



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA FORESTAL

**COMPARACIÓN OPERATIVA DE LOS EQUIPOS HARVESTER ERGO Y
HARVESTER BEAVER PARA RALEO COMERCIAL EN PLANTACIONES DE
Pinus radiata D. DON. UBICADAS EN LA COMUNA DE CABRERO, REGIÓN
DEL BIOBÍO**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para otorgar al título profesional de Ingeniero Forestal

POR: Yessenia Andrea Sepúlveda Solar

Profesor Guía: Eduardo Javier Antonio Torres Sánchez

Agosto, 2024

Concepción, Chile

© 2024, Yessenia Andrea Sepúlveda Solar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

**COMPARACIÓN OPERATIVA DE LOS EQUIPOS HARVESTER ERGO Y
HARVESTER BEAVER PARA RALEO COMERCIAL EN PLANTACIONES DE
Pinus radiata D. DON. UBICADAS EN LA COMUNA DE CABRERO,
REGIÓN DEL BIOBÍO**



Profesor Guía

Eduardo Torres Sánchez

Profesor Asociado

Ingeniero Forestal



Profesor Guía

Rosa Alzamora Mallea

Profesor Asociado

Ingeniero Forestal, PhD

DEDICATORIA

*A mi familia, abuelitos (q. e. p. d.) y bisabuelitos (q. e. p. d.)
por apoyarme y ser la razón por la cual me supero cada día.*

AGRADECIMIENTOS

A Forestal Mininco S.A., por prestar las facilidades para poder llevar a cabo este trabajo y, por el apoyo y ánimo que brindaron las personas que trabajaron y compartieron conmigo.

Al Sr. Luis Anush, Sr. Alcides Vidal y Sr. Nicolás Buller, por acompañar, guiar y dar apoyo personal en este proceso.

A mis profesores guías, por aconsejar, orientar, apoyar y corregir esta tesis de grado, haciendo posible terminar con éxito.

A Taylor Swift y BTS, por acompañarme en las noches de trabajo.

A Pía, amiga y compañera tesista, quien me acompañó, animó y soportó mientras realizaba esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA.....	8
2.1. Área de estudio.....	8
2.1.1. Características de los fundos Tapihue y Colicheu.....	9
2.2. Sistema de cosecha para el raleo.....	10
2.3. Sistemas de maquinarias	13
2.4. Registro y análisis de datos	15
2.4.1. Para el rendimiento	17
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
3.1. Análisis exploratorio de la información de rendimiento y productividad ..	19
3.1.1. Medidas de tendencia central.....	19
3.1.2. Medidas de dispersión.....	21
3.1.3. Exploración de la dispersión de los datos	23
3.2. Índice de eficiencia	27
3.3. Modelo individual por maquinaria	30
3.3.1. Rendimiento ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	30
3.4. Modelo general considerando ambas maquinarias	35
3.4.1. Rendimiento ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	36
3.5. Mejoras para aumentar la productividad del sistema.....	37
IV. CONCLUSIONES	39
V. BIBLIOGRAFÍA	41
VI. ANEXO.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de los fundos Tapihue y Colicheu.....	9
Tabla 2. Medidas de tendencia central de las variables que explicarían el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) de ambas máquinas.	21
Tabla 3. Medidas de dispersión de las variables que explicarían el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) de ambas máquinas.....	23
Tabla 4. Medidas de tendencia central y de dispersión del índice de eficiencia para ambos modelos.	28
Tabla 5. Modelos de rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) ajustados para cada maquinaria.	29
Tabla 6. Variables seleccionadas en rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) para equipo Ergo....	32
Tabla 7. Variables seleccionadas en rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) para equipo Beaver.	33
Tabla 8. Prueba t de dos muestras no pareadas de ambas máquinas.....	35
Tabla 9. Variables seleccionadas en rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) para modelo general con ambas maquinarias.....	37

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa de ubicación de los fundos Tapihue y Colicheu ubicados en Cabrero, provincia del Biobío, Región del Biobío.....	9
Figura 2. Esquema de la secuencia técnica de Harvester mediante sistema de trabajo en hileras/filas.	12
Figura 3. Esquema de la secuencia técnica de Harvester mediante sistema de trabajo en calles.	12
Figura 4. Sistema de ordenación de las trozas. Ordenación de trozas al lado izquierdo del camino (A); Trozas pulpables desramadas (B).....	13
Figura 5. Harvester equipo Ergo. Fuente: PONSSE® (s.f.a).	14
Figura 6. Harvester equipo Beaver. Fuente: PONSSE® (s.f.b).	14
Figura 7. Exploración de datos de VMA (m^3) en ambos equipos.	24
Figura 8. Exploración de datos de pendiente (%) en ambos equipos.	25
Figura 9. Exploración de datos de tiempo perdido obvio (h) en ambos modelos.	25
Figura 10. Exploración de datos de árboles por hora (árb h^{-1}) en ambos equipos.	26
Figura 11. Exploración de datos de volumen por jornada ($m^3 \text{ jor}^{-1}$) en ambos equipos.	27
Figura 12. Relación entre índice de eficiencia y rendimiento ($m^3 h^{-1}$) en ambos equipos.	30

RESUMEN

Se analizó y determinó el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) de maquinarias Ponsse® para sistema *cut-to-length* en raleos de plantaciones de *Pinus radiata* pertenecientes a la empresa Forestal Mininco S.A. ubicadas en la Región del Biobío. Además, se evaluó la calidad de su operación para proponer mejoras que aumenten la productividad del sistema. Los principales resultados mostraron que, Harvester Ergo presentó un mayor rendimiento que Harvester Beaver, con un valor de 13,20 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ para el primer equipo y 12,50 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ para el segundo equipo. Además, se realizó selección de variables a través de regresiones múltiples donde las variables que más influyeron en esta condición de estudio fueron la pendiente (%), el tiempo perdido oculto (h) y el número de árboles (árb) de forma individual; y de forma general, el equipo, tiempo perdido oculto (h) y el número de árboles (árb), entregando para ambas situaciones modelos significativos al 5% y R^2 ajustados mayores a 50%.

Palabras claves: Harvester de ruedas, rendimiento, raleo mecanizado, *Pinus radiata*.

ABSTRACT

The performance ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) of Ponsse® machinery (Ergo Harvester and Beaver Harvester) used in the cut-to-length system for thinning plantations owned by Forestal Mininco S.A. in the Biobío Region was analyzed. The study also evaluated the operational quality to propose improvements aimed at increasing system productivity. The main results indicated that the Ergo Harvester had a higher yield compared to the Beaver Harvester, with a performance of $13.20 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ for the former and $12.50 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ for the latter. Additionally, variable selection through multiple regression revealed that the most influential factors were slope (%), hidden wasted time (h), and the number of trees (tree). Generally, hidden wasted time (h) and the number of trees (tree) were significant in both scenarios, with models showing a significance level of 5% and an adjusted R^2 value greater than 50%.

Keywords: Wheeled Harvester, performance, mechanized thinning, *Pinus radiata*.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales en Chile son el principal recurso renovable y comercial del país, con una superficie mayor a los 2,3 millones de hectáreas (Poblete et al., 2023). Se trata de bosques plantados coetáneos con una especie de rápido crecimiento, con espaciamiento regular, y manejados de forma intensiva (Prado, 2015). En el ámbito productivo, las plantaciones forestales representan uno de los mejores ejemplos de desarrollo sustentable debido a su carácter renovable y la optimización de la tierra, siendo su principal objetivo la producción de madera y otros productos de uso industrial (Palma, 2014; Prado, 2015) convirtiendo a *Pinus radiata* en una de las especies más cultivadas a nivel mundial, encontrándose en países como Chile, Nueva Zelandia, Portugal y España (Ferrere et al., 2015).

En Chile, estas plantaciones pertenecen en un 62% a grandes y medianas empresas, y el otro 38% restante a medianos y pequeños propietarios (Grosse & Rosselot, 2016). A nivel país, a diciembre del año 2020 se reporta un total de 2.309.563 hectáreas de plantaciones forestales, la cual un 54,8% corresponden a *P. radiata*, concentrándose en la Región del Biobío con un 50,0% del total regional (Poblete et al., 2023). Para el manejo de éstas, se han utilizado esquemas de manejos derivados de experiencias extranjeras, especialmente de Nueva Zelandia (Espinosa et al., 1994).

El esquema de manejo puede ir variando según la finalidad del rodal, puede ser para obtención de madera, estético, ambiental o combinaciones entre ellos, para esto, los silvicultores son los que se encargan de cambiar la condición y los patrones del desarrollo de los rodales forestales, manipulando y controlando los procesos naturales para obtener los objetivos en menos tiempo (Espinosa & García, 2017).

