

TRABAJO CIENTÍFICO

Rendimiento y consumo de combustible en cosecha forestal durante el procesamiento y la jornada laboral según operadores y máquinas

Forest Harvest Yield and Fuel Consumption during Processing and Working Hours per Operators and Machinery

**D. A. Ferro¹; T. Cinquetti²; M. Mur³; L. Larrieu⁴; F. Guilino⁵; E. Pereira⁶;
M. C. Donadelli⁷; J. M. Vázquez⁸; F. Bongiorno⁹; M. F. Zanardi¹⁰ y V. Merani¹¹**

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: tatiana.cinquetti@agro.unlp.edu.ar

³ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: matilde.mur@agro.unlp.edu.ar

⁴ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: luciano.larrieu@agro.unlp.edu.ar

⁵ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: fguilino@agro.unlp.edu.ar

⁶ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: pereiraestebanivan@gmail.com

⁷ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: maria.donadelli@agro.unlp.edu.ar

⁸ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: juan.vazquez@agro.unlp.edu.ar

⁹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: florencia.bongiorno@agro.unlp.edu.ar

¹⁰ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: florencia.bongiorno@agro.unlp.edu.ar

¹¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119, La Plata, Buenos Aires, Argentina (CP 1900). E-mail: victor.merani@agro.unlp.edu.ar

Recibido en agosto de 2024; Aceptado en febrero de 2025

RESUMEN

El incremento del rendimiento de cosecha y la disminución de costos son importantes en la cosecha mecanizada de madera. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el rendimiento horario y consumo específico de combustible durante el procesamiento de madera y durante la jornada laboral según operarios y recolectores en la cosecha de Eucalyptus con el método de corta a medida (CTL) de Uruguay. Se extrajeron datos estructurados en formato StanForD de 5 operarios (OP1, OP2, OP3, OP4 y OP5) anidados a 2 harvesters (H1 y H2). Se realizó un análisis diferenciado según datos en actividad de procesamiento y los datos recopilados durante una jornada laboral. Los valores de rendimiento de cosecha alcanzaron variaciones del 50% entre operarios durante el procesamiento y del 40 % durante la jornada laboral. El consumo de combustible se modificó en valores cercanos al 40 % según operarios. El incremento de cosecha durante la jornada laboral, en algunos casos, no se asoció con una reducción en el consumo de combustible. Estos resultados demuestran que los rendimientos y el consumo de combustible se asociarían tanto a los operarios como al mantenimiento y logística de las máquinas en el aprovechamiento. Es relevante cuantificar tanto los rendimientos de cosecha y consumo específico de combustible durante el procesamiento y la jornada laboral para definir estrategias de relacionadas con los operarios (capacitaciones) y/o maquinarias (mantenimiento o logística) para mejorar el rendimiento del aprovechamiento y reducir los costos.

Palabras claves: harvester, eficiencia, Big Data, StanForD

ABSTRACT

Increasing harvesting yield and decreasing costs are important issues to address in mechanised timber harvesting. The objective of this work was to quantify the hourly yield and specific fuel consumption during wood processing and during the working day per operators and harvesters in Eucalyptus cut to length (CTL) harvesting in Uruguay. Structured data were extracted in StanForD format from 5 operators (OP1, OP2, OP3, OP4 and OP5) nested to 2 harvesters (H1 and H2). A differentiated analysis was performed according to data in processing activity and data collected during a working day. Harvest yield values reached variations of 50% between operators during processing and 40% during the working day. Fuel consumption varied by about 40% between operators. Increased harvesting during the working day, in some cases, was not associated with a reduction in fuel consumption. These results show that yields and fuel consumption are associated with both the operators (training and activities) and the maintenance and logistics of the machines. It is relevant to quantify both harvest yields and specific fuel consumption during processing and working hours to define strategies for operator (training) and/or machine (maintenance or logistics) to improve harvesting performance and reduce costs.

Key words: harvester, efficiency, 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). Paralelamente, 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 puesta en industria, siendo que la cosecha forestal puede representar el 50 % (Martinez Cantón *et al.*, 2022). Por lo tanto, el incremento en el rendimiento de cosecha y la disminución de costos es un punto importante para atender en los planteos forestales.

