

Análisis no paramétrico de los tiempos de corte y troceo en función de la pendiente y el diámetro para *Pinus maestrensis* Bisse en la Unidad Silvícola Guisa

Non-parametric analysis of cutting and bucking times as a function of slope and diameter for *Pinus maestrensis* Bisse in the Guisa Silvicultural Unit

Alexey Rosabal Quintana¹  • Imilsis Virelles Espinosa²  • Alberto Vidal Corona³  • Daniel Álvarez Lazo⁴ 

Recibido: 27/3/2026

Aceptado: 25/5/2026

Abstract

This research was conducted in the Silvicultural Unit of Guisa with the objective of analyzing the effect of three slope conditions (20–30 %, 30–45 %, and 45–50 %) on the felling and bucking times of *Pinus maestrensis* Bisse, and their relationship with diameter, in order to propose strategies for optimizing operational efficiency. Systematic field observations were carried out in various logging areas. The statistical analysis included the Kruskal–Wallis test to evaluate differences in felling times among slopes and diameter classes, as well as Spearman's correlation coefficient to examine the relationships between the quantitative variables of the study. The results showed that felling time increases significantly with greater slope and larger diameter. Based on these findings, a strategy was formulated to reduce felling time, which includes the implementation of efficient tools, assignment of experienced operators, technical training, logistical optimization, and incentive systems.

Keywords: Forest operations, forest productivity, operational efficiency, timber harvesting, forest ergonomics.

1. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma. Bayamo, Cuba arosabalq@udg.co.cu

2. Universidad de Granma. Bayamo, Cuba. Cuba iverellese@udg.co.cu

3. Estación Experimental Agroforestal Camagüey. Camagüey, Cuba vidal56@nauta.cu

4. Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba. cubamaica@gmail.com

Resumen

La investigación se realizó en la Unidad Silvícola de Guisa con el objetivo de analizar el efecto de tres condiciones de pendiente (20–30 %, 30–45 % y 45–50 %) sobre los tiempos de corte y troceo de *Pinus maestrensis* Bisse, y su relación con el diámetro, para proponer estrategias de optimización de la eficiencia operativa. Se llevaron a cabo observaciones de campo sistemáticas en diversas áreas de tala. El análisis estadístico incluyó la prueba de Kruskal–Wallis para evaluar diferencias en los tiempos de corte entre pendientes y por clases diamétricas, así como el coeficiente de correlación de Spearman para estudiar las relaciones entre las variables cuantitativas del estudio. Los resultados mostraron que el tiempo de corte se incrementa significativamente a mayor pendiente y mayor diámetro. Con base en los hallazgos, se formuló una estrategia para reducir el tiempo de corte que incluye: implementación de herramientas eficientes, asignación de operarios expertos, capacitación técnica, optimización logística y sistemas de incentivos.

Palabras clave: Operaciones forestales, productividad forestal, eficiencia operativa, aprovechamiento maderero, ergonomía forestal.

Introducción

El aprovechamiento de las plantaciones forestales requiere una planificación cuidadosa y el uso de tecnologías adecuadas para asegurar la sostenibilidad de los recursos naturales, [1], [2].

Esta práctica, cuando se gestiona de forma sostenible, permite obtener recursos madereros, conservar la biodiversidad y restaurar suelos degradados. En este contexto, el género *Pinus* ha sido ampliamente utilizado en programas de reforestación y producción forestal, debido a su adaptabilidad y rápido crecimiento. En Cuba, el uso de especies del género *Pinus* ha cobrado relevancia en zonas montañosas, lo que plantea desafíos y oportunidades para mejorar su manejo y mitigar los impactos ecológicos asociados [3].

El aprovechamiento forestal de plantaciones de pino constituye una actividad económica de relevancia que requiere de una evaluación integral de sus componentes técnicos y económicos. Estudios especializados demuestran que la eficiencia en la extracción maderera está determinada por la interacción de múltiples factores, donde la selección de la maquinaria, las características topográficas del terreno y los sistemas de cosecha empleados inciden directamente en los indicadores de productividad y costo [4].

