

Productividad, costos y calidad de ejecución del primer raleo en plantaciones de *Acacia mangium* Willd en la zona norte de Costa Rica

Productivity, costs and quality of execution of the first thinning in *Acacia mangium* Willd plantations in northern Costa Rica

Mario Guevara-Bonilla¹  • Olman Murillo-Gamboa¹ 

Recibido: 13/4/2020

Aceptado: 17/6/2020

Publicado: 17/12/2020

Abstract

One of the most important factors in the selection and use of a certain thinning method is its productivity and cost. For this reason, the objective of this work was to evaluate the productivity and costs of the first thinning in *Acacia mangium* forest plantations, located in the northern part of Costa Rica. Through a time and movement study, the efficiency and productivity of the activity were determined. Fixed, variable and labor costs were calculated to determine the cost per tree cut. The quality of thinning execution was evaluated in the field based on an index, with a score of 1 and 2 according to the acceptance or rejection of the work. An efficiency percentage of 69.27 % was obtained, where the transfer movement registered 43 % of the productive time. On average, 10 % of the trees had poor cutting performance. The average productivity obtained was 871 thinned trees / day, 109 trees / hour, at a cost of US\$ 20 per hectare. The values found can serve as a basis for future related work and to establish quality standards in forest plantation management.

Key words: *Acacia*, time study, plantation management.

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. maguevara@itcr.ac.cr, olmuga@yahoo.es

Resumen

Unos de los factores de mayor peso sobre la selección y utilización de un determinado método de raleo son su productividad y costo. Por tal motivo el objetivo de este trabajo consistió en evaluar la productividad y costos del primer raleo en plantaciones forestales de *Acacia mangium*, localizadas en la zona norte de Costa Rica. Mediante un estudio de tiempos y movimientos se determinó la eficiencia y productividad de la actividad. Se calcularon los costos fijos, variables de la motosierra y el costo de mano de obra para determinar el costo por árbol cortado. La calidad de ejecución del raleo se evaluó en el campo con base en un índice, con la calificación de 1 y 2 según la aceptación o rechazo del trabajo. Se obtuvo un porcentaje de eficiencia del 69,27 %, donde el movimiento traslado registró un 43 % del tiempo productivo. En promedio un 10 % de los árboles presentaron una mala ejecución de corta. La productividad media obtenida fue de 871 árboles raleados/jornal, 109 árboles/hora, con un costo de US\$ 20 por hectárea. Los valores encontrados pueden servir como base para futuros trabajos relacionados y para establecer estándares de calidad en el manejo de plantaciones forestales.

Palabras clave: Acacia, estudio de tiempos y movimientos, manejo de plantaciones.

Introducción

El raleo forestal es una operación realizada en un rodal de edad uniforme cuyo principal objetivo es redistribuir el potencial de crecimiento o mejorar la calidad de los árboles remanentes [1] [2]. Con esta técnica se busca concentrar el crecimiento en los mejores individuos de una plantación y favorecer el incremento diamétrico de los árboles que permanecen en el rodal [3] [4].

Autores como [5] [6] señalan que durante el ciclo de una plantación, en especies tropicales como *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* o *Acacia mangium*, se deben ejecutar 3 o 4 raleos hasta que llega el momento de la corta final. El primer raleo es una corta que se realiza por única vez, a temprana edad que tiene como objetivo sanear y mejorar la estructura de la masa forestal

Unos de los factores de mayor peso sobre la selección y utilización de un determinado método de raleo son su productividad y costo. El conocimiento sobre la cantidad de productos que una persona o cuadrilla produce por unidad de tiempo (hora, día, año) o por unidad de superficie puede ser una herramienta útil para determinar

en cuales etapas del proceso existe necesidad de corregir y optimizar las operaciones [7].

Para la determinación de los costos y rendimientos en faenas forestales, se conocen tres métodos básicos para la generación de la información [8], [9], [10]: a) estudio de tiempos y movimientos; b) estudio de faenas y c) la recuperación de rendimientos a partir de operaciones concluidas o producción por jornada. El primer método es el más detallado, de mayor confiabilidad y el más utilizado en estudios técnicos y científicos, por lo que es costoso y requiere de cierto nivel de entrenamiento.