La racionalización de los sistemas forestales, clasificados según el método de cosecha, la mano de obra y las máquinas utilizadas, permite reducir costos y aumentar la productividad de la operación (Spinelli *et al.*, 2018; Lundbäck *et al.*, 2021). En relación con el método de cosecha, es importante estudiar el sistema de corte a medida (CTL) ya que representa en el 40 % del total de madera en rollo cosechada para industria el mundo (Lundbäck *et al.*, 2021). En relación con los operarios, se ha reportado que el grado de entrenamiento y/o experiencia influyen de manera significativa en la producción y en el consumo de combustible durante el procesamiento de la madera (Kärhä *et al.* 2023), mientras los tiempos destinados al procesamiento en relación con el uso total de la maquinaria influyen de manera significativa en el rendimiento y en el consumo de combustible durante la jornada laboral (Haavikko *et al.* 2022). En relación con las maquinarias utilizadas, se ha reportado que la productividad de los harvesters durante el procesamiento de la madera depende principalmente de características del cabezal y la máquina base, condicionada por el rodal (Amiama Ares *et al.* 2020), mientras que el consumo de combustible depende principalmente de la potencia del motor y del estado de los componentes según su uso y mantenimiento (Brunberg y Lundström, 2013). En consecuencia, tanto la productividad como el consumo de combustible pueden ser variables según se analicen solamente las actividades de procesamiento de la madera o el tiempo total de uso de la maquinaria durante la jornada laboral donde se realizan otras actividades (Hildt, 2020).

Varios autores concuerdan que el efecto de las maquinarias y los operarios son variables y que deben estudiarse y atenderse puesto que condicionan fuertemente el rendimiento de producción y los costos de cosecha (Ames *et al.*, 2023, Salem, 2018). En la actualidad existen tecnologías de gestión de la cosechadora como el StanForD (Skogforsk, 2024) que recopilan información de los

cabezales de los harvesters en forma digital y permite registrar automáticamente las acciones del operario (Eriksson y Lindroos, 2014, Strubergs *et al*, 2021). El análisis de esta información puede ser valiosa para conocer la performance de las máquinas y los operarios, cuya información será relevante para establecer modificaciones en el sistema o generar espacios de capacitación intentando expresar el máximo potencial de la maquinaria en caso de encontrar diferencias entre operarios, entre maquinarias o en la performance a lo largo del tiempo (Wagner, 2012; Karttunen y Laitila, 2015). Sin embargo, aún no se han reportado de manera exhaustiva trabajos que permitan cuantificar el efecto de los operarios y las maquinarias sobre el rendimiento de cosecha y el uso de combustible de harvesters en sistemas de aprovechamientos en Argentina y Uruguay. En este marco, el análisis de los registros de harvesters en formato StanForD será una información valiosa para caracterizar y ampliar el conocimiento respecto al rendimiento y al consumo de combustible por las maquinarias y los operarios en los sistemas de aprovechamiento de tipo CTL de *Eucalyptus spp.* en Argentina y Uruguay.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto de los operarios y de los harvesters, sobre el rendimiento horario y el consumo de combustible durante los momentos de procesamiento y durante la jornada laboral en sistema de cosecha de tipo CTL de *Eucalyptus spp.* en Uruguay.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se extrajeron datos estructurados de cabezales harvesters en formato StanForD (Skogforsk, 2024) 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 de 170 kW, peso de 19.250 kg y con 5900 ± 150 h de uso, y cabezal marca Waratah modelo H480C, de 1.350 kg, con barra de corte de 650 mm y con velocidad máxima de alimentación de 4 a 6,5 m s⁻¹. 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 restantes operarios (OP4 y OP5) en la otra máquina (H2). Los datos fueron migrados al software MS Excel del paquete Microsoft Office 365 (Microsoft, 2024). 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, obteniendo un total de 1094 datos, proceso similar al utilizado por Löwe *et al.* (2024). Los datos registrados se correspondieron con aproximadamente 70 h de trabajo por cada operador. Posteriormente, se seleccionaron los datos correspondientes a la actividad de "Procesamiento" para evaluar solamente los tiempos donde se realizaron actividades efectivas (Hildt, 2020), registrando un total de 540 datos. En los datos limpios y filtrados se efectuaron dos análisis: el primero considerando el Rendimiento Horario (RHP) y el Consumo Específico de Combustible (CEP); mientras que el segundo se realizó considerando el Rendimiento Horario (RHJ) y el Consumo Específico de Combustible (CEJ) en cada jornada laboral, estos últimos calculados según los datos obtenidos en cada día de trabajo. El RHJ se analizó en base al cociente entre el volumen diario de madera cosechada (m³) respecto a al tiempo de trabajo diario (h), mientras que el segundo en base a la relación entre el consumo de combustible diario (l) respecto al volumen diario de madera cosechada (m³). Las variables fueron analizadas estadísticamente