Las plantaciones han traído consigo mayores desarrollos y aplicaciones de las prácticas silviculturales (Espinosa et al., 1990), dentro de ellas se encuentra la silvicultura intensiva, el cual busca maximizar la producción de volumen y el valor de los productos a obtener, mejorando la calidad de la materia prima para poder entrar al mercado de la madera libre de nudos y madera pulpable a nivel nacional e internacional, esta silvicultura ha tenido gran influencia de Nueva Zelanda. Los tratamientos silvícolas de raleo y poda son característicos en este tipo de manejo (Espinosa & Muñoz, 2017; Ferrere et al., 2015).

El raleo o aclareo se entiende por la reducción gradual del número de árboles (regulación de la densidad) de un rodal para maximizar el crecimiento de los mejores individuos. Dentro del rodal se eliminan árboles bifurcados, inclinados, suprimidos, enfermos, entre otras características, viéndose reducida la competencia por luz, agua y nutrientes (Espinosa & Muñoz, 2017; Prado, 2015). En el rodal raleado, si bien menos árboles se mantienen para la cosecha, como

resultado se obtendrán diámetros más grandes y de mayor valor para la producción de madera aserrable o estructural (Espinosa & Muñoz, 2017). Cuando no hay raleo se presentan rodales con heterogeneidad de diámetro, baja presencia de luz que llega al suelo y ausencia de sotobosque.

Según el aprovechamiento de los árboles que se van a ralear se puede clasificar en raleo precomercial (o a desecho) y raleo comercial, en este último se aprovecha la madera para generar ingresos, ya que lo obtenido puede ser comercializado debido a las dimensiones que tienen y que son demandadas por la industria (Espinosa & Muñoz, 2017; Ferrere et al., 2015; Sotomayor et al., 2002). La magnitud de respuesta del rodal al raleo se determinará por la intensidad del mismo, el momento en el que se aplica y la calidad del sitio (Ferrere et al., 2015). Los silvicultores discriminan cinco métodos de raleo: i) raleo por lo bajo, ii) raleo de copa, iii) raleo de dominantes, iv) raleo libre y v) raleo mecánico (Espinosa & Muñoz, 2017).

El raleo comercial es una faena silvícola-productiva que ha ido desarrollándose en el país hasta su implementación paulatina como una práctica rutinaria en el manejo de las plantaciones de pino radiata (Espinosa et al., 1990). Este tipo de raleo se realiza en etapas intermedias y, dependiendo del esquema de manejo a utilizar pueden ejecutar dos o un raleo de este tipo, este logra incrementar el valor futuro del bosque, consiguiendo productos con poda de mayor valor monetario

de venta (Palma, 2014; Sotomayor et al., 2002). Esta práctica, principalmente realizada por las dos empresas más grandes de Chile, obtienen como resultado materia prima para plantas de celulosa, constituyendo así un modelo verticalmente integrado.

A nivel mundial, el sector forestal ha ido evolucionando conforme al desarrollo tecnológico, incorporando maquinarias de alta complejidad en la tala final y raleo, implicando altas inversiones y costos fijos vinculados al capital inmovilizado (Hildt, 2020). La mecanización de los raleos comerciales se ha visto intensificada en vista al incremento en los costos y la disminución de la mano de obra, además de la búsqueda de trabajos más eficientes, seguros y de menor costo. También, los sistemas mecanizados permiten trabajar jornadas largas en su mayoría independientes a las condiciones climáticas, para esto lo más idóneo es utilizar maquinaria de dimensiones pequeñas para mayor movilidad dentro del bosque y un menor impacto al suelo (Bramucci & Seixas, 2002; Espinosa & Muñoz, 2017).

A comienzos de los años 90, en Chile se inició el proceso de la mecanización forestal, incorporando maquinarias como la cosechadora Harvester en los procesos productivos con el objetivo de incrementar la productividad en el volteo, desrame y trozado de madera (Palma, 2014; Parra & Carey, 2000). El raleo mecanizado con Harvester y el tractor forestal Forwarder como máquina de madereo, no han sido muy utilizados en Chile, debido a sus altas inversiones y

la baja productividad de la cosechadora en pendientes mayores a 30%, además, estos pueden causar daños en la copa, fuste y raíces de los árboles remanentes perjudicando el crecimiento y la calidad de la madera (Espinosa & Muñoz, 2017; Palma, 2014), aunque la correcta ejecución de esta práctica garantiza el desarrollo y la calidad de los árboles residuales, posibilitando la obtención de productos de alto valor, es por esto que surge la necesidad de maximizar y mejorar la productividad de estos equipos con el objetivo de obtener una reducción en los costos de producción (Mac Donagh et al., 2005; Parra & Carey, 2000).

La incorporación tecnológica a estas operaciones permite el incremento de la productividad de los recursos participantes, resultando en alternativas de producción más efectivas. Según los autores Mac Donagh, Hildt, et al. (2013) y Riqueza et al. (2018) aún se siguen presentando interrogantes en esta operación debido al espacio reducido que se presentan en algunas plantaciones, por lo que uno de ellos plantea que se debe seguir un desarrollo constante de mejoras de los rendimientos de las máquinas y reducción de costos de producción para un mayor aumento en los márgenes de ganancias.

El Harvester se ha utilizado en el raleo como máquina de corte para condiciones que requieren una adquisición precisa del producto, alta productividad y poco daño a la masa remanente, aunque estos equipos pueden tolerar terrenos

escarpados, su potencial de producción se reducirá cuando la pendiente supere el 30%, por otro lado, a mayor espaciamiento entre los árboles en un rodal afectará positivamente a la productividad de la operación (Mac Donagh, Hildt, et al., 2013).

De acuerdo con Parra y Carey (2000) y, Bramucci y Seixas (2002), las variables que mejor explican la productividad del Harvester son principalmente el volumen medio por árbol “VMA” (m^3), seguido del diámetro a la altura del pecho “DAP” (cm), altura media (m) y volumen por hectárea ($m^3 \text{ ha}^{-1}$), además de la experiencia de los operadores, condiciones topográficas, densidad (árb ha^{-1}), entre otros. Y según los autores Martins et al. (2009), Silva et al. (2010) y Mac Donagh, Hildt, et al. (2013), el principal factor que afecta a la productividad del Harvester es el volumen individual por árbol (m^3).

Riqueza et al. (2018) analizó la productividad de dos Harvester de oruga en las operaciones de tala rasa y segundo raleo de *Pinus* sp. en Argentina, de la cual en ambas situaciones se obtuvieron mayores productividades con el volumen medio por árbol (m^3). Por otro lado, Mac Donagh, Hildt, et al. (2013) analizó tres operaciones de un Harvester sobre ruedas en plantaciones de *Pinus* spp., correspondiendo a dos actividades de primer raleo: 4 líneas a la vez (R1-4L) y 7 líneas a la vez (R1-7L); y una de segundo raleo (R2). Para la situación R1-4L obtuvo una productividad media de $14,20 \text{ m}^3 \text{ h ef}^{-1}$; en R1-7L $12,15 \text{ m}^3 \text{ h ef}^{-1}$ y

para la última situación correspondiente a R2, obtuvo $30,81 \text{ m}^3 \text{ h ef}^{-1}$, siendo esta última la situación que mayor productividad media obtuvo, llegando a la conclusión de que el DAP (cm) y el volumen individual de los árboles (m^3) son las variables que mejor estiman la productividad del equipo.

Respecto al análisis por medio de ajuste de modelos, Mac Donagh, Mulawka, et al. (2013) encontró que los más idóneos son los modelos de regresión cuadráticos para escenarios reales, siendo la variable más importante el volumen individual del árbol (m^3).

En términos de costos, el raleo y el transporte suponen en el costo final hasta el 50%, por lo que cualquier reducción en estas actividades es vital para aumentar la competitividad entre las empresas forestales ya sea, en el mercado interno como externo (Bramucci & Seixas, 2002).

El objetivo principal de este estudio es analizar y determinar el rendimiento de maquinarias Ponsse® para sistema *cut-to-length* en raleos de plantaciones de *Pinus radiata* pertenecientes a la empresa Forestal Mininco S.A. ubicadas en la Región del Biobío. Y como objetivo secundario evaluar la calidad de este para proponer mejoras que aumenten la productividad del sistema.

II. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en los fundos Tapihue y Colicheu ubicados en Cabrero, provincia del Biobío, Región del Biobío (Figura 1), perteneciente a la empresa Forestal Mininco S.A. en plantaciones forestales de *P. radiata* establecidas en sitios de topografía plana, donde se consideraron pendientes que van desde 1 hasta un 30%.

