



Productividad del arrastre de trocería con animales en bosques de Durango, México

Skidding productivity with animals in the forests of Durango, Mexico

Juan Abel Nájera-Luna^{1*}, Joel Rascón Solano², Oscar Alberto Aguirre-Calderón²,
Sacramento Corral-Rivas¹ y Francisco Cruz-Cobos¹

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México.

² Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México.

* Autor de correspondencia.
jalnajera@itelsalto.edu.mx

RESUMEN

En la actualidad, el uso de fuerza animal en operaciones forestales se considera una actividad tradicional más que una necesidad tecnológica y en algunos bosques de Durango, México, es posible encontrar áreas donde el arrastre se realiza con ayuda de animales; sin embargo, se desconoce la productividad de esta operación para considerarla una opción tecnológica rentable en la ingeniería forestal moderna. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue conocer el efecto del diámetro de las trozas y las distancias en el rendimiento del arrastre con tracción animal. Para tal efecto se cronometraron 245 ciclos de arrastre, obteniendo el volumen de las trozas por medición directa de los diámetros y la longitud, y registrando el tiempo y la distancia de arrastre; estas variables se dividieron en tres clases diamétricas y tres de distancia. El rendimiento de la operación se obtuvo relacionando el volumen de las trozas con el tiempo total de arrastre. Los resultados mostraron una productividad de $8.49 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $27.94 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ influenciada por el diámetro y la distancia de arrastre, 83% del volumen arrastrado se encontró disperso a un radio de 40 m y, en promedio, se requieren 2.13 minutos para completar un ciclo de trabajo, pero a mayor distancia se requiere el doble de tiempo de arrastre lo que hace que el rendimiento disminuya. Se recomienda realizar el arrastre a distancias no mayores a 50 m para mantener una buena productividad y disminuir el esfuerzo físico y riesgo de lesiones en los animales y operadores.

PALABRAS CLAVE: aprovechamiento forestal, ciclo de trabajo, estudio de tiempos, fuerza animal, rendimiento, volumen.

ABSTRACT

Currently, the use of animal power in forestry operations is considered more of a tradition than a technological necessity, and in some forests of Durango, Mexico, it is possible to find areas where skidding is carried out with the help of animals; however, the productivity of this operation is unknown to consider it a profitable technological option in modern forestry engineering. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of log diameter and distance on skidding yield with animal traction. For this purpose, 245 skidding cycles were timed, the volume of the logs was obtained by direct measurement of the diameters and length; in addition, the skidding time and distances were recorded. These variables were divided into three diameter classes and three classes of distance. The yield of the operation was obtained by relating the volume of the logs with the total time of skidding. The results showed a productivity of $8.49 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ to $27.94 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ influenced by the diameter and the skidding distance; 83% of the skidded volume was found dispersed within a radius of 40 meters and on average 2.13 minutes are required to complete a work cycle, but at greater distance, twice time is required, which causes the yield to decrease. It is recommended to carry out skidding at distances no greater than 50 meters to maintain good productivity and reduce physical effort and risk of injury to animals and operators.

KEYWORDS: forest harvesting, work cycle, time study, animal power, yield, volume.

INTRODUCCIÓN

Todo sistema de producción requiere un suministro de fuerza que puede ser proporcionado tanto por máquinas como por el ser humano o los animales y, en las diferentes fases del aprovechamiento forestal, la selección del tipo de fuerza y tecnología a utilizar en cada una de ellas depende de factores como la distancia de arrastre, la cantidad de madera a extraer, la topografía del terreno y el clima, entre otros (Senturk y Ozturk, 2005; Villalobos Barquero et al., 2019).

El transporte primario de la madera en rollo desde el lugar de derribo del árbol y su arrastre hasta los lugares de carga es una fase costosa, difícil y lenta del aprovechamiento forestal, debido a que se realiza bajo condiciones adversas del terreno y siempre implica la generación de disturbios negativos al suelo y vegetación remanente, sobre todo a la regeneración (Naghdi et al., 2009; Nájera Luna et al., 2012). Por lo anterior, las operaciones del abastecimiento forestal están consideradas como el ejemplo más agresivo de la intervención humana al entorno forestal debido a las muchas amenazas y daños que provoca a sus componentes individuales (Cudzik et al., 2017).

A pesar de que el moderno manejo forestal impulsa la aplicación de buenas prácticas para la gestión de los bosques sobre todo en áreas con interés de conservación, las prácticas de abastecimiento de trocería basadas en el uso de animales rara vez se aborda en la literatura científica (Malatinszky y Ficsor, 2016), tal vez porque se considera que el uso de la tracción animal en los aprovechamientos forestales representa una curiosidad más que una necesidad técnica (Magagnotti y Spinelli, 2011). Sin embargo, todavía es muy común observar el arrastre con tracción animal en operaciones forestales a pequeña escala y en áreas donde las condiciones del terreno no son una limitante (Melemez et al., 2014).

En muchos países en desarrollo, incluso en los industrializados, los animales representan una fuente alterna de tracción para la extracción de madera en plantaciones y cortas selectivas. Los bueyes, las mulas y los caballos son los más utilizados en el arrastre de trocería

debido a que son fuertes y fáciles de dirigir en distancias de 20 m a 100 m (Akay, 2005; Senturk et al., 2007; Figueiredo Fernández et al., 2020). Además, se ha demostrado que este tipo de arrastre reduce significativamente la compactación y perturbación del suelo, así como el daño a los árboles residuales (Jourgholami y Majnouian, 2010).

