

# Productivity of manual loading system of logs in El Salto, Durango, México

## Rendimiento en la carga manual de trocitos en El Salto, Durango, México

Juan A. Nájera-Luna<sup>1\*</sup>; Jorge Méndez-González<sup>2</sup>;  
Sacramento Corral-Rivas<sup>1</sup>; Francisco J. Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de El Salto (ITES). Calle Tecnológico núm. 101, col. La Forestal, El Salto. C. P. 34942. Pueblo Nuevo, Durango, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

\*Corresponding author: jalnajera@itelsalto.edu.mx; tel.: +52 618 158 7940.

### Abstract

**Introduction:** In some forest regions of Mexico, it is common for short-sized logs to be hand-loaded; however, the efficiency of this operation has been poorly documented.

**Objective:** To evaluate the effect of log size and distances on manual loading productivity in forests in the region of El Salto, Durango, Mexico.

**Materials and methods:** A total of 738 manual loading cycles of 4 ft (1.22 m) logs were timed using the 'back-to-zero' method. Log volume and loading distances were taken by direct *in-situ* measurement. Average log diameters were divided into three categories and loading distances into four. The system yield was determined by relating log volume to total loading time.

**Results and discussion:** Manual loading yield was established from 3.80 to 16.42 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, influenced by log diameter and loading distances, because 82 % of the loaded volume corresponds to logs with diameters from 10 to 30 cm, which are loaded every 12 s; logs larger than 30 cm require 27 s. Also, 91 % of the loading volume is carried out in the first 10 m of distance from the truck and takes 15 s per log, and, at longer distances, 35 s.

**Conclusions:** It is possible to increase the performance of the operation by considering maximum loading distances in the order of 10 m.

**Keywords:** log diameter; loading distance; loading cycle; productivity; logs.

### Resumen

**Introducción:** En algunas regiones forestales de México es común que la carga de trocería con dimensiones cortas se realice utilizando la fuerza humana; sin embargo, el nivel de rendimiento de esta operación ha sido poco documentado.

**Objetivo:** Evaluar el efecto del tamaño de los trocitos y las distancias en el rendimiento de la carga manual en bosques de la región de El Salto, Durango, México.

**Materiales y métodos:** Se cronometraron 738 ciclos de carga manual de trocitos de 4 ft (1.22 m) mediante el método 'vuelta a cero'. El volumen de las trozas y las distancias de carga se obtuvieron por medición directa *in situ*. Los diámetros promedio de las trozas se dividieron en tres categorías y las distancias de carga en cuatro. El rendimiento de la operación se obtuvo relacionando el volumen de las trozas con el tiempo total de carga.

**Resultados y discusión:** El rendimiento de la carga manual se estableció de 3.80 a 16.42 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, influenciado por el diámetro de las trozas y las distancias de carga, pues 82 % del volumen cargado corresponde a trozas con diámetros de 10 a 30 cm que se cargan cada 12 s; trozas mayores de 30 cm requieren 27 s. Asimismo, 91 % del volumen de la carga se realiza en los primeros 10 m de distancia del camión en 15 s por troza y, a mayor distancia, en 35 s.

**Conclusiones:** Es posible aumentar el rendimiento de la operación considerando distancias máximas de carga del orden de los 10 m.

**Palabras clave:** diámetro de trozas; distancia de carga; ciclo de carga; productividad; trocería.

## Introduction

The best logging system depends on the balance between forest characteristics, management practices, supply operation level (intensive, intermediate or mechanized) and factors that may affect labor productivity (Duncker et al., 2012; Melemez et al., 2013).

For industrial forest harvesting, machinery and equipment are usually used to achieve greater efficiency in the process; however, it is also possible to harvest timber with a high proportion of manual labor (Stańczykiewicz et al., 2021). This depends on the scale of harvesting, tree characteristics, land conditions, environmental constraints, availability of machinery, labor and extraction costs (Cataldo et al., 2020).

The use of human force for loading logs is an option for handling short-sized logs that do not exceed 2.5 m in length and 50 kg in weight, to avoid injuries or accidents to the worker (Schettino et al., 2017; Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STyPS], 2009); furthermore, due to high dispersion and relatively small volume of harvest per unit area, the use of machinery for harvesting is not very practical and expensive (Mihelič et al., 2018; Vanbeveren et al., 2015). This activity is justified because it reduces the amount of fuels and risks of forest fires, shortens area recovery time, creates commercial opportunities and jobs; it also limits the emission of greenhouse gases and particulate matter during harvesting (Eker, 2011; Labelle & Lemmer, 2019).

Although manual systems are less productive than mechanized systems, they also imply lower impacts to the soil and remaining vegetation but increase the risks to workers' safety (Gülci & Erdaş, 2018; Maesano et al., 2013; Melemez et al., 2014). Therefore, the efficient use of labor in manual loading can have a positive impact on the productivity of the system; to prove this, it is necessary to have information on the time it takes workers to perform this activity (Grzywiński et al., 2020).

In the forest region of El Salto, Durango, it is common to find areas where the loading of short-sized logs is carried out with human power, but the productivity level of this operation is unknown. The objective of this study was to evaluate the effect of the diameter of 4 ft (1.22 m) long logs and the distances to the truck on the efficiency of manual loading, assuming that these variables have no significant influence on this activity.

## Materials and Methods

### Study area

The study was carried out in the natural forests of UMAFOR 1008 'El Salto', southwest of the state of Durango, Mexico, in the Sierra Madre Occidental

## Introducción

El mejor sistema de aprovechamiento forestal depende del balance entre las características del bosque, las prácticas de manejo, el nivel de la operación del abastecimiento (intensivo, intermedio o mecanizado) y los factores que pueden afectar la productividad del trabajo (Duncker et al., 2012; Melemez et al., 2013).

En aprovechamientos forestales con fines industriales generalmente se utiliza maquinaria y equipo para lograr mayor eficiencia del proceso; sin embargo, realizar la extracción de madera con una proporción alta de mano de obra también es posible (Stańczykiewicz et al., 2021). Lo anterior depende de la escala del aprovechamiento, las características de los árboles, condiciones del terreno, limitaciones ambientales, disponibilidad de maquinaria, mano de obra y costos de extracción (Cataldo et al., 2020).