por medio del análisis de la varianza (ANOVA) considerando un diseño completamente aleatorizado (DCA) con dos factores, encontrándose el factor Operador anidado a Máquina ($p < 0,05$). Se realizó una comprobación previa del cumplimiento de los supuestos básicos del ANOVA y se linealizaron aquellas variables que no cumplieron con los supuestos mediante operaciones matemáticas (logaritmo). En los factores que arrojaron diferencias estadísticas significativas se realizó una comparación de medias por el test de Tukey ($p < 0,05$). Se utilizó el software estadístico RStudio (R Core Team, 2023). Finalmente, y a modo de caracterización, se calcularon los tiempos relativos de cada actividad identificada en el cabezal (procesamiento, descanso de operador, interrupción, mantenimiento, parada corta, recorrido en terreno, reparación, tránsito y otros trabajos) en relación con el tiempo total registrado según maquinaria y operadores.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis durante el procesamiento

Los principales resultados relacionados con el rendimiento de producción de los operarios durante la actividad de procesamiento (Tabla 1, Figura 1) mostraron que OP2 y OP3 tuvieron RHP mayores en un 55 % respecto a OP1 en H1 (23 vs 14 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$, aproximadamente) y OP4 tuvo RHP mayor en un 11 % respecto a OP5 en H2 (17 vs 15 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$, aproximadamente). Estos resultados se asociarían con la destreza de los operarios para el uso de la maquinaria, dado principalmente por la experiencia y la capacitación (Ames *et al.*, 2023; Salem, 2018). Paralelamente, la variabilidad de estos resultados fue mayor y menor a lo reportado por Purfüst y Erler (2011) quienes mencionan que el 37,3 % de la variabilidad de la productividad se explicaría por los operadores, evidenciando la necesidad de cuantificar el efecto de los operarios sobre las máquinas en cada sitio para generar mejoras en la producción de los sistemas de aprovechamiento. Por otro lado, en relación con el consumo específico de combustible durante la actividad de procesamiento (Tabla 1, Figura 1) se evidenció que solamente OP1 mostró un incremento del 40 % de CEP respecto a OP2 y OP3 en H1 (1,0 vs 0,7 l m^{-3} , aproximadamente), siendo indiferente los valores de CEP entre los operarios OP4 y OP5 en H2 (1,18 y 1,13 l m^{-3} , respectivamente). Los resultados de CEP coincidieron con los reportado por Kärhå *et al.* (2023) quienes mencionan que el consumo de combustible por unidad de madera oscila entre 0,86 y 1,43 l m^{-3} , dependiendo de las condiciones de trabajo y, especialmente, del tamaño de los árboles. Siendo que las condiciones de trabajo y los rodales fueron similares, se pueden asociar las diferencias en el consumo de combustible, al igual que en el rendimiento de madera, a la eficiencia de los operarios durante la toma de decisión para realizar la tarea de procesamiento.