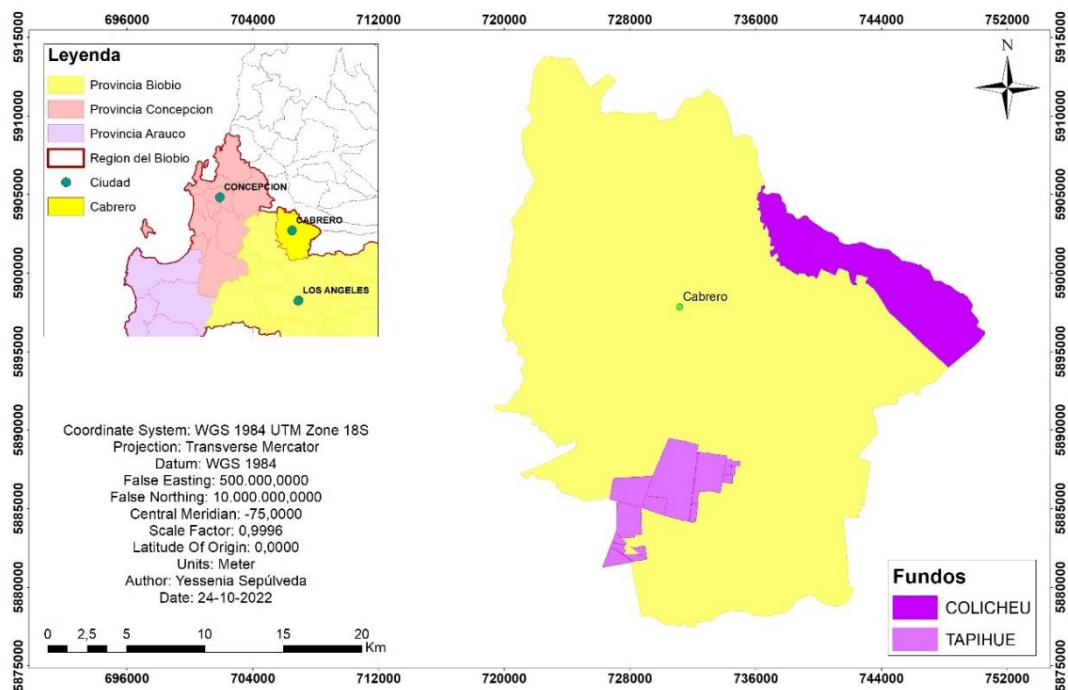


Figura 1. Mapa de ubicación de los fundos Tapihue y Colicheu ubicados en Cabrero, provincia del Biobío, Región del Biobío.

2.1.1. Características de los fundos Tapihue y Colicheu

Se trabajó con datos de seis rodales en Tapihue y seis rodales en Colicheu (Tabla 1). En cuanto a la zona de productividad, la empresa trabajó los fundos con zonas de producción -clasificados por ellos- desde 1 a 6, siendo “zona 1” la mejor y “zona 6” la peor; para saber a qué zona de producción corresponde el sitio, utilizaron principalmente datos edafoclimáticos y su zona geográfica.

Tabla 1. Características generales de los fundos Tapihue y Colicheu.

Características	Tapihue	Colicheu
Superficie total (ha)	749,48	593,73
Especie	<i>Pinus radiata</i>	<i>Pinus radiata</i>
Topografía	Plana	Plana
Rango pendiente (%)	9 – 29	9 – 20
Suelos	Arenales	Arenales
	Arenas húmedas	Arenas húmedas
Zona de productividad	Zona 3	Zona 3
	Zona 4	Zona 5
	Zona 5	
Sotobosque	Poca presencia	Poca presencia

En cuanto a la situación de trabajo, para la maquinaria Harvester Ergo con cabezal H-7 se trabajó con valores de VMA entre 0,11 a 0,29 m³; y para Harvester Beaver con cabezal H-6 con valores de VMA de 0,12 a 0,21 m³.

2.2. Sistema de cosecha para el raleo

Se realizó raleo comercial mecanizado con sistema *cut-to-length*, este método utilizó dos tipos de maquinarias, Harvester para volteo, desrame y trozado de la madera; y Forwarder para el madereo de las trozas, para este estudio se enfocó solo en la primera maquinaria. Esta faena comprendió terrenos que van hasta un 30% de pendiente -denominado sector plano- con el objetivo de obtener madera pulpable.

En cuanto al personal, se trabajó con la empresa de servicio forestal Semaco, para su funcionamiento participaron principalmente tres operadores de maquinarias, dos encargados de operar Harvester y otro encargado de operar Forwarder, además se contó con dos jefes de faena y un ingeniero a cargo. Los operadores estaban capacitados para usar estas maquinarias. El sistema de trabajo fue de doble turno, en el cual trabajaron todos los días del mes con jornada 5×5, donde trabajaban cinco días por once horas -incluye descansos y colaciones- y descansaban los otros cinco días.

En la operación, los operadores de Harvester ralearon árboles sin marcación - árboles no destinados para cosecha- y su sistema de trabajo correspondió a metas diarias de metros cúbicos (m³) a extraer. Todos los rodales contaban con al menos la primera poda.

El sistema de trabajo del Harvester correspondió a hileras/filas (Figura 2) de ancho aproximado 3,20 metros (m), o dependiendo del espaciamiento de los árboles correspondió a calles (Figura 3); este con su brazo lateral y alcance máximo seguro de 8 metros realizó el desrame, volteo y trozado de los árboles a rlear. Las trozas se dejaron de forma ordenada en la orilla del lado izquierdo del camino mientras se cortaban.

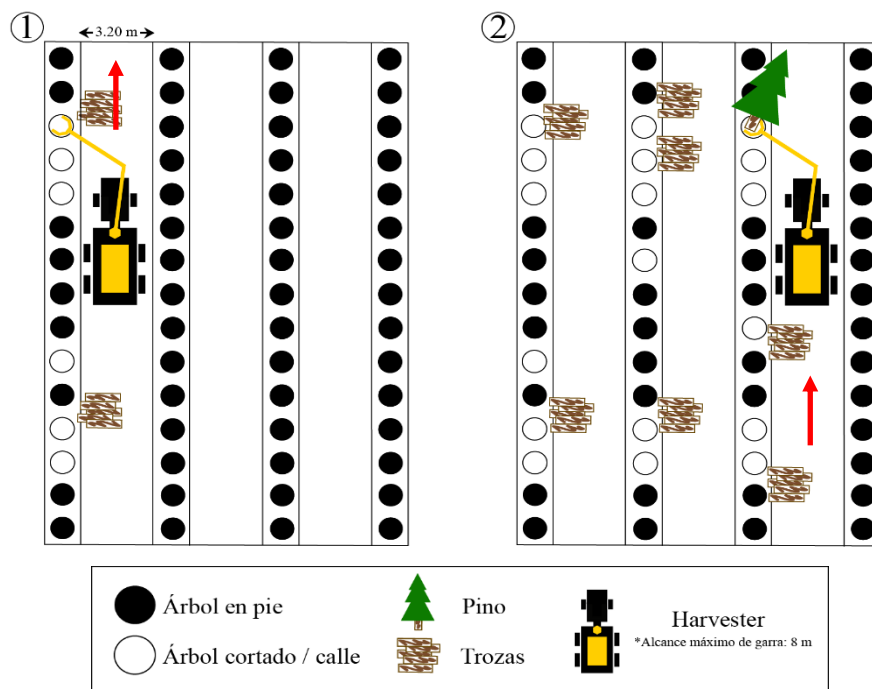


Figura 2. Esquema de la secuencia técnica de Harvester mediante sistema de trabajo en hileras/filas.

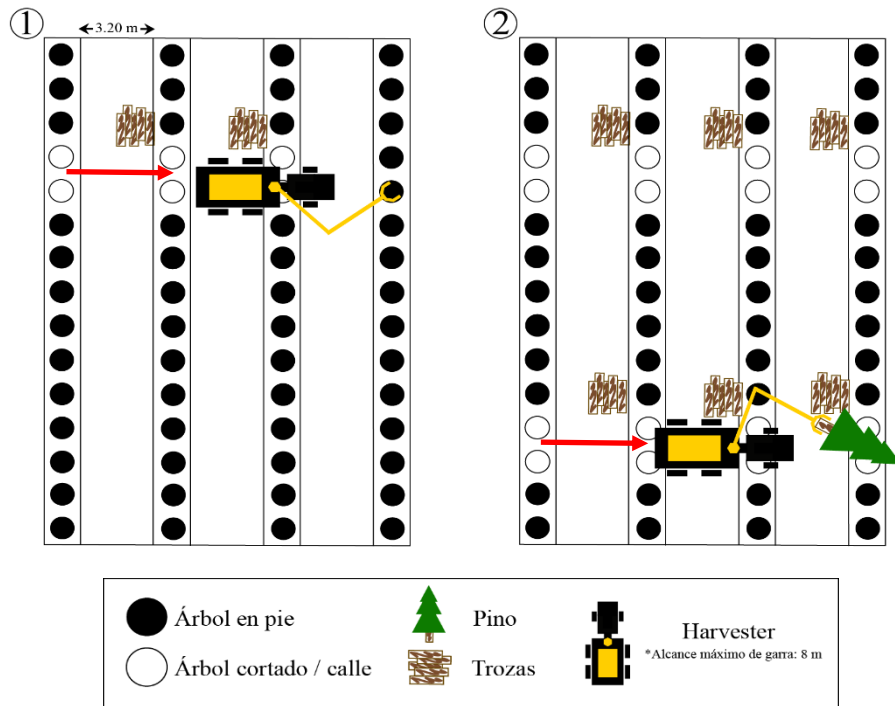


Figura 3. Esquema de la secuencia técnica de Harvester mediante sistema de trabajo en calles.