El uso de la fuerza humana en la operación de carga es una opción para manipular la trocería de cortas dimensiones que no sobrepasan los 2.5 m de longitud y 50 kg de peso, para evitar lesiones o accidentes al trabajador (Schettino et al., 2017; Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STyPS], 2009); además, debido a la dispersión alta y volumen relativamente pequeño de cosecha por unidad de área, el uso de maquinaria para la colecta resulta poco práctico y más costoso (Mihelič et al., 2018; Vanbeveren et al., 2015). Esta actividad se justifica porque se reduce la cantidad de combustibles y riesgos de incendios forestales, se acorta el tiempo de recuperación del área, se generan oportunidades comerciales y empleos; además, se limita la emisión de gases de efecto invernadero y material particulado durante la operación (Eker, 2011; Labelle & Lemmer, 2019).

Aunque los sistemas manuales son menos productivos que los mecanizados, también implican impactos menores al suelo y vegetación remanente, pero aumentan los riesgos en la seguridad de los trabajadores (Gülci & Erdaş, 2018; Maesano et al., 2013; Melemez et al., 2014). En consecuencia, el uso eficiente de mano de obra en la carga manual puede impactar positivamente en la productividad del sistema; para comprobarlo, se requiere tener información sobre el tiempo que los trabajadores tardan en realizar esta actividad (Grzywiński et al., 2020).

En la región forestal de El Salto, Durango, es común encontrar áreas donde la carga de trocitos de cortas dimensiones se realiza con fuerza humana, pero se desconoce el nivel de productividad de esta operación. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del diámetro de los trocitos de 4 ft (1.22 m) de largo y las distancias hasta el camión sobre el rendimiento de la carga manual, partiendo del supuesto que estas variables no tienen influencia significativa en la operación.

mountain system. It is dominated by pine-oak vegetation associations composed of *Pinus durangensis* Martínez, *P. cooperi* C. E. Blanco, *P. engelmannii* Carr., *P. douglasiana* Martínez, *P. strobiformis* Engelmann, *P. lumholtzii* B. L. Rob. & Fernald, *Picea chihuahuana* Martínez, *Cupressus* sp. and *Quercus* sp. (PRO FLORESTA S. C., 2008).

Logging in the study area is prescribed by the Silvicultural Development Method and variants of the Selection Method. Trees are felled using a chainsaw; logs are cut from 8 ft to 34 ft in length plus bracing (2.44 m to 10.36 m) with a minimum diameter of 8 in (20.32 cm) and, for secondary products, with a minimum diameter of 4 in (10.16 cm) with lengths of 4 ft to 8 ft (1.22 m to 2.44 m).

Log handling is carried out with mechanical cranes, skidders or animal traction, and log transport is done manually or mechanized (Nájera-Luna et al., 2012).

## Methods

Field data were collected from the performance of eight forest workers, divided into four brigades of two people per truck, who manually carry out short pine logs; in this case, 4 ft long logs (1.22 m) on relatively flat sites with no more than 15% slope.

Each loading cycle was divided into two movements: the first, when the worker begins walking to the log to carry it, and the second, when he bends down to lift the log off the ground or roll it to the truck where he places it on the truck platform for another worker to place the load.

Work times were timed with an accuracy of hundredths of a second using the 'back to zero' method, which consists of measuring the time directly in each element of the work cycle, returning the stopwatch to zero to take the time of the next element (Peralta et al., 2014). Main and complementary activities to support the work were considered as productive time and breaks and interferences during the work cycle were considered as unproductive time.

In addition to work time, *in situ*, distance (m) of the location of each log carried to the nearest part of the transport truck platform was recorded and the diameter dimensions of each log were taken to calculate its volume using the Smalian formula (Cruz de León & Uranga-Valencia, 2013):

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

where,

$V$  = log volume ( $m^3$ )

$A_1$  = area of the larger log section ( $m^2$ )

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en los bosques naturales de la UMAFOR 1008 'El Salto', al suroeste del estado de Durango, México, en el sistema montañoso Sierra Madre Occidental. Ahí predominan asociaciones vegetales de pino-encino compuestas por *Pinus durangensis* Martínez, *P. cooperi* C. E. Blanco, *P. engelmannii* Carr., *P. douglasiana* Martínez, *P. strobiformis* Engelmann, *P. lumholtzii* B. L. Rob. & Fernald, *Picea chihuahuana* Martínez, *Cupressus* sp. y *Quercus* sp. (PRO FLORESTA S. C., 2008).

La prescripción de las cortas en el área de estudio corresponde al Método de Desarrollo Silvícola y variantes del Método de Selección. Los árboles se derriban con motosierra; las trozas para aserrío se seccionan de 8 ft a 34 ft de largo más refuerzo (2.44 m a 10.36 m) con un diámetro mínimo de 8 in (20.32 cm) y, para productos secundarios, con un diámetro mínimo de 4 in (10.16 cm) de diámetro con longitudes de 4 ft a 8 ft (1.22 m a 2.44 m).

El arrastre de las trozas se hace con apoyo de grúas mecánicas, *skidder* o tracción animal y la carga se realiza en forma manual o mecanizada (Nájera-Luna et al., 2012).

### Métodos

Los datos de campo se colectaron a partir del desempeño de ocho trabajadores forestales, repartidos en cuatro brigadas de dos personas por camión, que realizan la carga manual de trocería de pino de cortas dimensiones; en este caso, trocitos de 4 ft de largo (1.22 m) en sitios relativamente planos que no superan 15 % de pendiente.

Cada ciclo de carga se dividió en dos movimientos: el primero, cuando el trabajador comienza a caminar hasta llegar a la troza por cargar y el segundo, cuando se inclina para levantar la troza del suelo o la hace rodar hasta el sitio de carga donde la coloca en la plataforma del camión para que otro trabajador acomode la carga.

Los tiempos de trabajo se cronometraron con una precisión de centésimas de segundo utilizando el método de 'vuelta a cero', que consiste en medir el tiempo en forma directa en cada elemento del ciclo de trabajo, regresando el cronómetro a cero para tomar el tiempo del siguiente elemento (Peralta et al., 2014). Como tiempo productivo se consideraron las actividades principales y complementarias de apoyo al trabajo y, como tiempo improductivo, los descansos e interfecciones durante el ciclo de trabajo.

Además del tiempo de trabajo, *in situ*, se registró la distancia (m) de ubicación de cada troza cargada con respecto a la parte más cercana de la plataforma del camión de transporte y se tomaron las dimensiones de

$A_2$  = area of the smaller log section ( $m^2$ )  
 $L$  = length of the log (m).

As an approximation to know the mass of the logs carried, the volume was multiplied by the average density of wood in wet or green condition for *Pinus* species in Mexico, which has been reported to be  $900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (FAO et al., 2020).