Tabla 1. Rendimiento Horario en Procesamiento (RHP) y Consumo Específico en Procesamiento (CEP) según Máquina y Operador. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre operarios dentro de cada máquina para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	Operador	Rendimiento Horario RHP ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	Consumo Específico CEP (l m^{-3})
H1	OP1	14,67 A	1,02 B
	OP2	22,41 B	0,75 A
	OP3	23,38 B	0,70 A
H2	OP4	16,76 b	1,18 a
	OP5	15,08 a	1,13 a

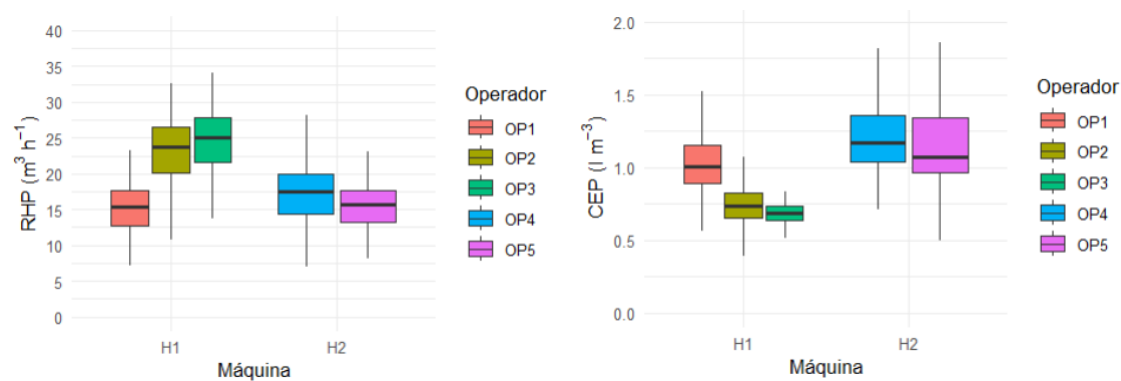


Figura 1. RHP: Rendimiento Horario en Procesamiento (izquierda) y CEP: Consumo Específico en Procesamiento (derecha), diferenciada por máquina y operador.

En relación con las maquinarias durante la actividad de procesamiento (Tabla 2), la máquina H1 mostró un incremento del 27 % en RHP (20,15 vs 15,91 m³ h⁻¹, respectivamente) y una reducción del 30 % en CEP respecto a H2 (0,81 vs 1,15 l m⁻³, respectivamente). Estos comportamientos se podrían relacionar tanto a las diferencias de los operadores en las maquinarias como al estado de los componentes y el mantenimiento realizado puesto que contaban con similares horas de uso (Luis *et al.*, 2022). Los resultados encontrados en relación con el consumo de combustible discrepan de Kärhä *et al.* (2023) quienes mencionan que el CEP depende principalmente de la potencia del motor de la maquinaria. Por lo tanto, los datos recopilados en este trabajo evidenciarían que los valores de consumo de combustible estarían fuertemente condicionados por el efecto de los operadores y el estado de los componentes de las máquinas.

Tabla 2. Rendimiento Horario en Procesamiento (RHP), Rendimiento Horario en Jornada (RHJ), Consumo Específico en Procesamiento (CEP) y Consumo Específico en Jornada (CEJ) según Máquina. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre máquinas para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	Rendimiento Horario	Consumo Específico
	RHP (m ³ h ⁻¹)	CEP (l m ⁻³)
H1	20,15 b	0,81 a
H2	15,91 a	1,15 b

Análisis en la jornada laboral

Los resultados relacionados con el rendimiento de producción durante la jornada laboral mostraron valores menores respecto a los valores reportados durante la actividad de procesamiento. Estos resultados se debieron a la incorporación de los tiempos destinados a actividades complementarias y necesarias que no generan producción de madera y fueron coincidente con lo reportado por otros autores (Magagnotti *et al.*, 2017). Los principales resultados en relación con los operarios OP2 mostró valores de RHJ mayores en un 41 % respecto a OP1 y OP3 en H1 (20 vs 14 m³ h⁻¹, aproximadamente), sin diferencias en RHJ entre OP4 y OP5 en H2 (13,5 y 11,5 m³ h⁻¹, respectivamente). Estas variaciones son diferentes a las observadas en la actividad de procesamiento, evidenciando que las actividades realizadas durante la jornada laboral también afectan el rendimiento de cosecha. En este trabajo, se observó que OP2 tuvo mayores valores de RHJ respecto a OP1 en H1, a pesar de haber demostrado tener similares valores de RHP. Del mismo modo, no se observaron diferencias en RHJ entre operarios a pesar de que OP4 demostró tener valores de RHP mayores que OP1 en H2. Estos resultados demuestran