Se trabajó con un solo producto correspondiente a pulpable con largo de troza de 2,44 m y diámetro mínimo de 8 centímetros (cm) y máximo de 45 cm (Figura 4).



Figura 4. Sistema de ordenación de las trozas. Ordenación de trozas al lado izquierdo del camino (A); Trozas pulpables desramadas (B).

2.3. Sistemas de maquinarias

Para este estudio se utilizaron 2 Harvester de marca Ponsse® (Tabla A.1), donde cada máquina fue operada por una persona. Se trabajó con un Harvester equipo Ergo (Figura 5) de ancho de 2,75 m y capacidad de 0,7 metros cúbicos por árbol ($\text{m}^3 \text{árb}^{-1}$) y un Harvester equipo Beaver (Figura 6) de ancho de 2,75 m, y capacidad de $0,5 \text{ m}^3 \text{árb}^{-1}$.



Figura 5. Harvester equipo Ergo. Fuente: PONSSE® (s.f.a).



Figura 6. Harvester equipo Beaver. Fuente: PONSSE® (s.f.b).

2.4. Registro y análisis de datos

Se trabajaron con datos históricos de los años 2020, 2021 y 2022, siendo en este último, datos capturados solo desde enero a octubre. En el registro de datos no se interfirió en la operación y se capturaron de forma diaria por los operadores de los equipos a través del sistema computacional de la máquina y planillas proporcionadas por la empresa Forestal Mininco S.A. (Tabla A.2) (CMPC, 2022).

Se recolectó información de las horas de operación (h:min) con el horómetro incorporado en las máquinas, registrando su estado inicial y final; horas de trabajo (h), número de árboles (árb), velocidad de producción de tabla (árb h⁻¹), velocidad de producción real (árb h⁻¹) (1) e índice de eficiencia (2), estos últimos dos datos son calculados automáticamente por el sistema de Forestal Mininco S.A. También, se registró el tiempo perdido obvio (h) y el tiempo perdido oculto (h) (3) con sus respectivas causas (Tabla A.3).

Velocidad de producción real

$$VPR = \frac{N \text{ árb}}{Ho} \quad (1)$$

Donde:

VPR , velocidad de producción real (árb h⁻¹).

$N \text{ árb}$, número de árboles (árb).

Ho , horas de operación (h).

Índice de eficiencia

$$IdeE = \frac{VPR}{VPT} \quad (2)$$

Donde:

$IdeE$, índice de eficiencia.

VPR , velocidad de producción real (árb h⁻¹).

Vpt , velocidad de producción tabla (árb h⁻¹).

Tiempo perdido oculto

$$TOC = [(1 - IdeE) \cdot Ho] - TOB \quad (3)$$

Donde:

TOC , tiempo perdido oculto (h).

IdeE, índice de eficiencia.

Ho, horas de operación (h).

TOB, tiempo perdido obvio (h).

Además, se registraron los datos de las condiciones de operación del sitio, capturando el volumen medio por árbol (m³), densidad del bosque (árb ha⁻¹), pendiente (%) y sotobosque.

2.4.1. Para el rendimiento

Para el cálculo de rendimiento, se trabajó con la metodología empleada por los autores Mac Donagh, Hildt, et al. (2013) y Silva et al. (2010) procedimiento el cual estiman rendimiento mediante el volumen promedio por árbol. Este se determinó con la siguiente expresión (4):

$$PEF = \frac{VT}{TAE} \quad (4)$$

Donde:

PEF, productividad por hora efectiva de trabajo (m³ h⁻¹).

VT, volumen total cosechado por jornada (m³).

TAE , tiempo total efectivo de trabajo (h).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis exploratorio de la información de rendimiento y productividad

Se realizó un análisis estadístico descriptivo para explorar las características de las muestras de ambos equipos. Obteniendo los resultados entregados a continuación en los siguientes subcapítulos.

3.1.1. Medidas de tendencia central

Según los resultados presentados en la Tabla 2, ambos equipos trabajaron con un volumen medio por árbol “VMA” (m^3) y pendientes (%) con medias similares, siendo estas de 0,17 m^3 y 13% de pendiente para Ergo y 0,15 m^3 y 12% de pendiente para Beaver. En cuanto a modas, Ergo trabajó con una mayor cantidad de árboles con VMA de 0,13 m^3 y Beaver con un VMA de 0,12 m^3 ; en ambos equipos se trabajó en mayor cantidad con pendientes de 15%.

Para la variable de tiempo perdido oculto “TOC” (h) en ambos equipos se presenta una moda de 0 lo que significa que, en la mayoría de los casos, no presentaron situaciones de atrasos ocultos mientras trabajaban. Por otro lado, para sus medias presentaron valores de 1,56 h para Ergo y 1,53 h para Beaver

correspondiendo a situaciones que no se pueden cuantificar, como experiencia del operador, distracciones, esperas de visitas, entre otros. En cambio, para la variable de tiempo perdido obvio "TOB" se presenta en ambos equipos una moda de 1 h, y medias cercanas entre sí, siendo estas de 2,29 h y 2,89 h respectivamente; este tiempo correspondió a situaciones como a pausas activas, cambios de turno, medición de trozas, fallas del equipo, mantención del equipo, entre otros. Para las horas trabajadas, se tiene una moda de 10 h en Ergo y Beaver, y un promedio de 8,7 h y 8,13 h respectivamente.

Como primera observación, el equipo Ergo presenta mejores valores a comparación del equipo Beaver en temas de tiempos.

Por otra parte, en árboles por hora (árb h^{-1}), con ambos equipos se tiene una moda de 0 árb h^{-1} , este se debe a que la máquina presentó algún tipo de falla no pudiendo llevar a cabo el volteo, sin embargo, el otro dato que les sigue es de 69 árb h^{-1} para Ergo y 66 árb h^{-1} para Beaver. En cuanto a la media y mediana, por hora voltean una cantidad de árboles similares.

Finalmente, para el volumen por jornada ($\text{m}^3 \text{jor}^{-1}$), Beaver presenta un promedio menor con 101,29 $\text{m}^3 \text{jor}^{-1}$ a comparación de Ergo que tiene una media de 114,76

$\text{m}^3 \text{ jor}^{-1}$. En cuanto a modas, Ergo tiene mayor registro de datos con volumen de $101,4 \text{ m}^3 \text{ jor}^{-1}$ y Beaver con datos de $0,14 \text{ m}^3 \text{ jor}^{-1}$. Por lo que se infiere que, Ergo presenta menos falla de equipo o inconvenientes que Beaver, trabajando con menos interrupciones y de forma más continua.

Tabla 2. Medidas de tendencia central de las variables que explicarían el rendimiento ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$) de ambas máquinas.

Variables	Unidad	Ergo			Beaver		
		Moda	Mediana	Media	Moda	Mediana	Media
Volumen medio por árbol (VMA)	m^3	0,13	0,15	0,17	0,12	0,14	0,15
Pendiente	%	0,15	0,15	0,13	0,15	0,12	0,12
TOC	h	0,00	1,26	1,56	0,00	9,00	1,53
TOB	h	1,00	1,00	2,29	1,00	2,00	2,89
Horas trabajadas	h	10,00	10,00	8,70	10,00	0,74	8,13
Árboles por hora	árb h^{-1}	0 – 69	76	77	0 – 66	78	78
Volumen por jornada	$\text{m}^3 \text{ jor}^{-1}$	101,40	112,32	114,76	0,14	94,91	101,29

3.1.2. Medidas de dispersión

Se obtuvieron los siguientes resultados para las medidas de dispersión (Tabla 3), donde las variables de VMA (m^3), pendiente (%), TOC (h) y TOB (h) mostraron una desviación estándar (SD) muy cercana a su media correspondiente (Tabla 2).

En el caso de VMA (m^3) los valores se encuentran en un intervalo de $\pm 0,06 \text{ m}^3$ para Ergo y $\pm 0,03 \text{ m}^3$ para Beaver, lo que significa que presentan una menor variabilidad comparado a otras variables, y en cuanto a rangos, Ergo presenta una amplitud de $0,29 \text{ m}^3$ y Beaver de $0,09 \text{ m}^3$, donde el primer equipo mencionado tiene una mayor amplitud de datos que el segundo equipo, aun así, ambos presentan características de árboles similares.