En consecuencia, el uso eficiente de los animales en un aprovechamiento forestal intensivo es un factor clave que puede aumentar la productividad del sistema y reducir costos de cosecha por unidad de volumen, siempre y cuando se tenga información sobre el desempeño de los indicadores de productividad básicos (Shrestha et al., 2005).

En la región forestal de El Salto, Durango, México, es común encontrar áreas donde el arrastre de trocería se realiza con fuerza animal, pero se desconoce el nivel de productividad de este sistema de trabajo y si las dimensiones de las trozas tienen influencia en el rendimiento debido a las cortas distancias que se manejan en cada ciclo de trabajo de esta operación.

OBJETIVOS

Evaluar el efecto que tiene el tamaño de las trozas y las distancias en el rendimiento del arrastre animal mediante el estudio del ciclo de trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo se llevó a cabo en áreas de corta pertenecientes a la Unidad de Manejo Forestal (Umafor) 1008 “El Salto” que se localiza al suroeste del estado de Durango, México, en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental, cuya vegetación principal está compuesta por bosques de coníferas (Rzedowski, 2006) con asociaciones de *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus arizonica* Engelm., *P. engelmannii* Carrière, *P. douglasiana* Martínez, *P. strobiformis* Engelm., *P. lambertii* Robins & Ferns, *Picea chihuahuana* Martínez, *Cupressus lusitanica* var. *lindleyi* (Klotzsch ex Endl.) Carrière y *Quercus sideroxyla* Bonpl. (Farjon et al., 2019).



La aplicación de las cortas en las áreas bajo estudio corresponde al método de selección. El derribo del arbolado bajo aprovechamiento se realiza con motosierra y el fuste se secciona en trozas comerciales de 2.44 m a 10.36 m (8 pies a 34 pies) de largo más refuerzo, un diámetro mínimo de 20.32 cm (8 pulgadas) en caso de trocería para aserrío y a partir de 10.16 cm (4 pulgadas) con longitudes de 1.22 m a 2.44 m (4 pies a 8 pies) en trocería para productos secundarios. El arrastre se hace con apoyo de grúas mecánicas o tracción animal y la carga se realiza en forma manual o mecanizada (Nájera Luna et al., 2011).

Métodos

Los datos de arrastre con tracción animal se colectaron a partir del desempeño de dos cuadrillas, cada una compuesta por dos animales de tiro (bueyes de la raza Beefmaster con un peso aproximado entre 500 kg y 600 kg con yugo doble de cabeza y cadena de amarre con tenaza de fijación) y una persona que dirige la operación. En este caso, el arrastre fue de trocería de pino de 4.87 m (16 pies) de largo en sitios relativamente planos que no superan 20% de pendiente.

Cada ciclo de trabajo se dividió en cuatro movimientos: el primero cuando el equipo de arrastre comienza el desplazamiento hasta llegar a la troza, el segundo cuando el operador engancha la troza con la tenaza de fijación, el tercero cuando se realiza el arrastre de la troza por el suelo hasta el sitio de apilamiento y el cuarto cuando se desengancha la troza al finalizar la operación.

La toma del tiempo de trabajo se cronometró con una precisión de centésimas de segundo, para tal efecto se utilizó el método de “vuelta a cero” descrito por Villagómez Loza y García Álvarez (1986).

Como tiempo productivo se consideraron las actividades principales y complementarias que dan soporte al trabajo y como tiempo improductivo, los descansos e interferencias presentados durante cada ciclo de trabajo.

Además del tiempo de trabajo, *in situ* se registró la distancia en metros de cada troza arrastrada con respecto al sitio de apilamiento, y se registraron las dimensiones de

diámetro y largo de cada troza para determinar su volumen con la fórmula de Smalian (Husch et al., 2003):

$$V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L$$

donde:

V = volumen de la troza (m^3)

A_1 = área de la sección menor de la troza (m^2)

A_2 = área de la sección mayor de la troza (m^2)

L = largo de la troza (m)

Como una aproximación para conocer el peso de las trozas arrastradas, el volumen se multiplicó por la densidad de la madera de las especies del género *Pinus* en condición húmeda o verde señalada por Silva et al. (2010): 1000 kg/m^3 .

Para determinar el tamaño de la muestra, se realizó un premuestreo de 100 ciclos de arrastre animal, a partir de ello se determinó el número de ciclos de trabajo requeridos para alcanzar un error de muestreo admisible de 10% mediante lo sugerido por Barnes (1968):

$$n = \frac{t^2 \cdot CV^2}{E^2}$$

donde:

n = ciclos de arrastre requeridos (n)

t = valor t de Student al 95% de probabilidad

CV = coeficiente de variación (%)

E = error de muestreo admisible (%)

El premuestreo estimó que se requieren 140 ciclos de trabajo para cubrir el error de muestreo admisible; sin embargo, se utilizaron 245 ciclos de arrastre con tracción animal distribuidos en tres clases diamétricas y tres de distancia (Tabla 1).