Investigaciones realizadas en plantaciones de *Pinus*

caribaea en Pinar del Río [5] han demostrado que la mecanización con equipos especializados incrementa significativamente los volúmenes de extracción, alcanzando productividades superiores a 20–25 m³ por jornada laboral. En contraste, la tracción animal, aunque limitada a 8–12 m³ por jornada, mostró costos unitarios más bajos en terrenos de pendiente pronunciada y en rodales de pequeña escala, con reducciones de hasta un 15 % en el costo por metro cúbico extraído. Estos resultados evidencian que la elección del método de aprovechamiento depende de las condiciones específicas del terreno y de la escala de producción, lo que justifica la necesidad de enfoques multivariados que integren variables técnicas, económicas y ambientales para optimizar la gestión forestal [6].

Para abordar esta complejidad en la planificación, la optimización multiobjetivo se configura como una herramienta fundamental, permitiendo considerar de forma simultánea objetivos económicos y de sostenibilidad que suelen estar en conflicto. En este sentido, modelos de vanguardia formulados en tiempo continuo, donde la variable de decisión principal es el tiempo de corte de cada unidad de manejo o parcela, evitan las limitaciones de la planificación por periodos discretos y ofrecen una solución más eficiente y flexible [7].

En este contexto, la investigación se orienta a analizar el efecto de tres condiciones de pendiente (20–30 %, 30–45 % y 45–50 %) sobre el tiempo de corte de *Pinus maestrensis* Bisse en la Unidad Silvícola de Guisa, con el propósito de diseñar estrategias que optimicen la eficiencia operativa. Este enfoque permite vincular de manera rigurosa las características topográficas y dasométricas con indicadores de productividad y costo, aportando criterios técnicos que favorecen un equilibrio entre la rentabilidad económica y la sostenibilidad del aprovechamiento forestal.

Material y métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en el área de manejo los Números en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse perteneciente al Unidad Silvícola Guisa de la Empresa Forestal Granma, localizada en la parte Oriental de Cuba (Figura 1).

Características del suelo

El área de manejo Los Números, perteneciente al ecosistema montañoso de la UEBS Guisa, se caracteriza por una litología dominada por andesitas y suelos ferralíticos rojos lixiviados [8]. La vegetación corresponde principalmente a bosque pluvial montano,

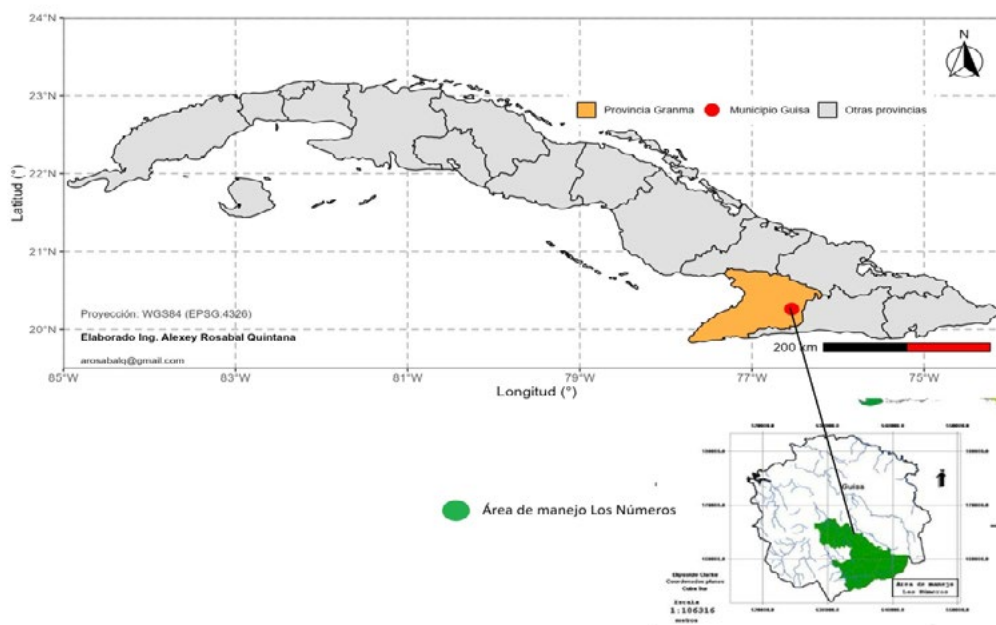


Figura 1. Rodales de estudio área de Manejo “Los Números”.

Figure 1. Study Stands in the “Los Números” Management Area.