Al igual que la variable previamente mencionada, la pendiente (%) presenta el mismo caso anterior con los dos equipos, donde ambos presentan desviaciones más cercanas a sus medias y amplitudes distintas, esto debido a que Beaver trabajó en menos variabilidad de pendiente, con un mínimo de 12% y máximo de 21%, presentando una condición de sitio más homogénea que el sitio trabajado con Ergo.

Por otro lado, con TOC (h), TOB (h) y horas trabajadas (h) se muestra más variabilidad de datos, donde en TOC Ergo tiene desviación de 1,67 h con rango de 11 h y Beaver de 1,70 h con un rango de 5,82 h. Por otro lado, las variables de TOB y horas trabajadas, presentan la misma amplitud de datos en ambos equipos, pero distintas desviaciones estándar.

Para la variable de árboles por hora (árb h^{-1}) y volumen por jornada ($\text{m}^3 \text{ jor}^{-1}$), en Ergo se tiene una desviación aproximada de 23 árb h^{-1} y de $50,40 \text{ m}^3 \text{ jor}^{-1}$, en

cambio Beaver presenta desviaciones más altas que el primer modelo, con valores de 27,51 árb h^{-1} y 53,63 $\text{m}^3 \text{jor}^{-1}$. Para los rangos, Ergo presenta en ambas variables valores más altos en comparación a Beaver, lo que significa que el equipo Ergo tiene mayor distribución de datos a lo largo del intervalo, teniendo este una mayor variabilidad números.

Tabla 3. Medidas de dispersión de las variables que explicarían el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) de ambas máquinas.

Variables	Unidad	Ergo				Beaver			
		SD	Mínimo	Máximo	Rango	SD	Mínimo	Máximo	Rango
Volumen medio por árbol (VMA)	m^3	0,06	0	0,29	0,29	0,03	0,12	0,21	0,09
Pendiente	%	0,04	0	0,29	0,29	0,03	0,09	0,16	0,07
TOC	h	1,67	0	11	11	1,70	0	5,82	5,82
TOB	h	2,42	0	11	11	2,84	0	11	11
Horas trabajadas	h	2,44	0	11	11	2,70	0	11	11
Árboles por hora	árb h^{-1}	23,29	0	161	161	27,51	0	128	128
Volumen por jornada	$\text{m}^3 \text{jor}^{-1}$	50,40	0	311,46	311,46	53,63	0,12	252,21	252,09

• SD: Desviación estándar.

3.1.3. Exploración de la dispersión de los datos

Se realizó exploración de datos mediante gráficos de dispersión de las variables mencionadas en literatura, para ver la tendencia de los datos.

Se observó en ambos equipos, que el VMA (m^3) (Figura 7) y la pendiente (%) (Figura 8) no presentan gran variabilidad de datos, pero sí contienen una variedad de valores y constantes. En ambos casos, el equipo Ergo presenta mayor variabilidad de valores que el equipo Beaver.

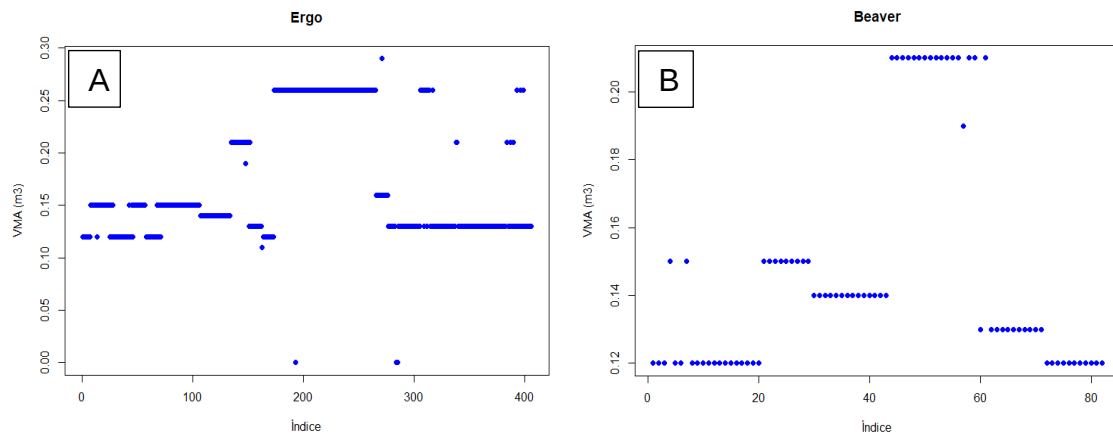


Figura 7. Exploración de datos de VMA (m^3) en ambos equipos.

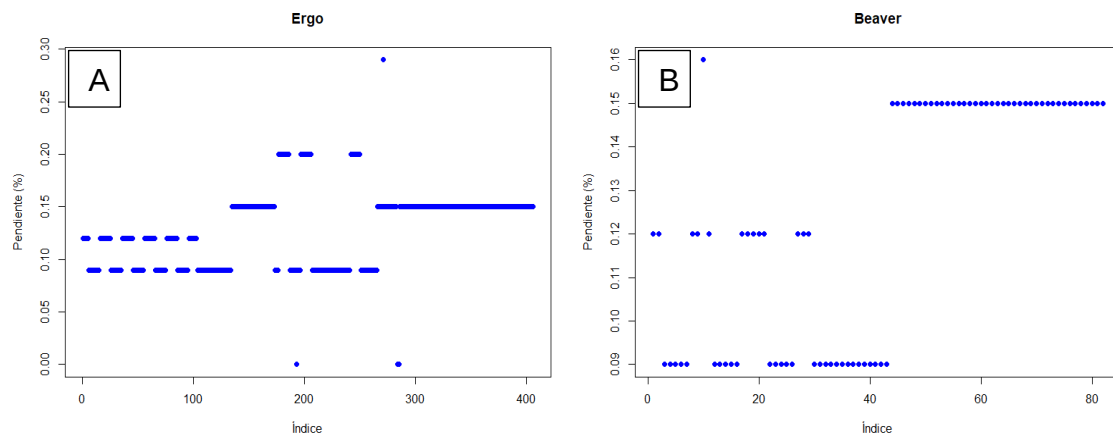


Figura 8. Exploración de datos de pendiente (%) en ambos equipos.

En cambio, las variables de TOB (h) (Figura 9), número de árboles por hora (árb h⁻¹) (Figura 10) y volumen por jornada (m³ jor⁻¹) (Figura 11), presentan visualmente gran fluctuación de datos.

Por un lado, se observa en TOB (h) una gran variabilidad de valores para ambos equipos, pero en mayor cantidad en Ergo. También ambos muestran una tendencia a la baja, observando una correlación negativa.

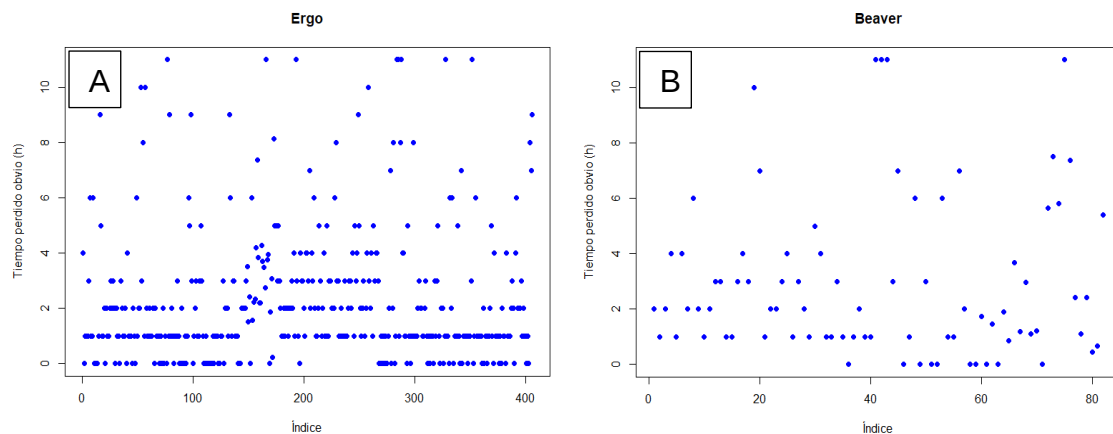


Figura 9. Exploración de datos de tiempo perdido obvio (h) en ambos modelos.

Para las dos últimas variables (Figura 10) (Figura 11), se observa que en ambos equipos los datos se muestran dispersos, pero concentrados en cierto rango de valores. Ambos presentan una tendencia positiva, por lo que se infiere que al tener mayor volumen (m^3) o voltear mayor cantidad de árboles (árb) el rendimiento ($m^3 h^{-1}$) incrementará.