For determining the sample size, a pre-sampling of 100 manual loading cycles was carried out, thereafter the number of work cycles required to reach an admissible sampling error of 5 % suggested by do Nascimento-Santos et al. (2018) was determined:

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

where,

$n$  = manual log loading cycles required  
 $t$  = Student's t-value at 95 % probability  
 $s$  = variance  
 $E$  = admissible sampling error (%)

Consequently, the sample size was estimated at 571 manual log loading cycles; however, 738 work cycles distributed in three diameter classes and four loading distance intervals were measured (Table 1).

The loading cycle efficiency ( $R$ ,  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ) was estimated with the data of time ( $t$ , h) and log volume ( $v$ ,  $\text{m}^3$ ) using the relationship  $R = v / t$  (Simões et al., 2014). The efficiency of manual loading distance in the work cycle ( $\text{Edc}$ ,  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) was derived as a function of log volume ( $\text{m}^3$ ), loading distance ( $d$ , m) and total work time (TT) using the following formula (Takimoto & Yovi, 2003):

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

Finally, the operational efficiency (OE, %) was determined from the effective time worked regarding the total work cycle time by (Cavassin-Diniz et al., 2018):

$$\text{EO} = \left( \frac{\text{TT} - \text{TI}}{\text{TT}} \right) (100)$$

where,

TT = total work cycle time (h)  
 NT = non-productive work cycle time (h).

### Statistical analysis

To characterize diameter, length, volume and weight of logs, as well as the distance and duration of the

los diámetros de cada troza para cubicar su volumen con la fórmula de Smalian (Cruz de León & Uranga-Valencia, 2013):

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

donde,

$V$  = volumen de la troza ( $\text{m}^3$ )  
 $A_1$  = área de la sección mayor de la troza ( $\text{m}^2$ )  
 $A_2$  = área de la sección menor de la troza ( $\text{m}^2$ )  
 $L$  = largo de la troza (m).

Como una aproximación para conocer la masa de los trocitos cargados, el volumen se multiplicó por la densidad promedio de la madera en condición húmeda o verde para las especies del género *Pinus* de México que se ha reportado en  $900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (FAO et al., 2020).

Para determinar el tamaño de la muestra, se realizó un muestreo de 100 ciclos de carga manual, a partir de ello se determinó el número de ciclos de trabajo requeridos para alcanzar un error de muestreo admisible del 5 % sugerido por do Nascimento-Santos et al. (2018):

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

donde,

$n$  = ciclos de carga manual requeridos  
 $t$  = valor t de *Student* al 95 % de probabilidad  
 $s$  = varianza  
 $E$  = error de muestreo admisible (%)

En consecuencia, el tamaño de muestra se estimó en 571 ciclos de carga manual; sin embargo, se midieron 738 ciclos de trabajo distribuidos en tres clases diamétricas y cuatro intervalos de distancia de carga (Cuadro 1).

El rendimiento del ciclo de carga ( $R$ ,  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ) se estimó con los datos del tiempo ( $t$ , h) y el volumen de las trozas ( $v$ ,  $\text{m}^3$ ) mediante la relación  $R = v / t$  (Simões et al., 2014). La eficiencia de la distancia de carga manual en el ciclo de trabajo ( $\text{Edc}$ ,  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) se obtuvo en función del volumen de los trocitos ( $\text{m}^3$ ), la distancia de carga ( $d$ , m) y el tiempo total de trabajo (TT) mediante la fórmula siguiente (Takimoto & Yovi, 2003):

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

Finalmente, la eficiencia operacional (EO, %) se obtuvo a partir del tiempo efectivo trabajado en relación con el tiempo total del ciclo de trabajo mediante (Cavassin-Diniz et al., 2018):

**Table 1. Log distribution by diameter class and manual loading distance of 4 ft (1.22 m) logs in 738 work cycles (4.40 % sampling error).**

**Cuadro 1. Distribución de las trozas por categoría diamétrica y de distancia de carga manual de trocitos de 4 ft (1.22 m) en 738 ciclos de trabajo (4.40 % error de muestreo).**

Diameter category/ Categoría diamétrica (cm)	Logs per category/ Trozas por categoría (n)	Loading distance/ Distancia de carga (m)	Logs per category/ Trozas por categoría (n)
10-20	400	0-5	535
20.1-30	289	5.1-10	142
>30	49	10.1-15	26
		>15	35
Total	738		738

work cycle stages, regarding the yield per diameter and distance category, tables with statistics of central tendency and position measures (medians with the quartiles Q1 and Q3) were elaborated. The hypothesis of normality of yield and efficiency according to distance in the work cycle was evaluated with the Kolmogorov-Smirnov test.

Significant statistical differences in yield and work cycle efficiency between diameter classes and between loading distances were determined by nonparametric analysis of variance and Kruskal-Wallis median rank comparison tests ( $\alpha = 0.05$ ) using the InfoStat software version 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

## Results

### General information about the manual loading cycle

Kolmogorov-Smirnov test showed that yield and distance efficiency of the work cycle were not from a normally distributed population ( $P < 0.0001$ ). According to Table 2, the yield of the manual loading cycle ranged between 3.80 and 16.42  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  influenced by the diameter of logs and loading distance. The yield increased as the diameter of logs increases and decreased at longer loading distance.

Load volume is mostly composed of logs of 20 to 30 cm (49 %) and 10 to 20 cm in diameter (33 %), which together represent 82 % of the log load. Each log needs 10 to 35 s to complete a work cycle, where 60 % of the productive time is spent lifting, moving and placing each log on the truck loading platform.

In terms of distance, 74 % of the load volume is found in the first 5 m from the truck, while up to a distance of 10 m, this volume reaches 91 %. For the first 10 m of the truck, the loading cycle per log takes 15 s, but

$$EO = \left( \frac{TT-TI}{TT} \right) (100)$$

donde,

TT= tiempo total del ciclo de trabajo (h)

TI = tiempo improductivo del ciclo de trabajo (h).