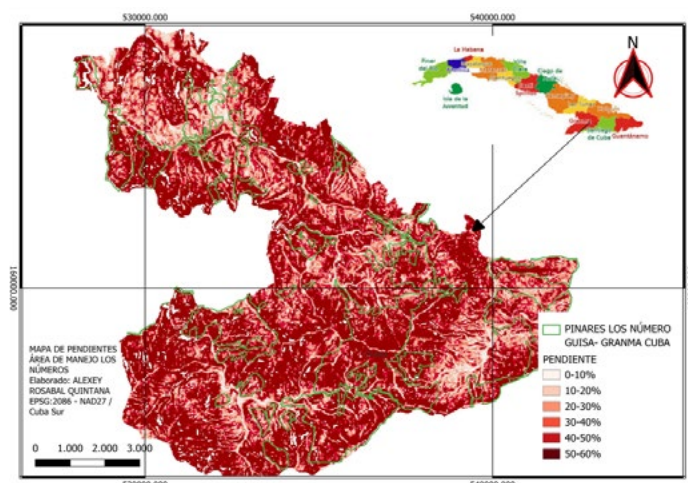


Figura 2. Mapa de pendientes del área de manejo “Los Números”.

Figure 2. Terrain Slope Map of the Los Números Management Area.

acompañado de parches de herbazales, lo que refleja una masa forestal diversa cuya riqueza y composición se ven afectadas por prácticas de aprovechamiento no sostenible [9]. La zona presenta una topografía variada, con pendientes que influyen directamente en la eficiencia de las operaciones de tala, aspecto que refuerza la necesidad de estrategias de gestión que integren factores técnicos (Figura 2).

Identificación de variables, diseño experimental y recolección de datos

Para identificar las variables que influyen en la eficiencia del aprovechamiento forestal de *Pinus maestrensis* Bisse, se realizaron observaciones de campo sistemáticas. El diseño experimental consideró como factor principal la pendiente del terreno, definida como variable independiente categórica con tres niveles: pendiente 1 (20–30 %), pendiente 2 (30–45 %) y pendiente 3 (45–50 %). Las variables dependientes fueron: tiempo de corte (desde el contacto de la motosierra con el árbol hasta su caída completa), tiempo de troceo (desde el inicio del descopado y troceado del fuste hasta la finalización de la última sección), diámetro a la altura del pecho (DAP, 1,30 m) y longitud total del árbol.

La unidad de análisis correspondió a cada árbol individual objeto de aprovechamiento. Se aplicó un muestreo estratificado por pendiente: en cada estrato se seleccionaron aleatoriamente parcelas de tala y dentro de ellas se midieron todos los árboles destinados a la corta. El tamaño de muestra total fue de 559 árboles: 183 en pendiente 1, 141 en pendiente 2 y 235 en pendiente 3.

Los tiempos de corte y troceo se registraron con cronómetro digital (precisión 0,01 s). El diámetro se midió con forcípula (precisión 0,1 cm) a 1,30 m de altura, y la longitud total se obtuvo con cinta métrica

(precisión 0,1 m) después del derribo. Todas las mediciones fueron realizadas por un mismo equipo de observadores previamente entrenados y anotadas en formularios estandarizados.

La recolección de datos se efectuó entre octubre y diciembre de 2024 en áreas de tala representativas de las tres condiciones de pendiente. Se aplicó un protocolo estandarizado de observación basado en directrices [10], mediante un formulario estructurado que recogía información sobre maquinaria, técnicas de corte, duración de las operaciones, condiciones climáticas y características del terreno. Para garantizar precisión y consistencia, se realizaron verificaciones cruzadas comparando registros de diferentes fuentes [11].

Análisis de datos

Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Para evaluar la normalidad del tiempo de corte en cada nivel de pendiente se aplicó la prueba de Shapiro Wilk. Los resultados indicaron ausencia de normalidad en los tres grupos: pendiente 1 ($p = 4,94 \times 10^{-10}$), pendiente 2 ($p = 2,48 \times 10^{-10}$) y pendiente 3 ($p = 6,07 \times 10^{-16}$). La prueba de Kolmogorov Smirnov también rechazó la normalidad. Asimismo, la prueba de Levene comprobó la homogeneidad de varianzas del tiempo de corte entre las tres pendientes y evidenció varianzas no homogéneas ($F = 59,576$; $p < 2,2 \times 10^{-16}$). La falta de normalidad y homocedasticidad justificó el empleo de métodos estadísticos no paramétricos.