Durante mucho tiempo la evaluación de esta actividad ha sido enfocada en determinar cuál es la intensidad adecuada para realizar un aclareo. En Costa Rica ha sido poco el esfuerzo por determinar productividad, costos y calidad en la ejecución principalmente en primeros raleos.

Ante esta problemática surge la necesidad de adaptar metodologías ya existentes para disponer de información precisa y confiable basada en datos de campo que sirvan de herramienta a la hora de planificar y estimar presupuestos para las distintas actividades que requiere una plantación especialmente en *Acacia mangium* que es una especie con alrededor de 2000 hectáreas plantadas principalmente en la zona norte de Costa Rica [11]. El objetivo de este trabajo fue determinar la productividad, costos y calidad de ejecución del primer (raleo precomercial) en plantaciones de *Acacia mangium*.

Materiales y métodos

Información general del área de estudio

El trabajo se realizó durante el periodo seco, en plantaciones forestales de *Acacia mangium* localizadas en la región Huetar Norte de Costa Rica, cantón de San Carlos, distrito Pocosal. La zona de estudio se localiza a 50 msnm, registra una precipitación promedio superior a los 3200 mm, con una temperatura media de 28°C y un periodo seco de febrero a abril.

En total se seleccionaron seis rodales en tres predios diferentes. Las plantaciones fueron establecidas con un diseño tres bolillo con un espaciamiento inicial de 3 x 3 metros. Las edades de las plantaciones incluidas en este estudio fueron de 24 a 36 meses. Estas plantaciones se encontraban en terrenos con pendientes suaves generalmente ubicadas cerca de zonas de protección. El diámetro basal promedio de los árboles a cortar fue de 13,8 cm.

Descripción del procedimiento de raleo

Las plantaciones incluidas en la muestra fueron raleadas a una intensidad del 33 %, de tal modo que permanecen alrededor de 745 árboles/ha. Los árboles fueron previamente marcados con una cuerda alrededor del tronco por un técnico calificado. Los árboles a ralear se eligieron de forma selectiva con base en su clase diamétrica y calidad del fuste.

La cuadrilla de operarios estaba constituida por 2 personas, una encargada de la corta del árbol y el segundo responsable de la limpieza de las malezas en la zona cercana a la base del árbol. Para la corta de los árboles se utilizó una motosierra marca Stihl 381, con una cilindrada de 72,2 centímetros cúbicos.

Durante este estudio no se realizó la operación del desrame ni tampoco se procedió a acomodar los desechos (ramas, copa, materia remanente) producto de la actividad. El personal estaba entrenado en la labor del raleo, con un nivel de experiencia y calificación alto.

Estudio de tiempos y movimientos y porcentaje de eficiencia

La toma de tiempos de la actividad se determinó mediante un estudio de tiempos y movimientos. Se utilizó el método de tiempo continuo. Se contabilizó la información de 6 jornadas completas de trabajo (de 8 horas). Como tiempos productivos se clasificaron:

- Tiempo de corta: Fue el tiempo que transcurrió desde que el operario se puso en posición de cortar el árbol hasta que el árbol cayó por completo.
- Tiempo de traslado: Fue el tiempo que tardó el operario en trasladarse de un árbol marcado para la corta a otro.

Los tiempos improductivos (atrasos) fueron los siguientes:

- Mantenimiento: Se entiende como las acciones de limpieza, afilado, carga de combustible y aceite, ajuste de piezas, revisión y limpieza de filtros, entre otros que se realizan a la motosierra.
- Descanso: Fue el tiempo utilizado por el trabajador para reposar y recuperarse del esfuerzo físico realizado.
- Alimentación: Fue el tiempo dedicado por el operario para alimentarse.

Producto del error humano y del error propio del instrumento, existió una diferencia mínima entre la sumatoria de los tiempos tomados a cada árbol y la duración total de la jornada. Esta diferencia de tiempo acumulado durante el día fue asignado al movimiento traslado para todas las mediciones.

El porcentaje de eficiencia de la operación se calculó mediante la ecuación 1.