Con los datos del tiempo y el volumen de las trozas, se estimó el rendimiento de cada ciclo de arrastre en metros cúbicos por hora de trabajo mediante la relación siguiente (Simões et al., 2014):

$$R = \frac{v}{t}$$

TABLA 1. Distribución de las trozas por clase diamétrica y distancias de arrastre.

Clase diamétrica (cm)	Trozas por categoría (n)	Ciclos de trabajo requeridos (n)	Ciclos de trabajo colectados (n)	Error de muestreo (%)
20 - 30	139			
30.1 - 40	89			
> 40	17			
Categoría de distancias de arrastre (m)	Trozas por categoría (n)	140	245	7.5
1 - 20	149			
20.1 - 40	63			
> 40.1	33			

donde:

R = rendimiento del ciclo de trabajo de arrastre animal ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)

v = volumen de la troza arrastrada (m^3)

t = tiempo total del ciclo de trabajo (horas)

La eficiencia de la distancia del arrastre en el ciclo de trabajo se obtuvo en función del volumen de las trozas, la distancia de arrastre y el tiempo total de trabajo (Takimoto y Yovi, 2003) mediante:

$$Edc = \left(\frac{v}{\frac{d}{TT}} \right) (3600)$$

donde:

Edc = eficiencia de la distancia del arrastre animal ($\text{m}^3 \text{m}^{-1} \text{h}^{-1}$)

v = volumen de la troza arrastrada (m^3)

d = distancia de arrastre de la troza (m)

TT = tiempo total del ciclo de trabajo (segundos)

Finalmente, el porcentaje de tiempo efectivo trabajado con relación al tiempo total del ciclo de trabajo o eficiencia

operacional se obtuvo mediante la relación siguiente (Cavassin Diniz et al., 2018):

$$EO = \frac{TT - TI}{TT} \cdot 100$$

donde:

EO = eficiencia operacional del ciclo de trabajo (%)

TT = tiempo total del ciclo de trabajo (horas)

TI = tiempo improductivo del ciclo de trabajo (horas)

Análisis estadístico

Para caracterizar las variables de las trozas referidas a diámetro, longitud, volumen y peso, así como la distancia y duración de las etapas del ciclo de trabajo junto al rendimiento por clase diamétrica y de distancia, se elaboraron tablas con estadísticos de tendencia central y dispersión (promedio, desviación estándar, máximos y mínimos).

Para probar la hipótesis de normalidad del rendimiento y eficiencia de la distancia en el ciclo de trabajo, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov que mostró que estas variables no provienen de una población con distribución normal ($p < 0.0001$). Así que para identificar diferencias



estadísticas significativas en el rendimiento y eficiencia del ciclo de trabajo entre las clases diamétricas de las trozas y las de distancia de arrastre, se realizaron análisis de varianza no paramétrica y pruebas de comparación de rangos de la mediana de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$). Estos análisis se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS

Generalidades sobre el ciclo de arrastre con animales

El rendimiento del ciclo de arrastre con tracción animal se estimó en promedio en $15.28 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, con valores extremos entre $8.49 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, para distancias de arrastre de 40 m a 60 m y $27.94 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, en trocería con diámetros de 40 cm a 47 cm. La tendencia observada fue de un aumento en el rendimiento conforme lo hace el diámetro de las trozas y, en contraparte, una reducción a medida que aumenta la distancia de arrastre; lo anterior, con una influencia directa del diámetro y la distancia de arrastre.

El mayor volumen de la operación de arrastre se concentra en trozas de 30 cm a 40 cm de diámetro (45%) y de 20 cm a 30 cm, que en conjunto representan 86% del volumen de arrastre. Cada troza requiere alrededor de 2.13 minutos para completar un ciclo de trabajo, de los cuales, 51% se emplea en el arrastre de las trozas desde su origen hasta el sitio de apilamiento.

La influencia de la distancia de arrastre en el rendimiento mostró que 60% del volumen arrastrado se encuentra en los primeros 20 m; y hasta los 40 m, es posible encontrar 83% del volumen total arrastrado. La duración promedio del ciclo de trabajo para estas distancias es un poco más de dos minutos, pero a distancias mayores a los 40 m, el tiempo para realizar un ciclo de trabajo se incrementa 50%. Es posible que la razón de este comportamiento sea el peso de las trozas, pues las más pesadas fueron precisamente las más alejadas. La eficiencia del ciclo de trabajo fue de 95%, por lo que las interrupciones por tiempo improductivo fueron irrelevantes en esta operación.

Para resaltar el factor distancia en la productividad de ciclo de trabajo, fue necesario determinar el volumen arrastrado en una hora de trabajo por cada metro de distancia a la que se encuentra cada troza. En ese sentido, los resultados indican rendimientos del orden de $0.93 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en trozas de 20 cm a 30 cm de diámetro y se incrementan hasta $1.79 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en trozas mayores a 40 cm. Por distancia de arrastre, este indicador corresponde a $0.64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para las tozas que se encuentran en los primeros 20 m y disminuye hasta $0.17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a distancias mayores de 40 m del área de descarga de trozas (Tabla 2).

Rendimiento del arrastre entre clases diamétricas y de distancia

La comparación del rendimiento entre clases de diámetro y distancia de arrastre resultaron con diferencias significativas ($p < 0.05$). Por diámetro de las trozas, el rendimiento del arrastre en trozas de 30.1 cm a 40 cm incrementa 40% con respecto a las trozas de 20 cm a 30 cm, pero en trozas mayores a 40 cm lo hace hasta 126%. Por distancia de arrastre, de los 20 m a los 40 m, la productividad se reduce 46% con relación a la distancia de 1 m a 20 m, y, a partir de los 40 m, disminuye hasta 55% (Tabla 3).