### Análisis estadístico

Para caracterizar el diámetro, longitud, volumen y peso de las trozas, así como la distancia y duración de las etapas del ciclo de trabajo, en relación con el rendimiento por categoría diamétrica y de distancia, se elaboraron tablas con estadísticos de tendencia central y medidas de posición (medianas con los cuartiles Q1 y Q3). La hipótesis de normalidad del rendimiento y de la eficiencia según la distancia en el ciclo de trabajo, se evaluó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Las diferencias estadísticas significativas en el rendimiento y eficiencia del ciclo de trabajo entre las clases diamétricas y entre distancias de carga, se determinaron mediante análisis de varianza no paramétrica y pruebas de comparación de rangos de la mediana de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ) utilizando el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

## Resultados

### Generalidades sobre el ciclo de carga manual

La prueba de Kolmogorov-Smirnov mostró que el rendimiento y la eficiencia de la distancia en el ciclo de trabajo no provienen de una población con distribución normal ( $P < 0.0001$ ). De acuerdo con el Cuadro 2, el rendimiento del ciclo de carga manual osciló entre 3.80 y 16.42  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  influenciado por el diámetro de los trocitos y la distancia de carga. El rendimiento incrementó conforme el diámetro de los trocitos aumenta y se redujo a una distancia mayor de carga.

**Table 2. Characteristics of the manual loading cycle for 4 ft long logs per diameter classes and loading distance.**  
**Cuadro 2. Características del ciclo de carga manual para trocitos de 4 ft de largo por clases de diámetro y distancia de carga.**

Log load variables / Variables de carga	Log diameter category (cm) / Por clase diamétrica de los trocitos (cm)*			
	10.0-20.0	20.1-30.0	>30	
Length of logs (m) / Largo de los trocitos (m)	1.2	1.2	1.2	
Diameter of logs (m) / Diámetro de los trocitos (m)	0.18 (0.15-0.20)	0.25 (0.23-0.27)	0.35 (0.33-0.38)	
Volume of logs (m <sup>3</sup> ) / Volumen de los trocitos (m <sup>3</sup> )	0.03 (0.02-0.03)	0.06 (0.05-0.07)	0.12 (0.10-0.14)	
Total loaded volume (m <sup>3</sup> ) / Volumen total cargado (m <sup>3</sup> )	11.27	16.92	5.99	
Approximate weight of logs (kg) / Peso aproximado de los trocitos (kg)	29.40 (21.60-36.50)	59.90 (49.10-67.30)	117.30 (101.70-135.30)	
Load distance (m) / Distancia de carga (m)	3.00 (2.0-6.0)	3.00 (2.0-6.0)	2.50 (2.0-5.0)	
Time reaching the log (s) / Tiempo de desplazamiento hacia el trocito (s)	4 (2-6)	3 (2-6)	4 (2-5)	
Log lifting and loading time (s) / Tiempo de levantamiento y carga del trocito (s)	6 (3-10)	8 (5-13)	17 (10-26)	
Total working cycle time (s) / Tiempo total del ciclo de trabajo (s)	11 (7-18)	12 (8-20)	27 (19-43)	
Maximum working cycle time (s) / Tiempo máximo del ciclo de trabajo (s)	375	219	329	
Minimum working cycle time (s) / Tiempo mínimo del ciclo de trabajo (s)	1	4	6	
Manual load efficiency (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) / Rendimiento de la carga manual (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	8.66 (5.46-14.18)	16.42 (10.10-26.03)	15.99 (9.73-23.00)	
Load distance efficiency (m <sup>3</sup> ·m <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ) / Eficiencia de la distancia de carga (m <sup>3</sup> ·m <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	2.49 (0.96-5.28)	5.28 (2.04-9.59)	4.25 (1.16-11.97)	
Operational efficiency of manual cycle (%) / Eficiencia operacional del ciclo manual (%)	100	100	100	
Work cycles (n) / Ciclos de trabajo (n)	400	289	49	
<b>By type load distance (m)* / Por clase de distancia de carga (m)*</b>				
	<b>0.0-5.0</b>	<b>5.1-10.0</b>	<b>10.1-15.0</b>	<b>&gt;15</b>
Length of logs (m) / Largo de los trocitos (m)	1.2	1.2	1.2	1.2
Diameter of logs (m) / Diámetro de los trocitos (m)	0.20 (0.18-0.25)	0.20 (0.17-0.23)	0.18 (0.16-0.24)	0.21 (0.16-0.29)
Volume of logs (m <sup>3</sup> ) / Volumen de los trocitos (m <sup>3</sup> )	0.04 (0.02-0.06)	0.37 (0.02-0.04)	0.031 (0.02-0.05)	0.041 (0.02-0.08)
Total loaded volume (m <sup>3</sup> ) / Volumen total cargado (m <sup>3</sup> )	25.26	5.80	0.99	2.15
Approximate weight of logs (kg) / Peso aproximado de los trocitos (kg)	38.30 (29.40-59.90)	36.50 (27.7-48.8)	31.10 (24.60-55.30)	40.90 (24.90-80.60)
Load distance (m) / Distancia de carga (m)	3.00 (2.00-4.00)	7.00 (6.0-9.0)	12.00 (12.00-13.00)	30.00 (30.00-30.00)

\* Medians and in parentheses values of Quartiles Q1 and Q3.

\*Medianas y entre paréntesis valores de los Cuartiles Q1 y Q3.

**Table 2. Characteristics of the manual loading cycle for 4 ft long logs per diameter classes and loading distance. (cont.)****Cuadro 2. Características del ciclo de carga manual para trocitos de 4 ft de largo por clases de diámetro y distancia de carga. (cont.)**

Log load variables / Variables de carga	Log diameter category (cm)*/ Por clase diamétrica de los trocitos (cm)*			
	0.0-5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	>15
Time reaching the log (s)/ Tiempo de desplazamiento hacia el trocito (s)	3 (2-4)	6 (5-8)	12 (9-13)	7 (5-10)
Log lifting and loading time (s)/ Tiempo de levantamiento y carga del trocito (s)	6 (4-10)	9 (6-13)	15 (13-19)	25 (15-36)
Total working cycle time (s)/ Tiempo total del ciclo de trabajo (s)	10 (7-16)	15 (11-21)	27 (22-33)	35 (25-50)
Maximum working cycle time (s)/ Tiempo máximo del ciclo de trabajo (s)	375	200	203	119
Minimum working cycle time (s)/ Tiempo mínimo del ciclo de trabajo (s)	1	3	18	24
Manual load efficiency (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )/ Rendimiento de la carga manual (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	14.36 (8.48-21.93)	8.66 (5.65-11.75)	3.80 (2.89-6.58)	4.63 (2.39-9.67)
Load distance efficiency (m <sup>3</sup> ·m <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )/ Eficiencia de la distancia de carga (m <sup>3</sup> ·m <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	5.28 (2.76-9.51)	1.06 (0.71-1.74)	0.32 (0.23-0.57)	0.17 (0.11-0.32)
Operational efficiency of manual cycle (%)/ Eficiencia operacional del ciclo manual (%)	100	100	100	100
Work cycles (n)/Ciclos de trabajo (n)	535	142	26	35

\* Medians and in parentheses values of Quartiles Q1 and Q3.