Para comparar el tiempo de corte entre las tres condiciones de pendiente se aplicó la prueba de Kruskal Wallis. Posteriormente, el coeficiente de correlación de Spearman permitió analizar la fuerza y dirección de la

asociación entre las variables cuantitativas del estudio (tiempo de corte, diámetro, tiempo de troceo y longitud). Los resultados se interpretaron en el marco teórico, lo que facilitó la identificación de las principales variables que influyen en la operación y proporcionó la base para formular recomendaciones de optimización.

Para caracterizar la muestra, se calcularon estadísticos descriptivos cuadro 1. De las variables diámetro, tiempo de corte y tiempo de troceo para cada nivel de pendiente.

Prueba de Kruskal-Wallis

Debido a la naturaleza no paramétrica de los datos y a la falta de homogeneidad de varianzas, se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para comparar las medianas del tiempo de corte, el tiempo de troceo, el diámetro y la longitud entre los tres niveles de pendiente. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se realizaron comparaciones post hoc mediante la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni.

Para complementar el análisis, se generaron diagramas de caja (boxplots) que permitieron visualizar la distribución de los datos y las diferencias entre los grupos. Estos gráficos confirmaron los resultados obtenidos en las pruebas estadísticas y facilitaron la presentación del comportamiento de las variables en cada tipo de pendiente.

Análisis del tiempo de corte por clases diamétricas por pendiente

Para analizar el tiempo de corte según las clases diamétricas y la pendiente, se agruparon los árboles en clases diamétricas y se calcularon las medias

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos.

Table 1. Descriptive Statistics.

Variable	Estadístico	20-30%	30-45%	45-50%
Diámetro (cm)	Media $\pm$ DE	49,79 $\pm$ 27,954	52,04 $\pm$ 31,88	51,99 $\pm$ 19,4
Diámetro (cm)	Mediana	46,32	40,33	42,84
Diámetro (cm)	Mínimo	14	14,88	34,05
Diámetro (cm)	Máximo	109	140,25	107,43
Diámetro (cm)	Curtosis	-0,861		0,594
Tiempo de corte (min)	Media $\pm$ DE	64,92 $\pm$ 23,36	77,60 $\pm$ 28,67	95,09 $\pm$ 12,34
Tiempo de corte (min)	Mínimo	35	45	76
Tiempo de corte (min)	Máximo	135	201	140
Tiempo de troceo (min)	Media $\pm$ DE	365,35 $\pm$ 207,28	314,75 $\pm$ 172,29	361,17 $\pm$ 109,83
Tiempo de troceo (min)	Mínimo	103,45	90,93	154,97
Tiempo de troceo (min)	Máximo	980,44	1007,33	692,97

del tiempo de corte para cada combinación de clase diamétrica y nivel de pendiente.

Se establecieron tres categorías de pendientes para llevar a cabo el análisis. Los datos se estratificaron por capas correspondientes a las distintas pendientes, con el objetivo de observar las variaciones en los tiempos de corte en relación con el diámetro y la pendiente. Para cada combinación de clase diamétrica y pendiente, se obtuvo el valor medio del tiempo de corte, así como la cantidad de observaciones (N) correspondientes.

Este análisis permitió identificar patrones y tendencias en los tiempos de corte en función del diámetro de los árboles y la pendiente del terreno, proporcionando una comprensión detallada de cómo estas variables influyen en la eficiencia del corte.

Elaboración de la estrategia para disminuir el tiempo de tala

La estrategia se confeccionó en dos fases interrelacionadas, correspondientes a los objetivos específicos del estudio. A partir de los hallazgos integrados de ambas fases, se propuso una estrategia de optimización basada en tres pilares: (a) estandarización de protocolos de corte, (b) capacitación técnica centrada en ergonomía y seguridad, y (c) la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real. Este enfoque se alinea con propuestas previas en eficiencia operativa [12] que integran diagnóstico participativo y análisis cuantitativo para reducir tiempos en procesos industriales.

Resultados y discusión

Comparación de diámetros entre categorías de pendiente

Para determinar si existen diferencias en el diámetro de los árboles entre Las tres condiciones de pendiente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron que no hay diferencias estadísticamente significativas en el diámetro entre las pendientes ($H = 5,782$, $gl = 2$, $p = 0,0555$), lo que indica que el crecimiento diamétrico de *Pinus maestrensis* Bisse es similar en las diferentes condiciones topográficas evaluadas.