Eficiencia de la distancia de arrastre entre clases diamétricas y distancias

La eficiencia de la distancia de arrastre mostró diferencias estadísticas significativa ($p < 0.05$) entre clases diamétricas y de distancia, de tal forma que el volumen que es arrastrado por cada metro de distancia en una hora es 34% mayor en trozas de 30 cm a 40 cm de diámetro con respecto a las de 20 cm a 30 cm; pero en trozas mayores a 40 cm la eficiencia se incrementa hasta 92%.

Con respecto a la distancia de arrastre, se observó una disminución en el rendimiento de 80% en distancias entre 20 m a 40 m con relación a la distancia de arrastre de 1 m a 20 m; sin embargo, a distancias mayores a 40 m, dicha eficiencia disminuye hasta en 90% (Tabla 4).

TABLA 2. Características del ciclo de arrastre con tracción animal por clase diamétrica y de distancia.

<i>Por clase diamétrica (cm)*</i>	<i>20.0-30.0</i>	<i>30.1-40.0</i>	<i>> 40.0</i>
Largo promedio de las trozas (m)	5.21 (0.30)	5.17 (0.31)	5.24 (0.31)
Diámetro promedio de las trozas (m)	0.26 (0.03)	0.34 (0.03)	0.44 (0.02)
Volumen promedio de las trozas (m ³)	0.29 (0.06)	0.48 (0.08)	0.79 (0.09)
Volumen total arrastrado (m ³)	40.33	43.12	13.42
Peso promedio de las trozas (kg)	290.12 (57.57)	484.49 (79.02)	789.23 (92.33)
Distancia promedio de arrastre (m)	21.02 (12.03)	26.99 (16.94)	24.41 (14.24)
Tiempo promedio de desplazamiento a las trozas (min)	0.67 (0.41)	0.82 (0.53)	0.86 (0.46)
Tiempo promedio de enganche de las trozas (min)	0.06 (0.07)	0.08 (0.10)	0.07 (0.07)
Tiempo promedio de arrastre de las trozas (min)	0.94 (0.93)	1.26 (0.87)	1.03 (0.49)
Tiempo promedio de desenganche de las trozas (min)	0.05 (0.03)	0.08 (0.06)	0.08 (0.05)
Tiempo promedio de descansos e interferencias (min)	0.22 (0.52)	0.16 (0.64)	0.00 (0.00)
Tiempo total del ciclo de trabajo (min)	1.94 (1.48)	2.39 (1.59)	2.05 (1.02)
Tiempo máximo del ciclo de trabajo (min)	7.16	7.68	3.54
Tiempo mínimo del ciclo de trabajo (min)	0.60	0.59	0.82
Rendimiento promedio del arrastre (m ³ h ⁻¹)	12.38 (6.43)	17.38 (10.10)	27.94 (10.96)
Eficiencia promedio de la distancia de arrastre (m ³ m ⁻¹ h ⁻¹)	0.93 (0.86)	1.25 (1.30)	1.79 (1.29)
Eficiencia operacional del ciclo de arrastre (%)	93.30	97.98	100.00
Ciclos de trabajo (n)	139	89	17
<i>Por distancias de arrastre (m)*</i>	<i>0.0-20</i>	<i>20.1-40.0</i>	<i>> 40</i>
Largo promedio de las trozas (m)	5.14 (0.30)	5.34 (0.26)	5.16 (0.31)
Diámetro promedio de las trozas (m)	0.30 (0.05)	0.29 (0.06)	0.34 (0.06)
Volumen promedio de las trozas (m ³)	0.38 (0.15)	0.37 (0.16)	0.49 (0.15)
Volumen total arrastrado (m ³)	57.14	23.46	16.26
Peso promedio de las trozas (kg)	383.48 (147.77)	372.42 (163.73)	492.77 (154.71)
Distancia promedio de arrastre (m)	13.55 (4.68)	32.62 (5.95)	50.45 (5.68)
Tiempo promedio de desplazamiento a las trozas (min)	0.55 (0.28)	0.80 (0.44)	1.49 (0.34)
Tiempo promedio de enganche de las trozas (min)	0.05 (0.06)	0.07 (0.06)	0.18 (0.15)
Tiempo promedio de arrastre de las trozas (min)	0.80 (0.83)	1.18 (0.56)	2.01 (1.05)
Tiempo promedio de desenganche de las trozas (min)	0.05 (0.04)	0.07 (0.05)	0.07 (0.05)
Tiempo promedio de descansos e interferencias (min)	0.14 (0.53)	0.27 (0.56)	0.20 (0.62)
Tiempo total del ciclo de trabajo (min)	1.58 (1.37)	2.39 (0.97)	3.96 (1.31)
Tiempo máximo del ciclo de trabajo (min)	7.68	4.07	6.95
Tiempo mínimo del ciclo de trabajo (min)	0.59	1.26	2.31
Rendimiento promedio del arrastre (m ³ h ⁻¹)	18.92 (9.76)	10.21 (4.42)	8.49 (3.83)
Eficiencia promedio de la distancia de arrastre (m ³ m ⁻¹ h ⁻¹)	1.64 (1.10)	0.32 (0.12)	0.17 (0.09)
Eficiencia operacional del ciclo de arrastre (%)	96.70	91.26	96.31
Ciclos de trabajo (n)	149	63	33

* Valores promedio y desviación estándar (entre paréntesis.)