Mayormente, para estas últimas variables no se observan valores atípicos, manteniéndose agrupadas dentro de sus intervalos.

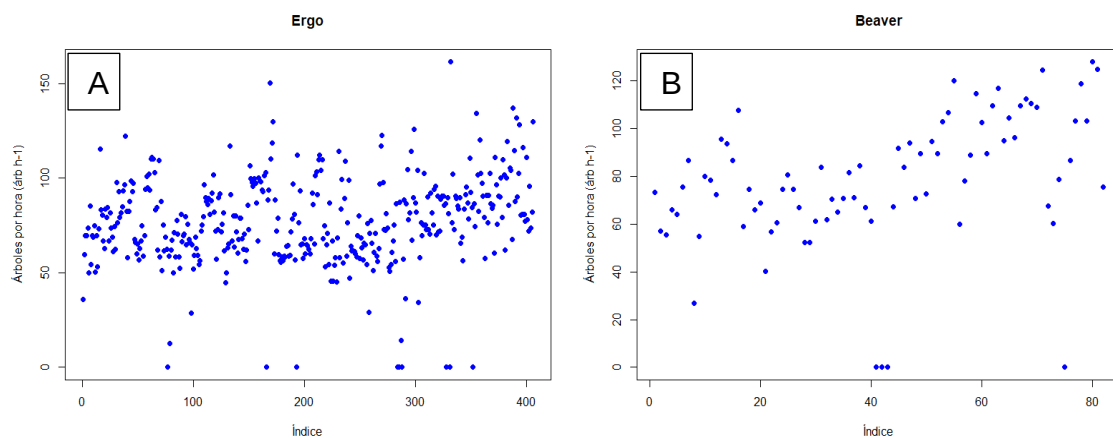


Figura 10. Exploración de datos de árboles por hora (árb h^{-1}) en ambos equipos.

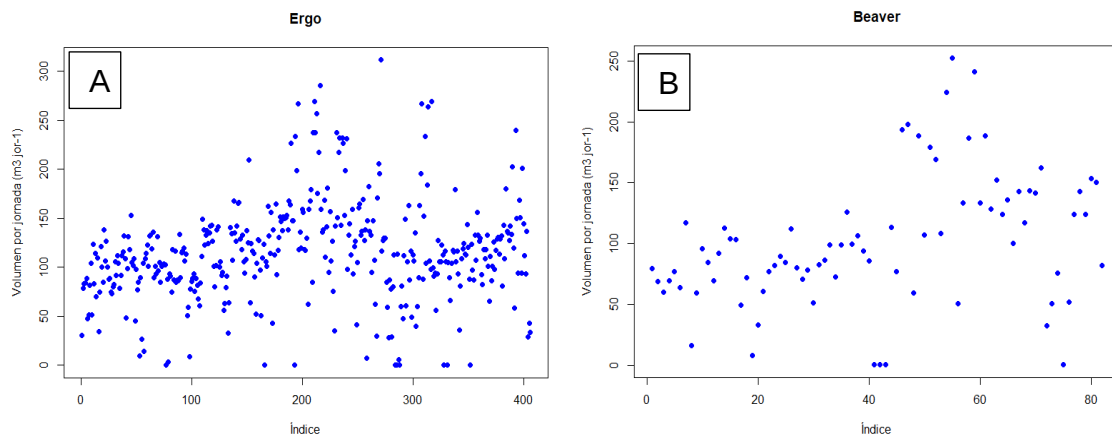


Figura 11. Exploración de datos de volumen por jornada ($\text{m}^3 \text{jor}^{-1}$) en ambos equipos.

En ambos equipos se observa que trabajaron en situaciones similares para comparar.

3.2. Índice de eficiencia

Este dato nos indica qué tan eficientemente están utilizando los recursos disponibles, en este caso los equipos Harvester, siendo calculado como el cociente de la división de las velocidades de producción de tabla y real, dando un valor adimensional. Este dato se encuentra relacionado con el VMA (m^3), número de árboles (árb) y las horas de operación (h).

Observando los resultados entregados en la Tabla 4, se visualiza de forma general que Ergo tiene mayor eficiencia que Beaver. En cuanto a medidas de

tendencia, en Ergo se observa que hay un índice promedio del 0,72, a diferencia de Beaver que muestra una media de 0,64, resultando más eficaz en este caso Ergo.

En cuanto a sus valores máximos, ambos llegan a superar el valor de 1, lo que significa que se utilizan de manera eficiente y por ende no hay gran cantidad de tiempos perdidos, en cambio con los mínimos, los valores cero se pueden interpretar como 0% de eficiencia, lo que se va relacionando a los tiempos perdidos debido a fallas del equipo, detenciones de faena por mal clima, incendios forestales, traslados hacia otros fundos, entre otros.

Tabla 4. Medidas de tendencia central y de dispersión del índice de eficiencia para ambos modelos.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL						
	Ergo			Beaver		
	Moda	Mediana	Media	Moda	Mediana	Media
Índice de eficiencia	0,87	0,70	0,72	0,00	0,60	0,64
MEDIDAS DE DISPERSIÓN						
	SD	Mínimo	Máximo	SD	Mínimo	Máximo
Índice de eficiencia	0,32	0,00	1,95	0,33	0,00	1,58

• SD: Desviación estándar.

Se realizaron dos tipos de regresiones para cada equipo, lineal y cuadrática (Tabla 5), para conocer su tendencia en la realidad. En el caso de Ergo, la

regresión que mejor ajuste presentó fue la cuadrática, a diferencia de Beaver que presentó un mejor ajuste con la regresión lineal. Si bien, para el equipo Ergo el tipo de modelo coincide con estudios realizados por Mac Donagh, Mulawka, et al. (2013), en el cual explica que este tipo de modelos cuadráticos son más similares a la realidad, debido a que en algún punto se presentará una limitación como lo es el diámetro del árbol o el tamaño del cabezal de la máquina, la situación del modelo para el equipo Beaver no coincide con los resultados de los estudios de dicho autor, esto se puede deber a que se volteó una menor cantidad de árboles por jornada sin mucha variabilidad de datos, revelando solo una parte o la parte inicial de su situación.

Tabla 5. Modelos de rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) ajustados para cada maquinaria.

REGRESIÓN LINEAL						
Índice de eficiencia	Ergo			Beaver		
	R² Ajustado	AIC	BIC	R² Ajustado	AIC	BIC
	0,7131	1974,13	1986,15	0,7904	375,75	382,97
	y = 13,694x + 3,0933			y = 13,641x + 2,9342		
REGRESIÓN CUADRÁTICA						
Índice de eficiencia	R² Ajustado	AIC	BIC	R² Ajustado	AIC	BIC
	0,7208	1964,05	1980,08	0,7883	377,51	387,13
	y = 2,589x² + 9,512x + 4,5054			y = -0,7722x² + 14,753x + 2,6237		

Visualmente, en ambos gráficos se observa una tendencia positiva entre el índice de eficiencia y el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) (Figura 12). Vale decir que, entre más

árboles volteen en sus horas de operación, más alto será su rendimiento, en cambio, si la máquina presenta fallas o problemas mientras voltea, este índice disminuye; igualmente puede influir la experiencia del operador, el tamaño del árbol, la pendiente, el cabezal del equipo, entre otros.

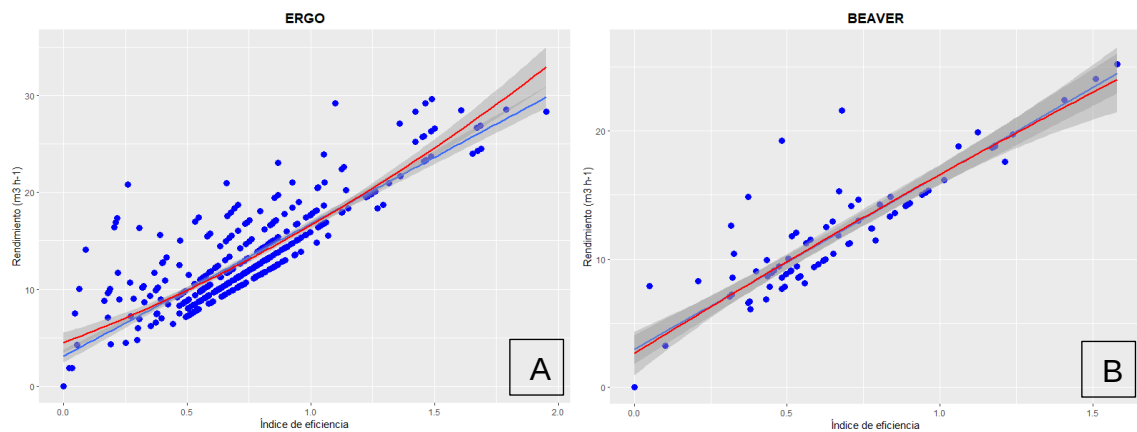


Figura 12. Relación entre índice de eficiencia y rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) en ambos equipos.