que es necesario evaluar tanto la destreza de los operarios como así su comportamiento durante la totalidad de la jornada laboral, en coincidencia con lo mencionado por Schewman *et al* (2021).

Los resultados relacionados con el consumo de combustible durante la jornada laboral mostraron valores mayores respecto a los valores reportados durante la actividad de procesamiento. Estos resultados, al igual que en rendimiento, se asociaron a la incorporación de los tiempos destinados a actividades complementarias que no generan producción de madera, y fueron coincidente con lo reportado por otros autores (Magagnotti *et al.*, 2017). En relación con el consumo específico de combustible durante la jornada laboral (Tabla 3, Figura 2) se evidenció que solamente OP1 mostró un incremento del 45 % de CEJ respecto a OP2 y OP3 en H1 (1,0 vs 0,7 l m⁻³, aproximadamente), siendo indiferente los valores de CEJ entre los operarios OP4 y OP5 en H2 (1,31 y 1,24 l m⁻³, respectivamente). A diferencia de lo ocurrido en el rendimiento, los patrones observados en CEJ fueron similares a los encontrados en CEP, demostrando que el procesamiento de la madera sería la principal actividad que determina el consumo de combustible durante el uso de harvester en la cosecha forestal.

Tabla 3. Rendimiento Horario en Jornada (RHJ) y Consumo Específico en Jornada (CEJ) según Máquina y Operador. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre operarios dentro de cada máquina para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	Operador	Rendimiento Horario RHJ (m ³ h ⁻¹)	Consumo Específico CEJ (l m ⁻³)
H1	OP1	12,35 A	1,10 B
	OP2	20,77 B	0,76 A
	OP3	15,29 A	0,76 A
H2	OP4	13,50 a	1,31 a
	OP5	11,51 a	1,24 a

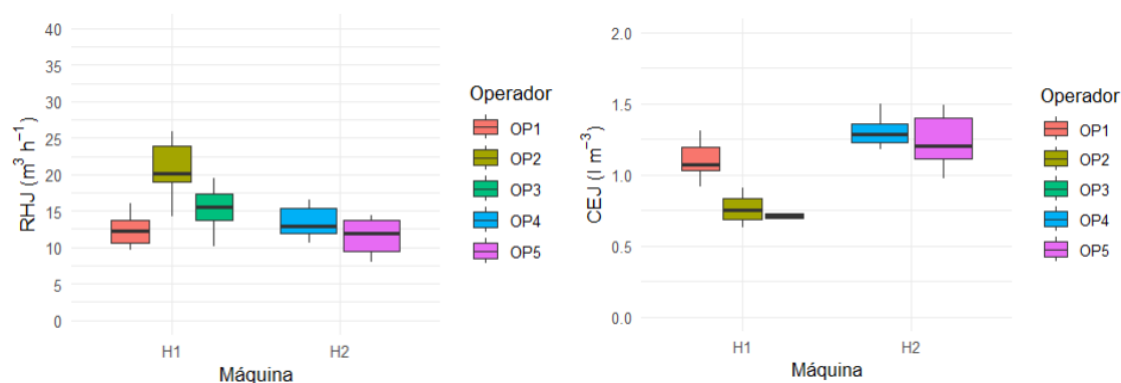


Figura 2. RHJ: Rendimiento Horario por Jornada (izquierda) y CEJ: Consumo Específico por Jornada (derecha), diferenciada por máquina y operador.