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \left(\frac{\sum \text{Tiempos productivos}}{\sum \text{Tiempo total}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Productividad y costos

La productividad de cada jornada se determinó mediante el conteo de la totalidad de los árboles cortados durante el día de trabajo. El costo unitario del raleo (US\$) se determinó según [12] y se trata de un costo que incluye los costos fijos y variables de la motosierra y el costo de la mano de obra. Se calcularon los costos por hora, por árbol raleado y el costo (extrapolado) por hectárea.

Calidad de ejecución del raleo

La evaluación de la calidad de ejecución del raleo se realizó de la siguiente manera:

- Calidad 1: buena ejecución, buena dirección de caída (sin dañar árboles remanentes o caer en caminos), tocón remanente menor a 10 cm de altura.
- Calidad 2: mala ejecución de la corta, dirección de caída incorrecta o nula, tocón muy alto y/o con astilladuras.

Con base en los datos individuales de calidad, se construyó un índice de calidad de raleo, basado en la ecuación 2 (adaptado de [13]):

$$\text{Índice} = (n_1 \times 1 + n_2 \times 2) / (n_1 + n_2) \quad (2)$$

Dado que este índice de calidad de raleo es cualitativo y de difícil interpretación, fue transformado a una escala de 0 a 100, mediante la ecuación 3.

$$\text{Calidad transformada} = (1 + (1 - \text{Calidad})/2) \times 100 \quad (3)$$

Cuadro 1. Productividad de la labor de raleo selectivo en plantaciones de *Acacia mangium* localizadas en la zona norte de Costa Rica.

Table 1. Productivity of selective thinning work in *Acacia mangium* plantations located in northern Costa Rica

Actividad	Unidad de medida	Valor mínimo	Valor medio (promedio)	Valor máximo	Costos (US\$)
Raleo precomercial	Árboles/día	628	871	1013	0,05/árbol
	Ha/día	1,72	2,26	2,71	26/ha

Cuadro 2. Calidad de ejecución de corta por jornada de trabajo.

Table 2. Quality of cutting execution per workday.

Jornada	Diámetro basal promedio (cm)	Calidad de Ejecución
1	14,36	94,50
2	13,92	97,50
3	11,85	95,50
4	13,01	95,00
5	15,72	93,50
6	N.D	93,00
Promedio	13,77	95,00

El movimiento productivo traslado fue el de mayor porcentaje superando al movimiento productivo de corta e incluso siendo superior a la sumatoria de todos los atrasos. A pesar de que la operación de corta es la actividad principal del raleo, esta solo representó un 27 % de la totalidad de la jornada. Entre los movimientos improductivos, las operaciones de mantenimiento (e.g. afilado, carga de combustible) representaron un 13 % del total de tiempo improductivo seguido por el tiempo dedicado a la alimentación del operario. A pesar de que la jornada de trabajo es extensa, el tiempo dedicado al descanso representó solo el 5 % de la totalidad de la misma.

Con base en las mismas jornadas de trabajo, se determinó la productividad (árboles cortados por día) promedio de la operación del primer raleo en plantaciones de *Acacia mangium* (cuadro 1).

El costo por hora programada de la operación fue de US\$ 6,25 mientras que el costo promedio por árbol cortado fue de solo 0,05 centavos de dólar que extrapolado a valor de hectárea equivale a US\$ 20.

El tiempo promedio de corta para las seis jornadas de trabajo fue de 7,95 segundos, mientras que el tiempo promedio de traslado fue de 10,76 segundos. La productividad promedio obtenida fue de 871 árboles por jornada lo que representa más de dos hectárea raleadas por día. La diferencia entre los valores mínimo y máximo registrados fue de 385 árboles.

La productividad promedio por hora fue de 109 árboles. La productividad promedio por hora (figura 2) mostró un patrón normal, donde el número de árboles cortados por hora va disminuyendo conforme avanza la jornada de trabajo, solo con un pequeño aumento de la productividad en la hora cuatro. La hora uno presentó el mayor promedio de productividad con 151 árboles cortados mientras que la hora ocho fue la de menor productividad con solo 83 árboles.