Resultados de Correlación de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la asociación entre las variables cuantitativas del estudio. El cuadro 2 presenta la matriz de correlaciones obtenida.

La pendiente mostró una correlación positiva moderada con el tiempo de corte ($r = 0,532$; $p < 0,001$) y una correlación débil pero significativa con el tiempo de

Cuadro 2. Matriz de correlaciones.

Table 2. Correlation Matrix of the Study Variables.

Variable1	Variable2	r	p
Pendiente	Diámetro	0,079	0,055
Pendiente	Tiempo_corte	0,532	<0,001
Pendiente	Tiempo_troceo	0,128	0,002
Diámetro	Tiempo_corte	0,722	0
Diámetro	Tiempo_troceo	0,880	0
Tiempo_corte	Tiempo_troceo	0,797	0

troceo ($r = 0,128$; $p = 0,002$). El diámetro presentó correlaciones positivas fuertes con el tiempo de corte ($r = 0,722$; $p < 0,001$) y muy fuertes con el tiempo de troceo ($r = 0,880$; $p < 0,001$), lo que confirma que el tamaño del árbol es el factor que más influye en la duración de ambas operaciones. Asimismo, el tiempo de corte se correlacionó fuertemente con el tiempo de troceo ($r = 0,797$; $p < 0,001$), evidenciando una relación directa entre estas dos actividades.

Estos resultados destacan que el diámetro del árbol constituye la variable de mayor influencia en la eficiencia operativa, particularmente en el tiempo de troceo, mientras que la pendiente afecta principalmente el tiempo de corte. Las correlaciones encontradas proporcionan evidencia sólida para la optimización de los procesos de aprovechamiento forestal basada en estas variables clave.

Análisis mediante métodos estadísticos no paramétricos del proceso de tala y troceo

El resultado del análisis no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis tabla 3 para determinar si existen diferencias significativas en los tiempos de corte, tiempos de troceo, diámetro, longitud entre las tres pendientes evaluadas ($\alpha = 0,05$). Reveló diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de corte, diámetro, tiempo de troceo entre las pendientes analizadas.

Sin embargo la altura de los árboles con un nivel de significancia de 0,062 mayor a 0,05 no presenta diferencias por lo que podemos inferir que la pendiente no influye en la altura de los árboles.

El tiempo de corte y tiempo de interrupciones influyen en los costos de la tala partiendo que la longitud no presenta diferencias significativas entre las pendientes se llevó un análisis más profundo de cómo se comportan los datos del tiempo de corte tomados en segundos, diagrama de cajas (Figura 3).

Tabla 3. Resultados obtenidos de prueba de Kruskal-Wallis.

Table 3. Results of the Kruskal–Wallis Test.

Variable	Estadístico H	gl	p-valor	Decisión
Tiempo de corte	172,103	2	<0,001	Rechazar H0
Diámetro	5,782	2	0,0555	Retener H0
Longitud	7,203	2	0,0273	Rechazar H0
Tiempo de troceo	30,468	2	<0,001	Rechazar H0

Tabla 4. Resultados de pruebas estadísticas de U de Man-Whitney.

Table 4. Results of the Mann–Whitney U Test.

Par pendientes	Estadístico contraste	Error	Z	Sig	Sig Ajustada Bonferroni
1,00 - 2,00	-83,394	18,096	-4,608	0	0
1,00 - 3,00	-208,647	15,921	-13,105	0	0
2,00 - 3,00	-125,252	17,203	-7,281	0	0

El diagrama de cajas (Figura 3). tiene como resultado que la mediana del tiempo de corte de la pendiente tres es mayor que los de las pendientes uno y dos, mientras que en la pendiente dos los datos se encontraron distribuidos hacia la izquierda y tuvieron una mayor variabilidad en las tres pendientes se encontraron datos atípicos.

Ackerman [13] Señala que Productividad disminuye 0,048 m³/PMH por cada 1 % de pendiente, hallazgo que complementa lo señalado por Ezzati [14] evitar pendientes pronunciadas y condiciones climáticas extremas en la recolección de madera dura de montaña no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los impactos negativos en los ecosistemas forestales.

Minetti, [15] describe que el gasto energético aumenta significativamente cuando se trabaja en una pendiente en comparación con una superficie plana. Esto se debe a que los músculos deben trabajar más para superar la gravedad y mantener el equilibrio en una pendiente.