\*Medianas y entre paréntesis valores de los Cuartiles Q1 y Q3.

at distances greater than 10 m, more than double the time is required, because the work of lifting, moving and placing a log on the truck consumes up to 70 % of the productive work time. Therefore, log collection at distances greater than 10 m negatively affects productivity, even though they only represent 9 % of the volume.

The high efficiency (100 %) detected in the work cycle also is remarkable, which indicates that interruptions due to unproductive time were irrelevant in this operation, probably because it is based on piecework and not on a base salary.

It is important to know the influence that the distance factor has on the volume that can be carried in an hour of work for each meter of distance that each piece is located with respect to the truck. In this regard, the results indicate yields in the order of 2.48 m<sup>3</sup>·m<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> with logs 1.2 m long and 10 to 20 cm in diameter, and 5.28 m<sup>3</sup>·m<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> with logs larger than 20 cm. By loading distance, this indicator corresponds to 5.28 m<sup>3</sup>·m<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> for logs within the first 5 m with respect to the truck and decreases considerably to 0.17 m<sup>3</sup>·m<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> with logs that are carried more than 15 m away.

El volumen de carga se compone en su mayoría por trocitos de 20 a 30 cm (49 %) y de 10 a 20 cm de diámetro (33 %) que en conjunto representan 82 % de la carga. Cada trocito requiere de 10 a 35 s para completar un ciclo de trabajo, donde 60 % del tiempo productivo se emplea en levantar, trasladar y acomodar cada troza en la plataforma de carga.

Con respecto a la distancia, 74 % del volumen de carga se encuentra en los primeros 5 m con respecto al camión, mientras que, hasta los 10 m de distancia, dicho volumen alcanza 91 %. En los primeros 10 m del camión, el ciclo de carga por trocito se realiza en 15 s, pero a distancias mayores de 10 m se requiere más del doble de tiempo, pues en las labores para levantar, trasladar y acomodar una troza en el camión se consume hasta 70 % del tiempo productivo de trabajo. Por tanto, la colecta de trocitos a distancias mayores de 10 m afecta negativamente la productividad aun cuando solo representan 9 % del volumen.

Resalta también la eficiencia alta (100 %) detectada en el ciclo de trabajo, lo que indica que las interrupciones por tiempo improductivo fueron irrelevantes en esta operación motivado tal vez porque esta se realiza a destajo y no por salario base.

### Manual loading efficiency between diameter and distance categories

Yield comparison showed significant differences ( $P < 0.05$ ) between diameter classes and loading distances (Table 3). According to diameter, load yield of logs larger than 20 cm is 47 % higher than that of logs between 10 and 20 cm. In terms of load distance, from 5 to 10 m from the truck, the yield decreases 40 % compared to the first 5 m from the truck and 70 % at distances greater than 10 m.

### Efficiency of load distance between diameter and distance categories

Table 4 shows that the efficiency of distance on loading yield had significant differences ( $P < 0.05$ ) between diameter and distance classes, so the volume loaded per meter of distance and hour is 71 % higher in logs larger than 20 cm compared to logs from 10 to 20 cm in diameter. Regarding the loading distance, the volume loaded per meter of distance and hour decreases 80 % in the first 5 to 10 m of distance from the truck and 97 % over 10 m.

The efficiency of manual loading is due to the variation in the dimensions of logs located at all the distances evaluated, so it is possible to increase it by decreasing the loading distances, even if this means increasing the loading cycle time for the displacement and positioning of the truck.

Es importante conocer la influencia que el factor distancia tiene en cuanto al volumen que puede ser cargado en una hora de trabajo por cada metro de distancia a la que se encuentre cada trocito con respecto al camión. Al respecto, los resultados indican rendimientos del orden de  $2.48 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  con trocitos de 1.2 m de largo y de 10 a 20 cm de diámetro, y  $5.28 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  con trocitos mayores de 20 cm. Por distancia de carga, este indicador corresponde a  $5.28 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  para las trozas que se encuentran en los primeros 5 m respecto al camión y disminuye considerablemente hasta  $0.17 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  con trocitos que se cargan a más de 15 m de distancia.

### Rendimiento en la carga manual entre categorías de diámetro y distancia

La comparación del rendimiento resultó con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre clases diamétricas y distancias de carga (Cuadro 3). Por diámetro, el rendimiento de la carga en trocitos mayores de 20 cm es 47 % superior al de los trocitos de 10 a 20 cm. Por distancia de carga, a partir de los 5 a 10 m del camión, el rendimiento disminuye 40 % con respecto a los primeros 5 m del camión y 70 % a distancias mayores de 10 m.

### Eficiencia de la distancia de carga entre categorías de diámetro y distancia

El Cuadro 4 indica que la eficiencia de la distancia en el rendimiento de carga presentó diferencias

**Table 3. Yield of manual load of 4 ft (1.22 m) logs between diameter categories and load distances.**

**Cuadro 3. Rendimiento de la carga manual de trocitos de 4 ft (1.22 m) entre categorías de diámetro y distancias de carga.**

Classes/ Clases	Median/ Medianas ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	Average of ranges/ Promedio de rangos	Gl	C	H	P value/ Valor P
Among diameter of logs loaded (cm)/Entre diámetro de los trocitos cargados (cm)						
10 - 20	8.66	291.37 a				
20.1 - 30	16.42	464.02 b	2	1	17.49	<0.0001
>30	15.99	449.86 b				
Among distances of logs loaded (m)/Entre distancias de carga de los trocitos (m)						
0 - 5	14.36	418.48 c				
5.1 - 10	8.66	275.96 b	3	1	119.92	<0.0001
10.1 - 15	3.80	124.35 a				
>15	4.63	182.39 a				

Df: degrees of freedom; C: correction factor of the statistic for tied observations; H: test statistic not corrected for ties. Mean median ranks with the same letter are not significantly different according to the Kruskal-Wallis test ( $P = 0.05$ ).

Gl: grados de libertad; C: factor de corrección del estadístico por observaciones empatadas; H: estadístico de la prueba no corregido por empates. Promedio de rangos de la mediana con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis ( $P = 0.05$ ).