TABLA 3. Rendimiento del arrastre con tracción animal entre clases diamétricas y de distancia.

Variable	Clase	Medias (m ³ h ⁻¹)	Medianas (m ³ h ⁻¹)	Promedio de rangos*	Gl	C	H	p
Entre diámetro de las trozas arrastradas								
Rendimiento del arrastre	20 cm a 30 cm	12.38	10.04	103.96 a				
	30.1 cm a 40 cm	17.38	15.12	138.20 b	2	1.00	33.74	< 0.0001
	mayor a 40 cm	27.94	29.72	199.12 c				
Entre distancias de arrastre de las trozas								
	1 m a 20 m	18.92	18.17	152.53 b				
	20.1 m a 40 m	10.21	8.63	81.86 a	2	1.00	66.81	< 0.0001
	mayor a 40 m	8.49	9.30	68.23 a				

*Rangos con la misma letra en común no son significativamente diferente, Kruskal Wallis $\alpha = 0.05$.

Gl: grados de libertad; C: factor de corrección del estadístico por observaciones empataidas; H: estadístico de la prueba no corregido por empates; p: significativo ($p < 0.05$).

TABLA 4. Eficiencia de la distancia en el rendimiento de arrastre con tracción animal entre categorías.

Variable	Clase	Medias (m ³ m ⁻¹ h ⁻¹)	Medianas (m ³ m ⁻¹ h ⁻¹)	Promedio de rangos*	Gl	C	H	p
Entre diámetro de las trozas arrastradas								
Eficiencia de la distancia de arrastre	20 cm a 30 cm	0.93	0.64	117.44 a				
	30.1 cm a 40 cm	1.25	0.56	123.16 a	2	1.00	7.59	<0.0224
	mayor a 40 cm	1.79	2.04	167.62 b				
Entre distancias de arrastre de las trozas								
	1 m a 20 m	1.64	1.51	166.15 c				
	20.1 m a 40 m	0.32	0.31	69.26 b	2	1.00	147.34	<0.0001
	mayor a 40 m	0.17	0.16	30.77 a				

*Rangos con la misma letra en común no son significativamente diferente, Kruskal Wallis $\alpha=0.05$.

Gl: grados de libertad; C: factor de corrección del estadístico por observaciones empataidas; H: estadístico de la prueba no corregido por empates; p: significativo ($p<0.05$).

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio son compatibles con los de Pimentel Rivero et al. (2013), quienes mencionan un rendimiento en el arrastre con yuntas de bueyes en rodales

naturales de pino en Cuba de $8.22 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a distancias de 40 m en terrenos con pendiente de 0% a 15%, el cual va disminuyendo significativamente a medida que aumenta la distancia de arrastre hasta llegar a $1.31 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a los 240 m.

Lo anterior sugiere entonces que, a distancias más cortas de arrastre como las evaluadas en el presente estudio, les corresponde una mayor productividad en el arrastre, de ahí que, para distancias de 20 m, el rendimiento sea de 18.92 $m^3 h^{-1}$ disminuyendo prácticamente a más de la mitad en distancias mayores a 40 m para llegar a los 8.49 $m^3 h^{-1}$. Esta tendencia también es compartida con el estudio de referencia, pues el rendimiento del arrastre se reduce a la mitad a partir de los 40 m a 80 m de distancia.

Por otra parte, Melemez et al. (2014), registraron un rendimiento en el arrastre con tracción animal de 3.80 $m^3 h^{-1}$ para trozas de 20 cm a 50 cm de diámetro y de 1.5 m a 4 m de largo, a una distancia promedio de 100 m con una duración promedio por ciclo de trabajo de 11.99 minutos y con pendiente promedio del terreno de 30%, en bosques mixtos de *Fagus* y *Quercus* en el noroeste de Turquía. La amplia diferencia en rendimiento con respecto a este estudio es debido a la distancia de arrastre y la pendiente, pues, aunque la velocidad de arrastre de las trozas es similar en ambos estudios (28.7 $m min^{-1}$ y 28.14 $m min^{-1}$, respectivamente), la diferencia en la velocidad del desplazamiento en vacío para llegar a las trozas es de casi el doble (20.08 $m min^{-1}$ por 36.59 $m min^{-1}$) lo que implica un mayor tiempo para subir pendientes de 30% que desplazarse en terrenos relativamente planos como fue el caso en este estudio. Los mismos autores concuerdan en que el rendimiento del ciclo de arrastre se ve afectado principalmente por la distancia de arrastre, la pendiente del terreno y el tamaño de las trozas.