En relación con las maquinarias durante la jornada laboral (Tabla 4), la máquina H1 mostró un incremento del 29 % en RHJ (16,13 vs 12,51 m³ h⁻¹, respectivamente) y una reducción del 44 % en CEJ respecto a H2 (0,88 vs 1,27 l m⁻³, respectivamente). Los valores observados, tal como se ha mencionado precedentemente, variaron respecto a los datos obtenidos durante la actividad de procesamiento debido a la incorporación de información relacionada con actividades que no generan producción (Hildt, 2020). Sin embargo, se observó que los patrones de comportamiento en ambas variables fueron similares respecto al análisis realizado en el procesamiento,

demostrando que las actividades complementarias fueron relativamente similares entre ambos harvesters.

Tabla 4. Rendimiento Horario en Jornada (RHJ) y Consumo Específico en Jornada (CEJ) según Máquina. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre máquinas para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	Rendimiento Horario RHJ ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	Consumo Específico CEJ (l m^{-3})
H1	16,13 b	0,88 a
H2	12,51 a	1,27 b

Relaciones entre las variables analizadas

En términos generales, se podrían realizar asociaciones entre los valores entre rendimiento y consumo de combustible. Los principales resultados mostraron que el OP1 en H1 mostró valores bajos de RHP y RHJ, que se relacionaron con elevados valores de CEP y CEJ. Estos resultados demuestran que el RHP y RHJ podrían ser uno de los factores principales relacionados con la eficiencia del uso del combustible, puesto que OP1 ha utilizado la mayor parte del tiempo al procesamiento (Figura 3). Por otro lado, OP2 y OP3 mostraron iguales valores en RHP, pero OP2 mostró incrementos en el RHJ respecto a OP3. Estos resultados se asociarían a que OP2 destinó un mayor tiempo de la jornada laboral al procesamiento respecto a OP3 (74,8 % vs 61,7 %). Sin embargo, el mayor RHJ de OP2 no mostró una reducción de CEJ respecto a OP3. Estos resultados evidenciarían que el procesamiento es la principal actividad que demanda combustible, aunque podría haber habido un mayor consumo de combustible dada la necesidad de transporte dentro del rodal para realizar la cosecha de madera. En función de lo antes mencionado, Haavikko *et al* (2022) registró un incremento de consumo de combustible por m^3 en los primeros raleos dado el mayor transporte dentro del rodal. Sin embargo, se observaron valores de consumo mayores en nuestro trabajo respecto a lo mencionado por este autor que podría estar asociado al tipo de maquinaria utilizada. En relación con H2, OP4 mostró un mayor RHP que OP5, pero no mostró diferencias en RHJ como así tampoco en CEP y CEJ. Estos resultados podrían deberse, al igual que en H1, por la diferencia en la destreza para el uso de la maquinaria, puesto que ambos operadores destinaron el 70 % del tiempo al procesamiento (Figura 3). Sin embargo, estas diferencias no generaron cambios en el uso del combustible, tanto en CEP como en CEJ. En este marco, la capacitación de los operarios tendría beneficios en el incremento de los rendimientos de cosecha, pero debieran medirse los efectos sobre la eficiencia en el uso del combustible puesto que no podría modificarse (Strubergs *et al*, 2021; Strubergs *et al*, 2022). Según estos resultados, la eficiencia del uso de combustible podría ser muy variable entre máquinas y operarios, siendo relevante mediar dado que la cosecha forestal es uno de los principales costos en relación con la madera cosechada y puesta en industria (Spinelli *et al.*, 2018; Lundbäck *et al.*, 2021).

En relación con las máquinas, se observó que H1 mostró incrementos en RHP y en RHJ y disminuciones en CEP y CEJ. En relación con las actividades, H1 destinó un mayor tiempo al procesamiento respecto a H2 (73,8 % vs 68,3 %) que podría haber afectado el rendimiento y el uso del combustible (Figura 4). En relación con los componentes, se observó que H1 destinó un menor tiempo que H2 al mantenimiento (8,2 % vs 14,0 %). En relación con los operarios se observó que OP2 y OP3 en H1 mostraron mayores valores de RHP que OP1 en H1 y OP4 y OP5 en H2. En este sentido, se podría considerar 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). Por lo tanto, como lineamiento de gestión se podría sugerir que se realice una modificación en los operarios que utilizan las máquinas. El cambio del OP4 a H1 podría generar un incremento en RHP y en RHJ,

como así también una reducción en CEH y CEJ. 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, deberían considerarse atentamente 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).