3.3. Modelo individual por maquinaria

3.3.1. Rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)

Se realizó una regresión con todas las variables para cada equipo, donde se seleccionó un modelo con las variables que mejor se ajustaban para la condición de estudio.

En la Tabla 6 se observan los resultados obtenidos de las variables seleccionadas mediante regresión múltiple para el equipo Ergo, donde las elegidas fueron pendiente (%), TOC (h) y número de árboles (árb). Estas tres variables independientes presentaron correlaciones significativas -correlación negativa para TOC y pendiente, y correlación positiva para el número de árboles- con la variable dependiente rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

En primer lugar, la variable pendiente (%), no resultó significativa para el modelo, pero sí el valor del coeficiente está acorde a su correlación, en este caso negativo. Aunque en el modelo se indique que no existe evidencia suficiente de que esta variable influya en el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), este sigue siendo importante desde un punto de vista teórico, ya que, los autores Parra y Carey (2000) explican que una de las limitaciones de estos equipos es la condición topográfica, debido a que si se trabaja en pendientes mayores a 30% su potencialidad puede verse reducida. Por lo que se infiere que el coeficiente estimado es correcto para esta condición de estudio, ya que este equipo trabaja con pendientes hasta el 29%, por lo que se puede interpretar que mientras mayor sea su pendiente, menor será su rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

Para la variable independiente de tiempo perdido oculto (TOC) (h), muestra un coeficiente negativo, concordando con la correlación respectiva a este equipo, siendo esta negativa, explicando que mientras más tiempo perdido oculto tenga

en la operación, su rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) irá disminuyendo. Además, esta variable presentó significancia, dado a que es menor a 0,05.

En cuanto a la otra variable independiente, correspondiente a número de árboles (árb), se observó una relación positiva, por lo que por cada unidad adicional de árbol cosechado (árb), aumentará 0,006 el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

Analizando el modelo en general, este resultó significativo al 5% y con un R^2 ajustado de 0,51, siendo el modelo mejor adaptado a la condición del sitio.

Tabla 6. Variables seleccionadas en rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) para equipo Ergo.

	Unidad	Estimación	Error estándar	Valor t	Valor p	
Intercepto		12.197323	0.832406	14.653	<2e-16	***
Pendiente	%	-5.492889	5.025071	-1.093	0.275	
TOC	h	-1.882353	0.107818	-17.459	<2e-16	***
Número de árboles	árb	0.006387	0.000688	9.284	<2e-16	***

Significancia: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Coefficiente de correlación múltiple: 0,7177

R^2 ajustado: 0,5115

Valor p: < 2,2e-16

Por otro lado, para el modelo ajustado al equipo Beaver, al igual que el anterior posee las mismas variables seleccionadas (Tabla 7), siendo nuevamente

pendiente (%), TOC (h) y el número de árboles (árb) las que mejor se ajustaron a la condición del estudio. En cuanto al modelo general, este posee una correlación positiva fuerte con un 0,78, un R^2 ajustado del 59,1% y significativo al 5%.

Distinto al caso anterior, la variable pendiente sí resultó significativa para este modelo, pero con un coeficiente positivo, esto se debe a que con esta máquina solo se trabajó con pendientes máximas de 16%, por lo que su rendimiento ($m^3 h^{-1}$) iría en aumento, debido a que el equipo aún no alcanza su porcentaje de pendiente limitante mencionado anteriormente.

Tabla 7. Variables seleccionadas en rendimiento ($m^3 h^{-1}$) para equipo Beaver.

	Unidad	Estimación	Error estándar	Valor t	Valor p	
Intercepto		1.929254	2.395630	0.805	0.4231	
Pendiente	%	36.125294	17.279697	2.091	0.0398	*
TOC	h	-0.653377	0.270180	-2.418	0.0179	*
Número de árboles	árb	0.009133	0.001241	7.362	1.6e-10	***

Significancia: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Coeficiente de correlación múltiple: 0,7786

R^2 ajustado: 0,5911

Valor p: 9.172e-16

En ambos casos, se observó un buen ajuste y significancia en los parámetros. Aunque estos resultados difieren con los estudios de Mac Donagh, Hildt, et al. (2013) y Bramucci y Seixas (2002), donde encuentran el volumen medio por árbol “VMA” (m^3) la variable principal más influyente en la determinación del rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$). Si bien, en estos modelos no apareció el VMA (m^3) -variable que también influye-, no significa que no sea importante de considerar.

También, se calculó el rendimiento medio ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) de ambos equipos teniendo como resultado, $13,20 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ para Ergo y $12,50 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ para Beaver, el cual se puede afirmar que el primer equipo presenta mejor rendimiento que el segundo. Estos valores son muy similares a los entregados por Mac Donagh, Hildt, et al. (2013), pero correspondientes para primer raleo de *Pinus* spp. en el noreste argentino, provincia de Misiones; aunque las condiciones de terreno en las que se evaluó y el VMA (m^3) de los árboles son muy similares entre sí, solo difieren en la edad de la plantación, siendo éstas de 4 a 5 años, por lo que se puede inferir que la calidad de sitio es mucho mejor que la de este estudio, debido a que en ambos predios se presentan zonas de productividad 5, correspondiente a suelos de no muy buena calidad.

3.4. Modelo general considerando ambas maquinarias

En primer lugar, se realizó una prueba de medias no pareadas con la variable de rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) para determinar si la media presenta diferencias estadísticas significativas.

Se observa en la Tabla 8 que el valor p es de 0,03705, demostrando que sí se puede observar una diferencia significativa entre ambos equipos. Esto se debe a las características del equipo como también al tipo de cabezal que éstas ocupan, ya que las condiciones de terreno como la pendiente (%) y el VMA (m^3) no variaron significativamente, por lo que se evidencia que estas características de las máquinas sí influyen en el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

Tabla 8. Prueba t de dos muestras no pareadas de ambas máquinas.

Prueba t de dos muestras no pareadas	
Estadístico t	2,1094
Grados de libertad	116,26
Valor p	0,03705
Intervalo de confianza	0,07958116 – 2,52634627

3.4.1. Rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)

Al igual que en los modelos individuales, se realizó una selección de variables para un modelo considerando ambas maquinarias, donde se observaron las variables independientes que mejor se ajustaron a la situación.

En la Tabla 9 se observan las variables independientes que mejor explican el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) de los dos equipos en conjunto, siendo para esta condición de estudio, la maquinaria, el tiempo perdido oculto “TOC” (h) y el número de árboles (árb), donde se indica que las tres variables por sí solas son significativas con valores $p < 0,05$. Este resultado difiere con la mayoría de los estudios de rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), como los mencionados anteriormente, donde el VMA es el principal factor en la influencia de esta variable dependiente.

En cuanto a la estimación de los coeficientes, para los positivos como el número de árboles (árb), indicó que, por cada unidad adicional de esta variable independiente, aumenta 0,007 en la variable de rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), en cambio, para los coeficientes negativos como el TOC (h), este indica que por cada unidad adicional de tiempo perdido oculto (h) decrece el rendimiento en $-1,7306 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$.

El modelo general para ambas maquinarias es significativo al 5 %, donde presentó un R^2 ajustado del 51,3 % y un coeficiente de correlación múltiple de

0,72, indicando que tienen una relación positiva. Este tipo de modelo es coincidente con los modelos obtenidos por Bramucci y Seixas (2002), donde en ambos casos se utilizaron modelos de regresión múltiple.

Tabla 9. Variables seleccionadas en rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) para modelo general con ambas maquinarias.

	Estimación	Error estándar	Valor t	Valor p	
Intercepto	12,2018384	0,7073058	17,251	< 2e-16	***
Equipo	-1,3128022	0,4333403	-3,029	0,00258	**
TOC (h)	-1,7306352	0,0976156	-17,729	< 2e-16	***
Número de árboles (árb)	0,0069249	0,0006065	11,418	< 2e-16	***

Significancia: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 . ' 0,1 ' ' 1

Coefficiente de correlación múltiple: 0,7183

R² ajustado: 0,5129

Valor p: 2,2e-16

3.5. Mejoras para aumentar la productividad del sistema

Se sugiere implementar una base de datos general, donde además de las variables que ya se están tomando, consideren cada cierto tiempo agregar valores como el diámetro a la altura del pecho “DAP” (cm), altura media (m) y volumen por hectárea ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), para identificar de mejor forma cuál es el factor que más influye en cada sitio, factores que recomiendan los autores como Parra

y Carey (2000) y Bramucci y Seixas (2002), y así poder realizar una selección adecuada del equipo a utilizar.

