Viçosa. pp. 36-49.
- CERES. 2023. La producción forestal en Uruguay. Un sector líder y sostenible. Informe Especial. Disponible en: https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo_1699474632.pdf. Último acceso: agosto de 2024.
- DENEGRI, G., BERNIO, F., SANDOVAL, M., ACCIARESI, G. 2023. Argentina: análisis de la concentración territorial de las plantaciones forestales entre 1965 y 2015. *Revista De La Facultad De Agronomía* 121(2), 111.
- ERIKSSON M., LINDROOS O. 2014. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering* 25(3): 179-200.
- KARTTUNEN, K., LAITILA, J. 2015. Forest management regime options for integrated small-diameter wood harvesting and supply chain from young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *Int. J. For. Eng.*, 26, 124–138.
- LUNDBÄCK, M., HÄGGSTRÖM, C., NORDFJELL, T. 2021 Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood, *International Journal of Forest Engineering* 32(3):202-215. DOI: 10.1080/14942119.2021.1906617
- MACHADO, C. 2008. Colheita florestal. 2a ed. Viçosa, MG, Ed. UFV.
- MALINOVSKY, J.; MALINOVSKY, R. 2000. Programa de computacao para simulacao e controle de operacoes de colheita de madeira. In: Seminario de Atualizacao Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal (11, 2000, Curitiba). Trabalhos apresentados. Curitiba, Brasil, FUPEF. pp 152-197.
- MOREIRA, M. 1992. O desenvolvimento da mecanização na exploração florestal sob a ótica dos custos. VII Seminario de Atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal. Curitiba nn 161-171.
- NURMINEN T., KORPUNEN H., UUSITALO J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* vol. 40(2): 335-363.
- PURFÜRST F. T., ERLER J. 2011. The Human Influence on Productivity in Harvester Operations. *International Journal of Forest Engineering* 22(2): 15-22.
- R CORE TEAM. 2023. R: A language and environment for statistical computing. Disponible en: <https://www.R-project.org/>. Último acceso: agosto de 2024.
- SPINELLI, R.; MOURA, A. C. A.; SILVA, P. M. 2018. Decreasing the diesel fuel consumption and CO2 emissions of industrial in-field chipping operations. *Journal of Cleaner Production*. Amsterdã. p. 2174-2181.
- STRUBERGS, A, LAZDINS, A., LINARDS SISENIS. 2021. Use of StanForD 2010 data for determination of effect of harvester operator periodic training on productivity and fuel economy. *Jelgava*, 26: 1163-1167.
- STRUBERGS, A, LAZDINS, A., LINARDS SISENIS. 2022. Use of CTL harvester .hpr and .mom files to analyze impact of operator training on productivity. *Jelgava*, 25: 432-437.
- WAGNER, J.E. 2012. Misinterpreting the internal rate of return in sustainable forest management planning and economic analysis. *J. Sustain. For.* 31:239–266.