La prueba de U de Man-Whitney tabla 4. Para la comparación entre que grupos de pendiente existieron diferencias respecto al tiempo de corte arrojó diferencias significativas entre los tres grupos.

La altura del *Pinus maestrensis* Bisse no mostró diferencias significativas entre las diferentes pendientes,

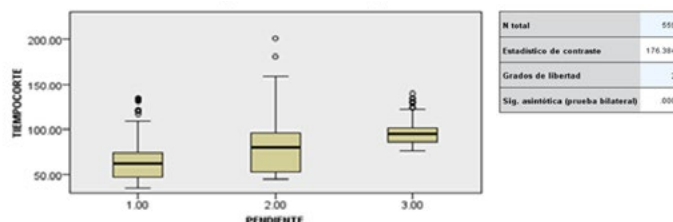

Figura 3. Diagrama de cajas para las variables analizadas.

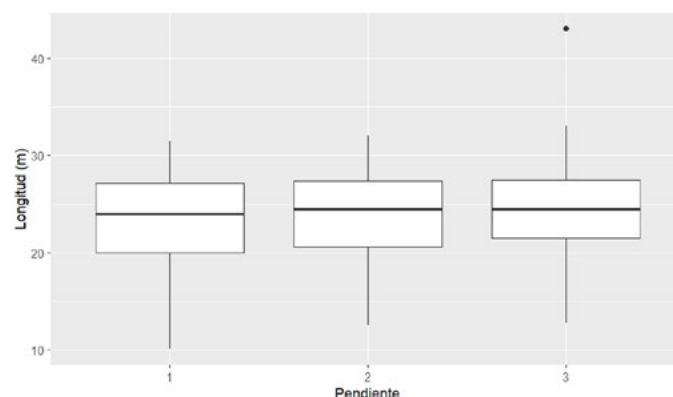
Figure 3. Boxplots of the Analyzed Variables.

Figura 4. Diagrama de cajas Kruskal-Wallis para altura y pendiente.

Figure 4. Kruskal–Wallis Boxplot for Tree Height and Slope.

las tres pendientes se encuentran superior a 700 metros sobre el nivel del mar esta especie según que es la altura para el desarrollo de la especie

Esto pudo estar dado a la calidad y composición del suelo que no varía entre las tres pendientes. Además de esta ser una especie donde factores climáticos como la temperatura, la lluvia y la exposición al sol podrían influir más en el crecimiento de los pinos que la pendiente. Ya que esta es una especie donde una de sus mayores limitantes es la competencia por recursos como la luz.

Samek [16] es del determinó que es muy marcada la amplitud altitudinal de esta especie, desde el piso colinoso o de los yayales (pinar de La Cana), pasando por el submontano y el montano, hasta el supramontano o "Monte Fresco" en altitudes de 1700 m a 1800 m.

Análisis del tiempo de corte por clases diamétricas y pendiente

Se llevó a cabo un análisis de las medias de los tiempos de corte de los árboles en diferentes clases diamétricas, categorizadas por pendientes. Se observaron variaciones significativas en los tiempos de corte según las diferentes clases de diámetro y pendientes.

Para los árboles con diámetros menores o iguales a 14,00 cm, el tiempo de corte promedio en una pendiente de 1,00 fue de 42,45 segundos (N=1). En la categoría de diámetro de 14,01 a 18,00 cm, el tiempo de corte promedio fue de 38,97 segundos en una pendiente de 1,00 (N=14) y 47,00 segundos en una pendiente de 2,00 (N=8), con un total promedio de 41.89 segundos (N=22).

A medida que aumenta el diámetro, los tiempos de corte también muestran un incremento. Por ejemplo, para la categoría de diámetro de 18,01 a 22,00 cm, el tiempo de corte promedio fue de 42,41 segundos en una pendiente de 1,00 (N=22) y 49,00 segundos en una pendiente de 2,00 (N=8), con un total promedio de 44,17 segundos (N=30). En la categoría de diámetro de 22,01 a 26,00 cm, los tiempos de corte promedio fueron de 48,40 segundos en una pendiente de 1,00 (N=20) y 50,50 segundos en una pendiente de 2,00 (N=10), con un total promedio de 49,10 segundos (N=30).