Además, se recomienda agregar la experiencia del operador, ya que según Nurminen et al. (2006) la habilidad de este influye en la rapidez de la operación, y así poder crear una base de datos que entregue mayor calidad de información.

IV. CONCLUSIONES

- El índice de eficiencia resulta ser un buen indicador para conocer si se están utilizando de forma eficiente los recursos utilizados, teniendo una relación directa con los tiempos perdidos.
- Tanto la prueba de medias como el modelo que consideró pendientes diferenciadas por maquinaria, apoyan la diferencia significativa en los rendimientos ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) obtenidos entre ambas maquinarias, Ergo y Beaver ($p < 0.05$).
- Las variables que más influyeron en ambos equipos y que estuvieron presentes en ambos modelos de regresión múltiple, fueron pendiente (%) TOC (h) y el número de árboles (árb), por lo que tener pendientes mayores o menores a 30%, una gran cantidad de horas perdidas o mayor cantidad de árboles cosechados influye de manera significativa en el decremento o incremento del rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).
- A pesar de haber trabajado en condiciones similares, si se encontró diferencia estadística entre ambos equipos, resultando Ergo la máquina con mejor rendimiento, quedando demostrado que las características de

los equipos, principalmente el cabezal sí influye en la variable dependiente de rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

- El equipo Ergo presentó un mejor rendimiento medio con $13,20 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ utilizando un cabezal H-7 que el equipo Beaver, el cual tuvo un rendimiento de $12,50 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ con un cabezal H-6.
- Si bien, en este estudio las variables de pendiente (%) y VMA (m^3) no tuvieron significancia en los modelos, no significa que no sean variables importantes para considerar, sino que la pendiente no tuvo una variabilidad suficiente como para cooperar al modelo, y el VMA está altamente correlacionado con el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), lo que generaría problemas de multicolinealidad.
- Antes de realizar raleo con sistema *cut-to-length*, se sugiere evaluar la condición del terreno y el tamaño de los árboles, para trabajar con un modelo adecuado a la situación, ya que es importante conocer las características del equipo y del lugar para saber las limitaciones que se podría tener en el rendimiento ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), así como también lo que le beneficia.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Bramucci, M., & Seixas, F. (2002). Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. *Scientia Forestalis*, 62, 62-74.
- CMPC. (2022).
- Espinosa, M., Escobar, R., & Drake, F. (1990). Silvicultura de las plantaciones forestales en Chile: pasado, presente y futuro. *Agro-Ciencia*, 6(2), 131-144.
- Espinosa, M., & García, J. (2017). La silvicultura y los bosques plantados. In *Silvicultura de bosques plantados con fines productivos* (pp. 1-11). Universidad de Concepción, Concepción (Chile).
- Espinosa, M., García, J., & Valeria, O. (1994). Efecto de intensidades diferentes de raleo en el crecimiento de un rodal de pino radiata. *Bosque*, 15(1), 55-65.
- Espinosa, M., & Muñoz, F. (2017). Raleo en bosques plantados. In *Silvicultura de bosques plantados con fines productivos* (pp. 179-216). Universidad de Concepción, Concepción (Chile).
- Ferrere, P., Lupi, A. M., & Boca, T. (2015). Crecimiento del *Pinus radiata* sometido a diferentes tratamientos de raleo y poda en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 36(3), 423-434.

- Grosse, H., & Rosselot, F. (2016). La potencialidad de nuevas plantaciones forestales en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, 22(1), 77-90.
- 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, Universidad de Buenos Aires].
- Mac Donagh, M., Hildt, E., Martínez, M., Mulawka, J., Valdes, M., & Fertl, L. (2005). Sistema de apoyo a la planificación de la cosecha forestal. XVI *Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*, 639-645.
- Mac Donagh, P. M., Hildt, E., Friedl, R. A., Zaderenko, C., & Alegranza, D. A. (2013). Influencia de la intensidad de raleos en la performance de un harvester de ruedas en el noreste argentino. *Floresta*, 43(4), 653-662.
- Mac Donagh, P. M., Mulawka, J. A., Friedl, R. A., Zaderenko, C., & Alegranza, D. A. (2013). Productividad y costos de pequeños harvester con oruga operando en plantaciones de Pinus spp. en el noreste argentino. *Scientia Forestalis*, 41, 425-434.
- Martins, R. J., Seixas, F., & Stape, J. L. (2009). Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 37(83), 253-263.
- Nurminen, T., Korpunen, H., & Uusitalo, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40(2).
- Palma, F. J. (2014). *Análisis comparativo de dos alternativas para realizar el volteo, desrame y trozado en faenas de raleo comercial con torre de madereo* [Tesis de pregrado, Universidad Andrés Bello].

Parra, M., & Carey, P. (2000). Consideraciones metodológicas para la evaluación de la cortadora-procesadora (harvester) en operaciones forestales. *Bosque*, 21(2), 137-146.

Poblete, P., Gysling Caselli, J., Alvarez González, V., Bañados Munita, J. C., Kahler González, C., Pardo Velásquez, E., Soto Aguirre, D., & Baeza Rocha, D. (2023). ANUARIO FORESTAL 2023. *Boletín Estadístico*, 192, 280. (Instituto Forestal)

PONSSE®. (s.f.a). *Ergo*.
https://www.ponsse.com/es/productos/harvesters/product/-/p/ergo_af#/

PONSSE®. (s.f.b). *Beaver*.
<https://www.ponsse.com/es/productos/harvesters/product/-/p/beaver#/>

Prado, D. (2015). *Plantaciones Forestales. Más allá de los árboles*. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G.

Riqueza, F., Hildt, E., Leszczuk, A., Somma, F., Torrubiano, C., & Mac Donagh, P. (2018). Análisis de la productividad de dos harvesters de oruga operando en tala rasa y raleo de *Pinus* sp. en el NE Argentino. *XXXII Jornadas Forestales de Entre Ríos*, 1-5.

Silva, E. N. d., Machado, C. C., Minette, L. J., Souza, A. P. d., Fernandes, H. C., Silva, M. L. d., & Jacovine, L. A. (2010). Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus* sp. com harvester. *Revista Árvore*, 34, 745-753.

Sotomayor, A., Helmke, E., & García, E. (2002). *Manejo y mantención de plantaciones forestales: Pinus radiata y Eucalyptus sp.* Instituto Forestal.

VI. ANEXO

Tabla A.1. Características principales de los equipos utilizados en sectores planos.

Función	Tipo	Marca	Modelo	Track	Grúa	Tipo de neumático	Ancho (m)	Cabezal o garra	Capacidad (m ³ árb ⁻¹)
Raleo, volteo y procesado	Harvester	Ponsse®	Ergo	8x8	C-5	600	2,75	H-7	0,7
	Harvester	Ponsse®	Beaver	6x6	C-44	600	2,75	H-6	0,5

Función	Tipo	Marca	Modelo	Valor (US\$)
Raleo, volteo y procesado	Harvester	Ponsse®	Ergo	576.360
	Harvester	Ponsse®	Beaver	503.040

Fuente: CMPC (2022).

Tabla A.2. Sistema de seguimiento de productividad Harvester.

CONDICIONES DE OPERACIÓN		HORÓMETRO HARVESTER	
Volumen árbol	[m³/árb]	Inicial	
Densidad bosque	[árb/ha]	Final	
Pendiente	[%]		
Sotobosque	□		

Sotobosque: 1= Sin sb; 2= Abierto; 3=Semidenso; 4= Denso.

REVISIÓN	
Hora inicio operación	[hh:mm]
Hora de término operación	[hh:mm]
Horas de operación	[h]
Número de árboles	[árboles]
Velocidad Producción Real	[árbol/h]
Velocidad Producción Tabla	[árbol/h]
Índice Eficiencia Condición	□

TIEMPO PERDIDO OBVIO	
Código	Tiempo [h]
Otros-Explicar	
Total TOB	

TIEMPO PERDIDO OCULTO		
Identificación TOC	Tiempo [h]	Causas
Condición 1		
Total turno		

Fuente: CMPC (2022).

Tabla A.3. Codificación en tiempos perdidos Harvester.

Descripción	Código
Carga combustible	1
Mantenición programada	2
Atraso inicio o salida temprana de faena	3
Monitoreo Formin	4
Baño operador	5
Puesta en marcha	6
Detenido por paso de vehículos	8
Detenido por carguío de camiones	9
Falta personal	11
Clima y/o incendio detienen operación	12
Atochamiento en cancha	13
Traslado dentro faena (solo Harvester)	15
Afilado cadena	16
Medición de largos de trozos	17
Detenido por falta de volteo	18
Detenido por falta de madereo	19
Cambio cadena o espada	20
Falla eléctrica	21
Falla mecánica	22
Carga aceite	23
Control productividad	24
Traslado de fundo	25
Otros (especificar)	26

Fuente: CMPC (2022).