**Table 4. Distance efficiency in manual loading yield of 4 ft (1.22 m) logs between diameter categories and loading distances.****Cuadro 4. Eficiencia de la distancia en el rendimiento de la carga manual de trocitos de 4 ft (1.22 m) entre categorías de diámetro y distancias de carga.**

Classes/ Clases	Median/ Medianas (m <sup>3</sup> ·m <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	Average of ranges/ Promedio de rangos	Df/Gl	C	H	P
Between diameter of logs loaded (cm) (cm)/Entre diámetro de los trocitos cargados (cm)						
10 - 20	2.485	317.69 a				
20.1 - 30	5.280	422.83 b	2	1	51.76	<0.0001
>30	4.250	418.95 b				
Between load distances of logs (m)/Entre distancias de carga de los trocitos (m)						
0 - 5	5.280	454.89 c				
5.1 - 10	1.060	185.74 b	3	1	330.00	<0.0001
10.1 - 15	0.325	64.23 a				
>15	0.170	36.59 a				

Gl: degrees of freedom; C: correction factor of the statistic for tied observations; H: test statistic not corrected for ties. Mean median ranks with the same letter are not significantly different according to the Kruskal-Wallis test ( $P = 0.05$ ).

Gl: grados de libertad; C: factor de corrección del estadístico por observaciones empatadas; H: estadístico de la prueba no corregido por empates. Promedio de rangos de la mediana con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis ( $P = 0.05$ ).

## Discussion

Gülci and Erdaş (2018) reported a yield of 3.40 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> in manual loading at the foot of the gap for *Pinus brutia* Ten logs in Turkey with 0.06 m<sup>3</sup> per cycle in 64 s, where the most time-consuming work stage (46 %) was stacking on the truck platform. The manual loading performance of these authors is consistent with that found in this study for a distance of 12.0 m with 3.8 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> (Table 3), but the volume of the loaded log (0.03 m<sup>3</sup>) and the duration of the work cycle (37 seconds) differ. The above indicates that, for each loading cycle at the foot of the gap in the forests of Turkey, it is possible to load up to 2.4 logs of half the volume of the reference study and at a distance of 12 m from the truck in El Salto, Durango. It is important to emphasize that Gülci and Erdaş (2018) mention that the logs are loaded by two people and placed in the truck by two other workers, but in this study, the loading is usually carried out by one worker and another one places the load in the truck. This situation requires adjusting the techniques and work methods for manual loading according to size, volume, weight and loading distance of the logs, as well as the maneuverability restrictions for people and equipment imposed by the selective cuts. This type of cutting is characteristic of the study area, where it has been proven that productivity is affected by longer loading distances needed to complete each work cycle.

Working conditions may be acceptable as long as a harvest volume is available to cover the costs of

significativas ( $P < 0.05$ ) entre clases diamétricas y de distancia, de tal forma que el volumen cargado por cada metro de distancia y hora es 71 % mayor en trozas que sobrepasan los 20 cm respecto a los trocitos de 10 a 20 cm de diámetro. Con respecto a la distancia de carga, el volumen cargado por cada metro de distancia y hora disminuye 80 % en los primeros 5 a 10 m de distancia del camión y 97 % a más de 10 m.

El rendimiento en la carga manual obedece a la variación de las dimensiones de las trozas localizadas en todas las distancias evaluadas, por lo que es posible aumentarlo disminuyendo las distancias de carga, aunque esto represente aumentar el tiempo del ciclo de carga para el desplazamiento y acomodo del camión.

## Discusión

Gülci y Erdaş (2018) reportaron un rendimiento de 3.40 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> en la carga manual a pie de brecha para trozas de *Pinus brutia* Ten en Turquía con 0.06 m<sup>3</sup> por ciclo en 64 s, donde la etapa de trabajo que más tiempo consumió (46 %) fue el apilamiento en la plataforma del camión. El rendimiento de la carga manual de estos autores es consistente con el obtenido en este estudio para una distancia de 12.0 m con 3.8 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> (Cuadro 3), pero el volumen del trocito cargado (0.03 m<sup>3</sup>) y la duración del ciclo de trabajo (37 segundos) difieren. Lo anterior indica que, por cada ciclo de carga a pie de brecha en los bosques de Turquía, es posible cargar hasta 2.4 trocitos de la mitad del volumen del estudio

a fragmented collection (Spinelli et al., 2017). In another study, Silayo et al. (2010) reported a manual loading yield of 3.80 to 23.30  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  for logs of 3.9 to 5.1 m long (average of 4.5 m) from plantations of *Pinus patula* Schlttdl. & Cham. of 26 years in Tanzania. This yield is also similar to that found in this study (3.80 a 16.42  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ; Table 2), despite the 3.3 m difference in log length between the two studies, although in Tanzania it is reported that the loading was at the foot of the gap carried by a crew of six workers, due to the size and weight of the logs.

Weight also increases with the increase in length and diameter of the logs, which makes their handling more difficult, so there is a need to evaluate the alternative of partial or total mechanization of loading operation (Spinelli et al., 2017). In this study, despite one person usually loads the logs, when it comes to bulky and heavier logs, at least two workers are required. Therefore, in manual loading, the size of the logs should be small enough to be maneuvered without major effort by the workers, but at the same time, their dimensions should be acceptable for the market (Gülci & Erdaş, 2018). Larger sizes involve overexertion of workers and unhealthy body postures that can affect the productivity of manual loading and could lead to an accident or physical and emotional exhaustion (Quintana et al., 2022).

In this study, the approximate weight of the logs ranged from 29 to 117 kg (Table 2), 30 % of which exceeded 50 kg and were sometimes carried by a single person, even though logs above this weight must be carried by at least two workers as stipulated by the STyPS (2009).

Despite this and as noted in this paper, forestry workers are exposed to carrying weights above tolerable limits, even when the maximum acceptable for optimal handling is 25 kg per person (Barbosa et al., 2014; Fiedler et al., 2015; Minette et al., 2018). This load limit is based on the US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) lifting equation, which states that at least 90 % of adult persons can lift 25 kg per person without adverse health effects (Waters et al., 2021). In this study, 75 % of the loaded logs weighed more than 25 kg and were usually handled by a single worker, which implies greater exposure to overexertion and physical wear and tear.