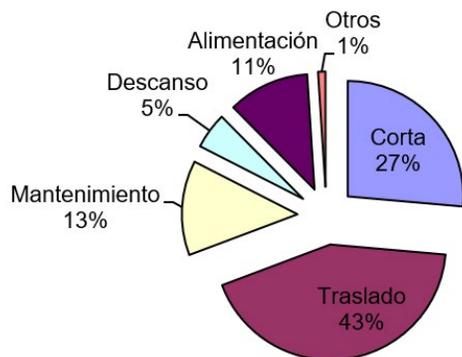


Figura 1. Distribución de tiempos y movimientos de la operación del primer raleo en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium*.

Figure 1. Time and movement distribution of first thinning operation in young *Acacia mangium* plantations.

Resultados

Estudio de tiempos y movimientos, productividad y costos

Con base en el estudio de tiempos y movimientos, el porcentaje de eficiencia promedio obtenido para las seis jornadas de trabajo fue del 70 %. En la figura 1 se muestra la distribución de los distintos movimientos.

Calidad de ejecución

El cuadro 2 presenta los valores de calidad de ejecución del raleo ejecutado. Durante las seis jornadas de estudio, los valores de calidad de ejecución fueron superiores a

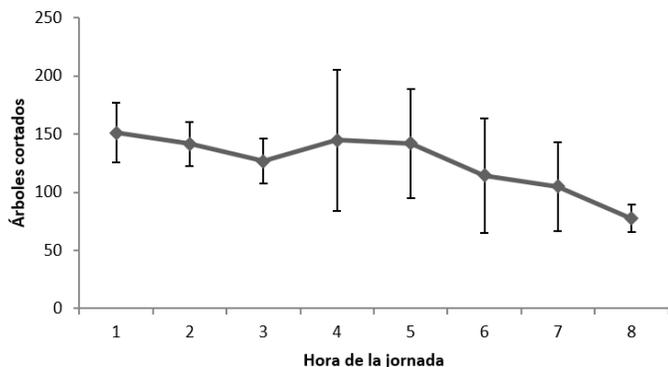


Figura 2. Distribución de árboles cortados por hora de la jornada de trabajo. Barras de error representan la desviación estándar.

Figura 2. Distribution of cut trees by hour per work day. Error bars represent standard deviation.

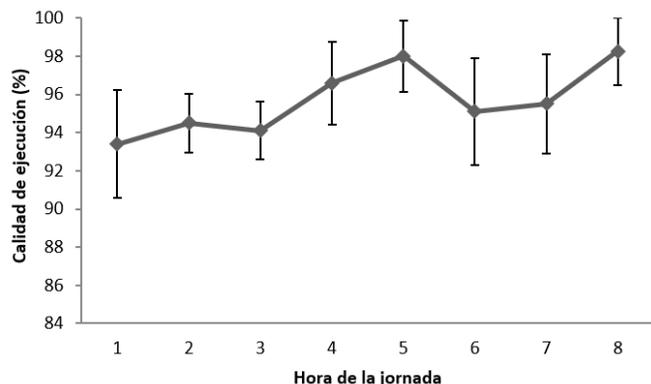


Figura 3. Calidad de ejecución promedio por hora de la jornada. Barras de error representan la desviación estándar.

Figura 3. Average execution quality per work hour. Error bars represent standard deviation.

90, obteniendo un índice de calidad promedio de 95. Los pocos errores observados se debieron principalmente a una mala dirección de caída y a una altura del tocón remanente inadecuada (superior a los 10 cm). Además se observa que las jornadas con un promedio de diámetro basal mayor, presentaron valores de calidad de ejecución menores.

En las figura 3 se observa la duración promedio del tiempo de corta y el valor promedio de calidad de ejecución por hora de la jornada.

A pesar de las diferencias existentes en la productividad entre operarios, se observa que a medida que transcurre la jornada, la calidad de ejecución mejora hasta llegar a un punto máximo en la cuarta y quinta hora. Este comportamiento se presenta de nuevo en la octava hora.

Lo que se observa en la figura 3 o se repitió en todas las jornadas, sin embargo, la mayoría presentó tiempos de cortamayoresprecisamenteenlaquintahora coincidiendo con la hora del día en que la calidad de ejecución de la corta es máxima. Otros factores influyentes pueden ser: la destreza adquirida del operario, cantidad de árboles cortados por hora, presencia de malezas, pendiente del terreno, condición física del operario, entre otros.