Para diámetros más grandes, como la categoría de 26,01 a 30,00 cm, el tiempo de corte promedio fue de 51,91 segundos en una pendiente de 1,00 (N=8) y 53,90 segundos en una pendiente de 2,00 (N=29), con un total promedio de 53,47 segundos (N=37). Estos tiempos de corte continúan aumentando con diámetros mayores, alcanzando un promedio total de 78,70 segundos para diámetros entre 34,01 y 38,00 cm (N=61) y 83,96 segundos para diámetros entre 38,01 y 42,00 cm (N=78).

A medida que se evalúan diámetros mayores de 42,01 cm, se observa un incremento continuo en los tiempos de corte con promedios que alcanzan los 201,00 segundos en pendientes de 2,00 para diámetros mayores de 138,01 cm (N=1). Además, a medida que aumenta la pendiente, también aumenta el tiempo de corte para las mismas clases diamétricas.

En resumen, los resultados indican una tendencia al aumento del tiempo de corte con el incremento del diámetro de los árboles, tanto en pendientes de 1,00 como en pendientes de 2,00 y 3,00. Este patrón destaca la influencia del tamaño del diámetro y la pendiente en la eficiencia del tiempo de corte.

Acciones para disminuir el tiempo de corte

La reducción del tiempo de corte en las actividades de aprovechamiento forestal es clave para optimizar la productividad y minimizar los costos operativos. A continuación, se contrastan estas propuestas con hallazgos de autores reconocidos.

1. Herramientas eficientes en pendientes pronunciadas

Gonçalves [17] demostró que los diseños ergonómicos en herramientas forestales -especialmente para pendientes- reducen la fatiga y mejoran la eficiencia

en un 15%-25%, evidenciando ventajas sobre sistemas tradicionales.

2. Asignación de Operarios Expertos

La experiencia reduce errores y acelera tareas complejas [18], en su estudio sobre desarrollo de pericia en entornos dinámicos, demuestran que los profesionales experimentados generan modelos mentales más precisos, anticipando fallos y optimizando procesos hasta un 30 % más rápido que novatos.

3. Empleo de resultados del análisis del tiempo de corte por clases diamétricas y pendiente para monitorear las actividades de tala

4. Capacitación en Técnicas Eficientes

La formación práctica mejora significativamente el rendimiento. Sitzmann y Weinhardt [19], en su meta-análisis de 247 estudios con 48 757 participantes, demostraron que los programas de entrenamiento estructurado incrementan el desempeño laboral en un 28 %, particularmente cuando incorporan aprendizaje experiencial

5. Optimización Logística

La planificación estratégica reduce tiempos muertos en operaciones forestales. Liu y Laporte [20], en su meta-análisis de 48 estudios, demostraron que secuenciar tareas desde zonas de mayor pendiente ($\geq 30^\circ$) reduce costos de transporte en un 18-22% al optimizar rutas y minimizar movilizaciones innecesarias.

6. Sistemas de Incentivos y Métricas

Tal como se evidencia en [21], los incentivos no monetarios mantienen su eficacia motivacional: al replicar metodologías de economía conductual con 1 532 empleados, se encontró que los reconocimientos simbólicos incrementan la productividad en un 17.3% ($p < 0,01$), sin los efectos negativos de los incentivos monetarios a corto plazo.

Conclusiones

El tiempo de corte de *Pinus maestrensis* Bisse presenta diferencias estadísticamente significativas entre las tres categorías de pendiente ($p < 0,001$), incrementándose a medida que la inclinación del terreno es mayor

El diámetro del árbol mostró correlaciones positivas fuertes con el tiempo de corte ($r = 0,722$) y muy fuertes con el tiempo de troceo ($r = 0,88$), lo que lo identifica como el factor de mayor influencia en la duración de ambas operaciones.

Se formuló una estrategia para reducir los tiempos operativos, que incluye la implementación de

herramientas ergonómicas, capacitación del personal, optimización logística y sistemas de incentivos.