Finally, to reduce health risks, some authors recommend rolling the logs closer and placing the truck near a slope so that gravity facilitates handling and thus reduces the physical effort of the worker (Figueredo-Fernández et al., 2020). However, this alternative is limited to harvesting areas with adequate slopes and no obstacles to move the logs downhill with the help of gravity (Kaakkurivaara & Kaakkurivaara, 2018) and not for conditions in relatively flat terrain with obstacles as was the case in this study.

de referencia y a una distancia de 12 m del camión en El Salto, Durango. Es importante acotar que Gülci y Erdaş (2018) mencionan que las trozas son cargadas por dos personas y acomodadas en el camión por otros dos trabajadores, mientras que, en este estudio, la carga la realiza generalmente un trabajador y otro acomoda la carga en el camión. Esta situación requiere el ajuste de las técnicas y métodos de trabajo en la carga manual en función del tamaño, volumen, peso y distancia de carga de las trozas, así como de las restricciones de maniobrabilidad para el personal y equipo que imponen las cortas selectivas. Tales cortas son características del área de estudio donde se ha comprobado que la productividad es afectada por distancias mayores de carga recorridas para completar cada ciclo de trabajo.

Las condiciones de trabajo pueden ser aceptables siempre y cuando se disponga de un volumen de extracción que permita cubrir los costos de una colecta fragmentada (Spinelli et al., 2017). En otro estudio, Silayo et al. (2010) reportaron un rendimiento en la carga manual de 3.80 a 23.30  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  en trozas de 3.9 a 5.1 m de largo (promedio de 4.5 m) provenientes de plantaciones de *Pinus patula* Schlttdl. & Cham. de 26 años en Tanzania. Este rendimiento también es similar al obtenido en el presente estudio (3.80 a 16.42  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ; Cuadro 2), a pesar de la diferencia de 3.3 m en el largo de las trozas entre ambos estudios, aunque en Tanzania se reporta que la carga se realizó a pie de brecha por una cuadrilla de seis trabajadores, debido a las dimensiones y peso de las trozas.

Cabe mencionar que el peso también incrementa con el aumento en la longitud y diámetro de las trozas, lo cual dificulta su manipulación, por lo que hay necesidad de valorar la alternativa de la mecanización parcial o total de la operación de carga (Spinelli et al., 2017). En el presente estudio, a pesar de que, por lo regular, una sola persona realiza la carga, cuando se trata de trocitos voluminosos y más pesados se requieren al menos dos trabajadores. Por lo anterior, en la carga manual, el tamaño de las trozas debe ser lo suficientemente pequeña para ser maniobrada sin mayor esfuerzo por los trabajadores, pero al mismo tiempo, sus dimensiones deben ser aceptables para el mercado (Gülci & Erdaş, 2018). Los tamaños mayores implican sobreesfuerzos de los trabajadores y posturas corporales poco saludables que pueden vulnerar la productividad de la carga manual, además de que podrían conducir a un accidente o desgaste físico y emocional (Quintana et al., 2022).

En este estudio, el peso aproximado de las trozas fluctuó de 29 a 117 kg (Cuadro 2), 30 % de ellas rebasaron los 50 kg y se cargaron en ocasiones por una sola persona, aun cuando, a partir de ese peso, las trozas deben ser cargadas por al menos dos trabajadores según lo estipula la STyPS (2009).

## Conclusions

The yield of manual loading of logs varies depending on diameter and loading distance. Logs larger than 20 cm in diameter achieve 53 % more yield than those between 10 and 20 cm. In the first 10 m distance from the truck, 91 % of the loading volume is found and 15 seconds are required to load each log. At distances greater than 10 m, the yield decreases up to 70 %, since twice as much time is required to complete a work cycle; in addition, the worker's physical effort is greater and there is a risk of bodily injury, especially when lifting logs weighing more than 25 kg. Based on the results, it is recommended, as far as possible, to bring the trucks as close as possible to the logs to be loaded at a distance of 5 to 10 m, thus increasing efficiency.

## Acknowledgments

The authors thank the Tecnológico Nacional de México (TecNM) for funding the project "Operational, biometric and environmental evaluation of forest harvesting in the region of El Salto", from which this paper is derived.

*End of the English version*

## References / Referencias

- Barbosa, R. P., Fiedler, N. C., Carmo, F. C. D. A. D., Minette, L. J., & Silva, E. N. (2014). Análise de posturas na colheita florestal semimecanizada em áreas declivosas. *Revista Árvore*, 38(4), 733–738. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400016>
- Cataldo, M. F., Proto, A. R., Macrì, G., & Zimbalatti, G. (2020). Evaluation of different wood harvesting systems in typical Mediterranean small-scale forests: a Southern Italian case study. *Annals of Silvicultural Research*, 45(1), 1–11. <https://doi.org/10.12899/asr-1883>
- Cavassin-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. <https://doi.org/10.30969/acsa.v14i3.1050>
- Cruz de León, G., & Uranga-Valencia, L. P. (2013). Theoretical evaluation of Huber and Smalian methods applied to tree stem classical geometries. *Bosque*, 34(3), 311–317. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000300007>
- 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. <http://www.infostat.com.ar>
- do Nascimento-Santos, D. W. F., Fernandes, H. C., Valente, D. S. M., Gomes, B. M., Dadalto, J. P., & da Silva Leite, E. (2018). Desempenho técnico e econômico de distintos

A pesar de ello y como se ha señalado en este reporte, los trabajadores forestales están expuestos a cargar pesos superiores a los límites tolerables, incluso cuando el máximo aceptable para una manipulación óptima es de 25 kg por persona (Barbosa et al., 2014; Fiedler, et al., 2015; Minette et al., 2018). Este límite de carga se basa en la ecuación de levantamiento del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de EUA, la cual establece que al menos 90 % de las personas adultas pueden levantar 25 kg por persona sin efectos nocivos a la salud (Waters et al., 2021). En este estudio, 75 % de las trozas cargadas pesaron más de 25 kg y se manipularon por lo general por un solo trabajador, lo que presupone una exposición mayor a sobreesfuerzos y desgaste físico.

Finalmente, para reducir riesgos a la salud, algunos autores recomiendan acercar las trozas por rodamiento y ubicar el camión cerca de un talud para que la gravedad facilite su manipulación y así reducir el esfuerzo físico del trabajador (Figueredo-Fernández et al., 2020). No obstante, esta alternativa se limita a áreas de aprovechamiento con pendientes adecuadas y sin obstáculos para mover las trozas cuesta abajo con ayuda de la gravedad (Kaakkurivaara & Kaakkurivaara, 2018) y no para las condiciones en terrenos relativamente planos y con obstáculos como fue el caso de este estudio.