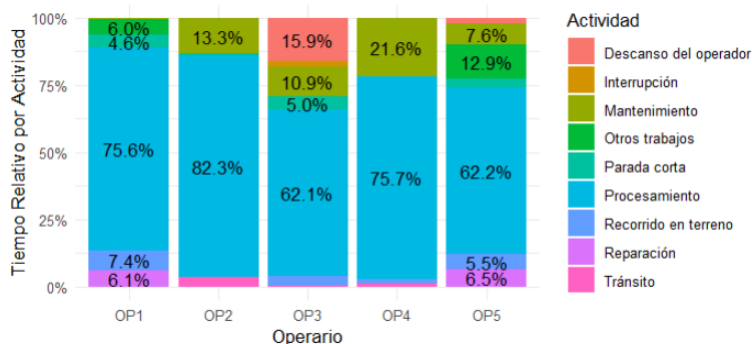


Figura 3. Distribución de los tiempos relativos en las diferentes actividades según operario.

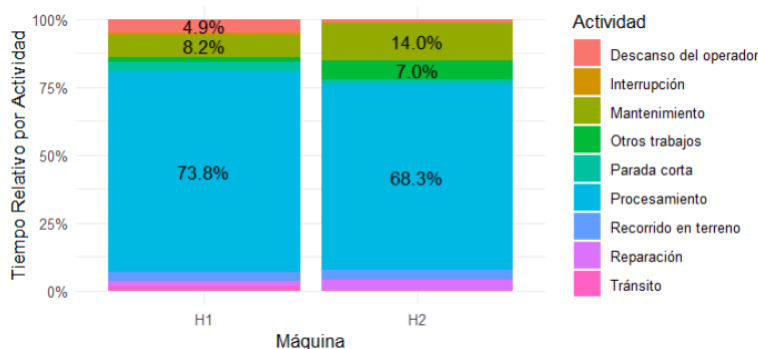


Figura 4. Distribución de los tiempos relativos en las diferentes actividades según máquina.

5. CONCLUSIONES

El rendimiento de cosecha de madera de operadores de maquinarias es variable según se analice la destreza durante el procesamiento o el rendimiento de cosecha durante la jornada laboral. Por lo tanto, deberán medirse ambos parámetros para determinar si podría incrementarse el rendimiento de cosecha por capacitación del personal y/o por la mejoría de la logística de la maquinaria y/o el mantenimiento de sus componentes. La variabilidad en la cosecha de madera según operarios en máquinas similares puede superar valores del 50 % en sistema CTL de Eucalyptus en Uruguay.

El incremento del rendimiento de los operarios durante la jornada laboral genera una disminución de los costos relacionados con el uso de combustible. Sin embargo, el incremento del rendimiento durante el procesamiento puede ser indiferente al consumo específico de combustible durante la jornada laboral. Por lo tanto, deben atenderse ambos parámetros para definir lineamientos que determinen la reducción de costos en el sistema de aprovechamiento. La