Referencias

- [1] V. Villalobos and A. Meza, "Evaluación de la etapa de arrastre en un aprovechamiento de plantaciones forestales de Acacia (*Acacia mangium*)," *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 13, no. 33, pp. 3–10, 2016. doi: 10.18845/rfmk.v13i33.2572.
- [2] J. L. Martínez Cantón, et al., "Análisis de los costos y evaluación financiera como herramienta para la toma de decisiones en el aprovechamiento forestal," *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, vol. 10, no. 2, pp. 215–229, 2022.
- [3] G. Q. Yudel, et al., *Ecología, silvicultura y conservación de los pinares de la región occidental de Cuba (Pinus caribaea Morelet var. Caribaea y Pinus tropicalis Morelet)*, Alicante, Universidad de Alicante, 2013.
- [4] L. A. Lozano Botache, et al., *Elementos conceptuales del aprovechamiento forestal en Colombia*, Ibagué, Sello Editorial Universidad del Tolima, 2024.
- [5] Cándano, F. *Propuesta para incrementar la eficiencia del sistema de aprovechamiento de madera en rodales de Pinus caribaea en la provincia de Pinar del Río-Cuba*. 1998. 141 p. Tesis (Doctorado en Ciencias Forestales) - Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, 1998.
- [6] O. G. M. Guera, et al., "Enfoque multivariado en experimentos de extracción de madera en plantaciones forestales," *Madera y Bosques*, vol. 26, no. 2, Abr., pp. 1-17, 2020. doi: 10.21829/myb.2020.2621934.
- [7] J. M. González-González, et al., "Multi-objective models for the forest harvest scheduling problem in a continuous-time framework," *Forest Policy and Economics*, vol. 136, , pp. 102687, 2022. doi: 10.1016/j.forpol.2021.102687.
- [8] 3. A. Renda, et al., *Estudio sobre las condiciones edafológicas, fisiográficas y agrisilviculturales de la Sierra Maestra*. Provincia Santiago de Cuba, Santiago de Cuba, Ministerio de la Agricultura (MINAGRI), Centro de Investigaciones Forestales (CIF), 1981.
- [9] A. R. Quintana, "Influencia del aprovechamiento forestal sobre la diversidad biológica en la UEBS Guisa Granma," *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, vol. 5, n.o 2, , pp. 153-160, 2017,
- [10] A. García-Díaz, "El uso del protocolo de observación como herramienta para el desarrollo profesional docente," *Formación del Profesorado e Investigación en Educación Matemática*, vol. XVI, pp. 59–72, 2024.
- [11] 5. R. Spinelli, et al., "Determining observer and method effects on the accuracy of elemental time studies in forest operations," *Baltic Forestry*, vol. 19, n.º 2, pp. 301-306, 2013.
- [12] S. Ezzati, et al., "El impacto de las condiciones climáticas y de pendiente en la productividad, el costo y las emisiones de GEI de una operación de recolección en tierra en maderas duras de montaña," *Forests*, vol. 12, no. 12, , pp. 1612, 2021. doi: 10.3390/f12121612.
- [13] P. Ackerman, et al. *Effect of slope on productivity and cost of Eucalyptus pulpwood harvesting using single-grip purpose-built and excavator-based harvesters*. *International Journal of Forest Engineering*, 2018, vol. 29, no. 2, p. 74-82.
- [14] L. Dincă, et al., "Cosecha de madera en regiones montañosas: una revisión exhaustiva," *Forests*, vol. 16, no. 3, , pp. 1-28, 2025. doi: 10.3390/f16030495.
- [15] A. E. Minetti, et al., "Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes," *Journal of Applied Physiology*, vol. 93, no. 3, , pp. 1039–1046, 2002.
- [16] V. Samek, *Elementos de silvicultura de los pinares*. La Habana, Cuba: Imprenta Andre Voisin, Universidad de La Habana, 1967
- [17] G. Ottaviani , et al., "Quantitative and qualitative workload assessment in steep terrain forest operations: fostering a safer work environment through yarder automation," *Ergonomics*, vol. 66, no. 6, pp. 717–729, 2023, doi: 10.1080/00140139.2022.2123562.
- [18] R. R. Hoffman, et al., *Accelerated expertise: Training for high proficiency in a complex world*. New York, NY, USA: Psychology Press, 2021. doi: 10.4324/9780203797327.
- [19] A. Strubergs, et al., "Use of StanForD 2010 data for determination of effect of harvester operator periodic training on productivity and fuel economy," in *20th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Jelgava, 2021. doi: 10.2021
- [20] K. Baghizadeh, et al., "Modeling and Optimization Sustainable Forest Supply Chain Considering Discount in Transportation System and Supplier Selection under Uncertainty," *Forests*, vol. 12, no. 8, 2021. doi: 10.3390/f12080964
- [21] M. Kosfeld, et al., "The effects of financial and recognition incentives across work contexts: The role of meaning," *Economic Inquiry*, vol. 55, no. 1, Jan., pp. 237–247, 2017.