Con respecto al tamaño de las trozas, Cándano Acosta et al. (2004), en rodales naturales de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari de Cuba, estimaron un rendimiento de 2.64 $m^3 h^{-1}$ en el arrastre con tracción animal de fustes enteros de 23 cm de diámetro y 15 m de largo con un volumen promedio por troza de 0.25 $m^3 r$ a una distancia de 100 m y un tiempo promedio por ciclo de trabajo de 8.16 minutos, de los cuales 43% correspondió al tiempo de arrastre. Aunque el rendimiento es inferior al estimado en este estudio, la influencia del tamaño de la troza y de la distancia de arrastre es determinante para explicar tales diferencias, puesto que, a pesar de que el volumen de las

trozas arrastradas es similar al de las trozas de 20 cm a 30 cm del presente estudio (0.29 $m^3 r$), en rendimiento no lo son; esto se debe a que la diferencia en largo de las trozas es de una proporción tres a uno, lo que supone un mayor grado de dificultad para realizar maniobras de arrastre en trozas más largas en virtud de una mayor frecuencia de obstrucción por obstáculos que dificultan el movimiento y consumen mayor tiempo de arrastre, aunado a que la distancia también juega un papel importante en el rendimiento, pues la diferencia entre estudios revela una proporción de dos a uno, suficiente para considerar que una reducción en la distancia de arrastre probablemente repercuta en un aumento de la productividad.

Lo anterior se puede ilustrar en el trabajo de Villalobos Barquero y Meza Montoya (2016), quienes observaron un rendimiento de 4.18 $m^3 h^{-1}$ a distancias de 60 m con el uso de bueyes para arrastrar fustes completos de *Acacia mangium* Willd. de 21 m de largo y 19.6 cm de diámetro en plantaciones de Costa Rica, con una eficiencia del ciclo de trabajo de 59.72% y donde el viaje de arrastre fue el movimiento que más tiempo consumió con 21.37%, lo cual confirma el hecho de que, al disminuir la distancia y optar por distancias de arrastre cortas, se aumenta la productividad. En el mismo sentido, Takimoto y Yovi (2003) argumentan que la eficiencia de la distancia en un ciclo de trabajo es una consideración de primer orden, pues entre más corta sea ésta, menor es el tiempo del ciclo y mayor la productividad de la operación.

Utilizando búfalos de agua para el arrastre de trozas de *Gmelina arborea* Roxb. en plantaciones forestales de Costa Rica, Villalobos Barquero et al. (2019) estimaron un rendimiento de 2.23 $m^3 h^{-1}$ para árboles con un volumen promedio de 0.29 $m^3 r$ en distancias menores a 100 m.

Öztürk y Şentürk (2017) llevaron a cabo un estudio para determinar la eficiencia del arrastre, con mulas, de trozas de madera de *Pinus brutia* Ten en Turquía, registrando un rendimiento de 1.14 $m^3 h^{-1}$ para trozas entre 2.5 m y 4 m de largo en un tiempo promedio por ciclo de 11.30 minutos y distancias promedio de 135 m.

Como se puede apreciar, gran parte de los estudios consultados mencionan rendimientos en la operación de



arrastre animal inferiores a los obtenidos en este trabajo, pues la mayoría están referidos a trocería de cortas dimensiones y distancias de arrastre superiores a los 100 m. Por este motivo, no hay concordancia directa, pues en el presente estudio se consideró el arrastre de trozas de largas dimensiones con promedios de 30 cm en diámetro y 5.20 m de largo, con volumen promedio de 0.40 m³ r con un peso aproximado de 395 kg y a distancias de arrastre de 10 m a 60 m en condiciones de terreno relativamente planas donde las exigencias por subir o bajar pendientes no son tan demandantes para los animales ni para el operador y con un tiempo promedio por ciclo de trabajo de 2.11 minutos.

Con el objetivo de hacer más eficiente el tiempo de enganche y desenganche de las trozas durante el arrastre, se emplea una tenaza con puntas afiladas. Esta herramienta se clava rápidamente en un extremo de la troza, afianzándola por la fuerza del arrastre, sin necesidad de amarrar y desamarrar cadenas manualmente. El uso de la tenaza optimiza la operación al ahorrar una porción considerable del tiempo que se invertiría en asegurar cada troza de forma individual.

Otro aspecto importante por considerar sobre el tiempo de arrastre es cuando se movilizan las primeras trozas que son las que consumen más tiempo debido a que existe una mayor resistencia y fricción hasta que se van creando los carriles principales de arrime por la remoción de la cubierta del suelo, a tal grado que esta acción de alguna forma facilita el tránsito de las demás trozas por esos mismos carriles (Venegas y Carrera, 2006).

De acuerdo con Knežević et al. (2018), el animal más común y apropiado para las labores de aprovechamiento forestal es el caballo por su mejor relación tracción/peso, pero los costos de mantenimiento son más altos que el de los bueyes, estos últimos además son tranquilos y seguros durante el trabajo, aunque tienen menor resistencia a la tracción. Sin embargo, en este estudio las yuntas de bueyes fueron capaces de arrastrar trozas con pesos aproximados entre 290 kg y 789 kg. Es pertinente mencionar también que los animales imprimen importantes esfuerzos físicos y están sujetos a un constante régimen de entrenamiento, así como a una exigencia de trabajo que pudiera ser

considerado como maltrato físico animal, pero por lo general reciben un trato digno para hacer esta actividad dócil y segura.