variabilidad del consumo de combustible en la cosecha de madera según operarios en máquinas similares puede alcanzar valores del 40 % en sistema CTL de Eucalyptus en Uruguay.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ames, D.; O. D. Dioses Guzmán; L. J. Moreno Rojas y G. E. Suarez Urbina. 2023. *Modelo prolab Yachay Wasi, centro de capacitación en manejo de maquinarias especializadas en minas subterráneas*. Tesis de Maestría. Universidad Católica de Perú. 156 p.
- Amiama Ares, C.; M. Dugo Patón; U. Diéguez Aranda y J. Bueno Lema. 2020. Evaluation of data captured by forest harvesters for the characterization of effective work capacities. *24th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcoi.
- Brunberg, T. y H. Lundström. 2013. *Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012 (Fuel consumption in forest machines in 2012)*. Arbetsrapport 789. [en línea]. [fecha de consulta: noviembre de 2024]. Disponible en: <https://www.skogforsk.se/>
- CERES. 2023. *La producción forestal en Uruguay. Un sector líder y sostenible*. Informe Especial. [en línea]. [fecha de consulta: agosto de 2024].
- Denegri, G.; F. Bernio; M. Sandoval y G. Acciaresi. 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. y O. Lindroos. 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.
- Haavikko, H.; K. Kärhä; A. Poikela; M. Korvenranta y T. Palander. 2022. Fuel Consumption, Greenhouse Gas Emissions, and Energy Efficiency of Wood-Harvesting Operations: A Case Study of Stora Enso in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering* 43:79-97. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2022.1101>
- Hildt, E. 2020. *Desarrollo de modelos de productividad para harvesters y forwarders en plantaciones de Pinus spp. del noreste argentino: efectos de la densidad del rodal, la intensidad de raleo y los productos elaborados*. Tesis doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA). 129 p.
- Kärhä, K.; H. Haavikko; H. Kääriäinen; T. Palander; L. Eliasson y K. Roininen. 2023. Fossil-fuel consumption and CO₂e emissions of cut-to-length industrial roundwood logging operations in Finland. *European Journal of Forest Research* 142:547-563.
- Karttunen, K. y J. Laitila. 2015. Forest management regime options for integrated small-diameter wood harvesting and supply chain from young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *International Journal of Forest Engineering* 26:124-138.
- Löwe, M.; R. Löwe; M. Jankovský; P. Natov y J. Dvořák. 2024. Over-and under-bark volume estimation of European larch timber produced by mechanised harvesting in Czechia. *Journal of Forest Science* 70(7):381-390.
- Lundbäck, M.; C. Häggström y T. Nordfjell. 2021. Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood. *International Journal of Forest Engineering* 32(3):202-215. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1906617>
- Louis, L. T.; A. R. Kizha; A. Daigneault; H. Han y A. Weiskittel. 2022. Factors Affecting Operational Cost and Productivity of Ground-Based Timber Harvesting Machines: a Meta-analysis. *Current Forestry Reports* 8:38-54. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00156-5>

- Magagnotti, N.; L. Pari y R. Spinelli. 2017. Use, Utilization, Productivity and Fuel Consumption of Purpose-Built and Excavator-Based Harvesters and Processors in Italy. *Forests* 8:485. <https://doi.org/10.3390/f8120485>
- Martinez Cantón, J.; D. Álvarez Lazo; F. Cándano Acosta; R. Fernández Concepción y A. Díaz Acosta. 2022. Análisis de los costos y evaluación financiera como herramienta para la toma de decisiones en el aprovechamiento forestal. *Revista CFORES* 10(2):215-229.
- Microsoft. 2024. *Microsoft Office 365*. Versión libre para cuentas educativas. [en línea]. [fecha de consulta: octubre de 2024]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/>
- Purfürst, F. T. y J. Erler. 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*. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. [en línea]. [fecha de consulta: agosto de 2024].
- Salem, A. 2018. *Automated Productivity Models for Earthmoving Operations*. Tesis doctoral. Concordia University. 248 p.
- Schwegman, K.; R. Spinelli; N. Magagnotti; M. Ramantswana y A. McEwan. 2021. Selecting successful harvester operators through aptitude tests and demographics. *Australian Forestry* 84(1):25–32. <https://doi.org/10.1080/00049158.2020.1837492>
- Skogforsk. 2024. *StanForD*. [en línea]. [fecha de consulta: octubre de 2024]. Disponible en: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>
- Spinelli, R.; A. C. A. Moura y P. M. Silva. 2018. Decreasing the diesel fuel consumption and CO₂ emissions of industrial in-field chipping operations. *Journal of Cleaner Production* 172:2174-2181.
- Strubergs, A.; A. Lazdins y S. Linards. 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.; A. Lazdins y A. Linards. 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. *Journal of Sustainable Forestry* 31:239–266.