## Conclusiones

El rendimiento de la carga manual de trocitos varía en función del diámetro y la distancia de carga. Con trocitos mayores de 20 cm de diámetro se logra 53 % más rendimiento que con aquellos de 10 a 20 cm. En los primeros 10 m de distancia desde el camión se encuentra 91 % del volumen de carga y se requieren 15 segundos para cargar cada troza. A distancias mayores de 10 m, el rendimiento disminuye hasta 70 % pues se requiere el doble de tiempo para completar un ciclo de trabajo; además, implica un mayor esfuerzo físico del trabajador y riesgos de lesiones corporales, en especial cuando levanta trozas con un peso superior a 25 kg. Con base en los resultados se recomienda, en la medida de lo posible, acercar los camiones a una distancia de 5 a 10 m de las trozas por cargar y con ello aumentar el rendimiento.

## Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento al proyecto "Evaluación operacional, biométrica y ambiental del aprovechamiento forestal en la región de El Salto", del cual se originó el presente escrito.

*Fin de la versión en español*

- modelos de forwarders. *Nativa*, 6(3), 305–308. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i3.5070>
- Duncker, P. S., Barreiro, S. M., Hengeveld, G. M., Lind, T., Mason, W. L., Ambrozy, S., & Spiecker, H. (2012). Classification of forest management approaches: a new conceptual framework and its applicability to European forestry. *Ecology and Society*, 17(4), 51. <https://doi.org/10.5751/ES-05262-170451>
- Eker, M. (2011). Assessment of procurement systems for unutilized logging residues for Brutian pine forest of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 10(13), 2455–2468. doi: 10.5897/AJB10.2059
- FAO, ITTO & United Nations. (2020). Forest product conversion factors. Food and Agriculture Organization of the United Nations-International Tropical Timber Organization-United Nations Economic Commission for Europe. <https://doi.org/10.4060/ca7952en>
- Fiedler, N. C., Alexandre Filho, P. C. R. T., Gonçalves, S. B., de Assis do Carmo, F. C., & Lachini, E. (2015). Análise biomecânica da carga e descarga manual de madeira de eucalipto. *Nativa*, 3(3), 179–184. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n03a05>
- Figueredo-Fernández, J. L., Barrero-Medel, H., & Vidal-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), 204–21. <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v8n2/2310-3469-cfp-8-02-204.pdf>
- Grzywiński, W., Turowski, R., Naskrent, B., Jelonek, T., & Tomczak, A. (2020). The impact of season on productivity and time consumption in timber harvesting from young alder stands in lowland Poland. *Forests*, 11(10), 1081. <https://doi.org/10.3390/f11101081>
- Gülci, N., & Erdaş, O. (2018). Comparison of timber loading productivity between manual system and electric powered winch system. *European Journal of Forest Engineering*, 4(1), 1–6. [https://web.archive.org/web/20190427105600id\\_/https://dergipark.org.tr/download/article-file/486855](https://web.archive.org/web/20190427105600id_/https://dergipark.org.tr/download/article-file/486855)
- Kaakkurivaara, N., & Kaakkurivaara, T. (2018). Productivity and cost analysis of three timber extraction methods on steep terrain in Thailand. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(2), 213–221. <https://hrcak.srce.hr/file/300553>
- Labelle, E. R., & Lemmer, K. J. (2019). Selected environmental impacts of forest harvesting operations with varying degree of mechanization. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40(2), 239–257. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.537>
- Maesano, M., Picchio, R., Monaco, A. L., Neri, F., Lasserre, B., & Marchetti, M. (2013). Productivity and energy consumption in logging operation in a Cameroonian tropical forest. *Ecological Engineering*, 57, 149–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.013>
- Melemez, K., Di Gironimo, G., Esposito, G., & Lanzotti, A. (2013). Concept design in virtual reality of a forestry trailer using a QFD-TRIZ based approach. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(6), 789–801. <https://doi.org/10.3906/tar-1302-29>
- 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>
- Mihelič, M., Spinelli, R., & Poje, A. (2018). Production of wood chips from logging residue under space-constrained conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(2), 223–232. <https://hrcak.srce.hr/file/300554>
- Minette, L. J., Schettino, S., Souza, A. P., Soranso, D. R., & Barbosa, V. A. (2018). Colheita de madeira danificada pelo vento: carga física de trabalho e risco de LER/DORT aos trabalhadores. *Nativa*, 6(1), 66–72. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i1.4312>
- 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>
- Peralta, J. L., Jiménez, E. A., & Pérez, M. A. R. (2014). *Estudio del trabajo: una nueva visión*. Grupo Editorial Patria.
- PRO FLORESTA S. C. (2008). *Estudio regional forestal UMAFOR 1008 “Pueblo Nuevo” Estado de Durango*. [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1134ERF\\_UMAFOR1008.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1134ERF_UMAFOR1008.pdf)
- Quintana, A. R., González, D. R., & Miranda, D. G. (2022). Efectos y medidas preventivas en las actividades de aprovechamiento forestal en la provincia Granma (Original). *REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local*, 6(1), 83–95. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/download/2921/6028/>
- Schettino, S., Minette, L. J., Bermudes, W. L., Caçador, S. S., & Souza, A. P. (2017). Ergonomic study of timber manual loading in forestry fomentation areas. *Nativa*, 5(2), 145–150. <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n02a11>
- Silayo, D. S. A., Kiparu, S. S., Mauya, E. W., & Shemwetta, D. T. (2010). Working conditions and productivity under private and public logging companies in Tanzania. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(1), 65–74. <https://hrcak.srce.hr/file/86349>
- 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://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2990/pdf>
- Spinelli, R., Magagnotti, N., & Schweier, J. (2017). Trends and perspectives in coppice harvesting. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(2), 219–230. <https://hrcak.srce.hr/pretraga?q=Trends+and+perspectives+in+coppice+harvesting>
- Staćzykiewicz, A., Kulak, D., Leszczyński, K., Szewczyk, G., & Kozicki, P. (2021). Effectiveness and injury risk during timber forwarding with a quad bike in early thinning. *Forests*, 12(12), 1626. <https://doi.org/10.3390/f12121626>
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STyPS). (2009). *Extracción y transporte de trozas. Prácticas seguras en el sector forestal*. <https://>

[www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/publicaciones/prac\\_seg/prac\\_chap/PS%20Trozas.pdf](http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/publicaciones/prac_seg/prac_chap/PS%20Trozas.pdf)

- 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/jjfes/18/2/18\\_KJ00007485071/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfes/18/2/18_KJ00007485071/_pdf).
- Vanbeveren, S. P. P., Schweier, J., Berhongaray, G., & Ceulemans, R. (2015). Operational short rotation woody crop plantations: Manual or mechanised harvesting? *Biomass and Bioenergy*, 72, 8 – 18. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.11.019>
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., & Garg, A. (2021). *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, (DHHS-NIOSH). <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB94110revised092021>