Para bosques con cobertura continua y cortas selectivas donde la prioridad sea la conservación de los valores naturales, el arrastre animal es una alternativa por la facilidad de maniobra en comparación a una máquina y también se reducen considerablemente los posibles impactos y daños al ecosistema (Dudáková et al., 2020). Así que el rendimiento promedio del arrastre con tracción animal de este estudio (15.27 m³ h⁻¹) para distancias máximas de 60 m, no es nada despreciable, si se compara con el rendimiento del arrastre mecanizado mencionado por Nájera Luna et al. (2011) para bosques de coníferas de la región de El Salto, Durango, México, quienes registraron 19.83 m³ h⁻¹ a distancias máximas de 150 m.

Esta situación permite revalorar seriamente el uso de los animales en este tipo de operaciones forestales para que no represente, como se ha mencionado anteriormente, una curiosidad, sino una alternativa tecnológica susceptible de mejoras.

Finalmente, Bray et al. (2016) mencionan que el arrastre animal es más rentable que el mecanizado en distancias de hasta 200 m, esto debido a que el impacto de la intensidad de combustibles fósiles se reduce de ocho a diez veces con el uso de animales, además esta actividad genera empleo, reduce los impactos ambientales al bosque y casi no produce emisiones de carbono.

CONCLUSIONES

El rendimiento del arrastre con tracción animal se ve influenciado principalmente por el diámetro de las trozas y la distancia de arrastre. A mayor diámetro, mayor rendimiento. En contraste, a mayor distancia de arrastre, menor rendimiento.

La mayor parte del volumen de madera arrastrada (86%) corresponde a trozas de entre 20 cm y 40 cm de diámetro. Asimismo, 60% del volumen se encuentra en los primeros 20 m de distancia de arrastre.

Extender las distancias de arrastre más allá de 50 m tiene un impacto negativo importante en la productividad,

considerando que el volumen de madera en esas zonas alejadas representa solo 17% del total, pero requiere el doble de tiempo para el arrastre.

Se debe considerar el diámetro de la trocería y la distancia de arrastre al planificar las operaciones de aprovechamiento forestal con tracción animal, buscando maximizar el rendimiento concentrando las actividades en las zonas más cercanas.

Así que caracterizar el arrastre animal como una tecnología primitiva puede ser más aparente que real en algunas circunstancias, pues representa una alternativa para la promoción del aprovechamiento de impacto reducido en los bosques y por lo tanto debe revalorarse como una opción tecnológica de la ingeniería forestal.

RECONOCIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen a los revisores anónimos por las excelentes aportaciones que tuvieron a bien realizar para mejorar este escrito.

REFERENCIAS

- Akay, A. E. (2005). Determining cost and productivity of using animals in forest harvesting operations. *Journal of Applied Sciences Research*, 1(2), 190-195. https://www.researchgate.net/profile/Abdullah-Akay-3/publication/294685346_Determining_cost_and_productivity_of_using_animals_in_forest_harvesting_operations/links/580b671c08ac2cb3a5da6619/Determining-cost-and-productivity-of-using-animals-in-forest-harvesting-operations.pdf.
- Barnes, R. M. (1968). *Motion and time study: design and measurement of work* (6a ed.). John Wiley & Sons.
- Bray, D. B., Duran, E., Hernández Salas, J., Luján Alvarez, C., Olivas García, M., & Grijalva Martínez, I. (2016). Back to the future: The persistence of horse skidding in large scale industrial community forests in Chihuahua, Mexico. *Forests*, 7(11), 283. 2-8. <https://doi.org/10.3390/f7110283>
- Cáñano Acosta, F., Vidal Corona, A., Leite, A. M. P., & Machado, C. C. (2004). Evaluación de tres métodos para el arrastre de madera en rodales naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. *Revista Árvore*, 28(3), 373-380. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000300008>
- Cavassini Diniz, C. C., Lima Cerqueira, C., & Martins de Oliveira, F. (2018). Influência do sortimento de toras na produtividade de um carregador florestal. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 14(3), 247-253. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v14i3.1050>
- Cudzik, A., Brennenstuhl, M., Bialczyk, W., & Czarnecki, J. (2017). Damage to soil and residual trees caused by different logging systems applied to late thinning. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(1), 83-95. <https://hrcak.srce.hr/file/257415>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2018). *InfoStat versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dudáková, Z., Allman, M., Merganič, J., & Merganičová, K. (2020). Machinery-induced damage to soil and remaining forest stands-Case study from Slovakia. *Forests*, 11(12), 1289. <https://doi.org/10.3390/f11121289>
- Farjon, A., Gardner, M., & Thomas, P. (2019). Conifer Database (version Jan 2014). En Y. Roskov., G. Ower., T. Orrell., D. Nicolson., N. Bailly., P. M. Kirk., T. Bourgoin., R. E. DeWalt., W. Decock., E. Nieukerken J. van Zarucchi., & L. Penev (Eds.). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2019 Annual Checklist*. www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.
- Figueredo Fernández, J. L., Barrero Medel, H., & Vida Corona, A. M. (2020). Caracterización de elementos del aprovechamiento maderero de *Pinus maestrensis* Bisse en "El Franco", Guisa. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 204-219. <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v8n2/2310-3469-cfp-8-02-204.pdf>
- Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw Jr, J. A. (2003). *Forest mensuration*. John Wiley & Sons
- Jourgholami, M., & Majnounian, B. (2010). Traditional logging method in Hyrcanian forest, impacts to forest stand and soil (case study: Kheyrud forest). *Iranian Journal of Forest*, 2(3), 221-229. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=181558>
- Knežević, J., Gurda, S., Musić, J., Halilović, V., Sokolović, D., & Bajrić, M. (2018). The impact of animal logging on residual trees in mixed fir and spruce stands. *South-east European Forestry*: 9(2), 107-114. <https://doi.org/10.15177/seefor.18-16>
- Magagnotti, N., & Spinelli, R. (2011). Integrating animal and mechanical operations in protected areas. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2), 489-499. <https://hrcak.srce.hr/file/108151>
- Malatinszky, Á., & Ficsor, C. (2016). Frequency and advantages of animal-powered logging for timber harvesting in Hungarian nature conservation areas. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 37(2), 279-286. <https://hrcak.srce.hr/file/256589>
- Melemez, K., Tunay, M., & Emir, T. (2014). A comparison of productivity in five small-scale harvesting systems. *Small-scale*



- Forestry*, 13(1), 35-45. <https://doi.org/10.1007/s11842-013-9239-1>
- Naghdi, R., Lotfalian, M., Bagheri, I., & Jalali, A. M. (2009). Damages of skidder and animal logging to forest soils and natural regeneration. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 30(2), 141-149. <https://hrcak.srce.hr/file/73853>
- Nájera Luna, J. A., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., Jiménez Pérez, J., Jurado Ybarra, E., Corral Rivas, J. J., & Vargas Larreta, B. (2012). Impactos de las operaciones forestales de derribo y arrastre en El Salto Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(10), 51-64. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i10.524>
- Nájera Luna, J. A., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., Jiménez Pérez, J., & Jurado Ybarra, E. (2011). Tiempos y rendimientos del aprovechamiento forestal en El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 49-58. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.031>
- Öztürk, T., & Şentürk, N. (2017). Timber skidding with mules to karstic areas in Mediterranean region of Turkey. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(1), 209-214. <https://doi.org/10.17475/kastorman.286419>
- Pimentel Rivero, I., Pimentel Pimentel, O., Escamilla Pérez, L., & Bousa Gamez, H. (2013). Evaluación de la fragilidad del suelo forestal durante el empleo de la tracción animal para el aprovechamiento de madera en áreas de producción de la Empresa Forestal Integral (EFI) "La Palma". *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 3(2), 194-205. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/109/305>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1a. ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC17.pdf>
- Senturk, N., & Ozturk, T. (2005). Evaluation of timber extraction machines in Turkey. *American Journal of Environmental Sciences*, 1(1), 81-85. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2005.81.85>
- Senturk, N., Ozturk, T., & Demir, M. (2007). Productivity and costs in the course of timber transportation with the Koller K300 cable system in Turkey. *Building and Environment*, 42(5), 2107-2113. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.005>
- Shrestha, S. P., Lanford, B. L., Rummer, R. B., & Dubois, M. (2005). Utilization and cost of log production from animal logging operations. *International Journal of Forest Engineering*, 16(2), 167-180. <https://doi.org/10.1080/14942119.2005.10702524>
- Silva, J. A., Fuentes, F. J., Rodríguez, R., Torres, P. A., Lomelí, M. G., Ramos, J., Waitkus, C., & Richter, H. G. (2010). *Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Tomo II*. Comisión Nacional Forestal. <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/catalogo-maderas-tomo2.pdf>
- Simões, D., Fenner, P. T., & Esperancini, M. S. T. (2014). Produtividade e custos do feller-buncher e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte. *Ciência florestal*, 24(3), 621-631. <https://doi.org/10.1590/1980-509820142403010>
- Takimoto, Y., & Yovi, E.Y. (2003). Workload and work efficiency of manual log transportation in Java: Factors influencing transporting. *Journal of the Japan Forest Engineering Society*, 18(2), 75-84. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjifes/18/2/18_KJ00007485071/_pdf
- Venegas, G., & Carrera, F. (2006). La tala dirigida. En B. Louman, D. Quirós, M. Castillo, & F. Carrera (Eds.). *Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales* (pp. 119-158). CATIE. https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Aprovechamiento%20de%20impacto%20reducido%20en%20bosques%20latifoliados.pdf
- Villagómez Loza, M. A., & García Álvarez, D. (1986). El estudio del trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 162-180. cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/download/1214/2685
- Villalobos Barquero, V., & Meza Montoya, A. (2016). Evaluación de la etapa de arrastre en un aprovechamiento de plantaciones forestales de Acacia (*Acacia mangium*). San Carlos, Alajuela, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(33), 03-10. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i33.2572>
- Villalobos Barquero, V., Meza Montoya, A., & Navarro-Cordero, A. (2019). Sistema de arrastre de madera para plantaciones forestales combinando búfalos de agua (*Bubalus bubalis* Simpson, 1945) con tractor agrícola. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 16(39), 53-60. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25042019000200053&script=sci_arttext

Manuscrito recibido el 31 de agosto de 2022

Aceptado el 14 de marzo de 2024

Publicado el 12 de diciembre de 2024

Este documento se debe citar como:

Nájera-Luna, J. A., Rascón Solano, J., Aguirre-Calderón, O. A., Corral-Rivas, S., & Cruz-Cobos, F. (2024). Productividad del arrastre de trocería con animales en bosques de Durango, México. *Madera y Bosques*, 30(3), e3032531. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032531>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.