Discusión

Los estudios de tiempos y movimientos son de importancia en estudios técnicos y científicos ya que permiten averiguar gracias al análisis, la productividad, rendimientos, faltas y errores cometidos a consecuencia de un método o técnica de trabajo insuficiente y de una mala adaptación del ejecutante o del material a la tarea a realizar [10]. En actividades forestales donde se requiere operarios con algún tipo de herramienta mecánica o manual, se ha sugerido que porcentajes de eficiencia entre 50 y 60 % pueden ser considerados aceptables [12], [14]. El porcentaje obtenido en este estudio fue superior a los encontrados por [15] para bosques de *Pinus caribaea* y [16] en el 2014 para un primer raleo de *Prosopis alba*.

Sin embargo, es importante mencionar que a pesar de que los valores encontrados en este estudio son superiores a los mencionados por otros autores, la falta de estudios locales sobre tiempos y movimientos y eficiencia en operaciones de raleo impiden tener referencias para efectuar comparaciones válidas.

Entre las fuentes de variación de la productividad se encuentran los aspectos inherentes a la plantación (especie, densidad, manejo), los factores biofísicos (forma del terreno) y la planificación y capacitación del personal. [17] señalan que el tamaño de los árboles es un factor importante que afecta la productividad de la corta de árboles con motosierra. Sin embargo, para este estudio el tiempo de corta, el tiempo de traslado así como la cantidad de árboles cortados fueron la principal fuente de variación en la productividad del raleo. Inclusive afectó más que la duración de la jornada ya que al contrario de lo esperado, no necesariamente a mayor duración de la jornada mayor número de árboles cortados.

No obstante, los valores obtenidos superan los datos recolectados por [18] para raleos selectivos de distintas especies utilizadas en proyectos de reforestación en Costa Rica (Murillo reporta un rendimiento de 1 a 1,5 ha raleadas por día).

Calidad de ejecución

La calidad de ejecución puede ser un indicador importante para determinar si los operarios están realizando una buena labor de raleo. Valores cercanos a 100 siempre indicarán una excelente ejecución. Los valores de calidad de ejecución encontrados en este estudio demuestran que el personal se encontraba bastante capacitado para realizar la corta de árboles. Una buena ejecución de corta puede facilitar las operaciones de extracción, disminuyendo el tiempo de arrastre, los daños al rodal remanente y reduciendo los costos de la operación.

A pesar de que en Costa Rica se han desarrollado indicadores de calidad para distintas labores forestales, no se encontró ninguna referencia acerca de valores de calidad para la corta de árboles en operaciones de raleo. Por tal motivo los valores registrados en esta investigación podrían servir de punto de referencia en futuros trabajos o para el control de calidad en la ejecución de raleos comerciales. Valores promedio menores a los registrados en este estudio, podrían considerarse como un efecto de algún problema de falta de técnica o capacitación en labores de corta por parte de los operarios.

Conclusiones y recomendaciones

La operación evaluada reportó un porcentaje de eficiencia superior al 65 %. El valor obtenido fue alto y puede ser utilizado como valor de referencia para futuros trabajos que evalúen el porcentaje de eficiencia de operaciones de raleo.

La productividad promedio de la operación fue de 871 árboles por jornada mientras que el costo por árbol fue de US\$ 0,05. Entre los factores que afectaron la productividad se encontraron el tiempo de corta y el tiempo de traslado.

El estudio realizado puede ser de utilidad para el profesional forestal ya que le permitiría mejorar sus labores de planificación, establecer estándares para futuros trabajos por contrato y/o establecer incentivos para los trabajadores en caso de que superen los porcentajes determinados por este estudio. Para futuros estudios, se recomienda evaluar otras especies y evaluar la productividad y costos de raleos comerciales.

Referencias

- [1] W. Ladrach, Manejo práctico de plantaciones en el trópico y subtropical, Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2010.
- [2] M. Espinosa y F. Muñoz, "Raleos en bosques plantados", en Silvicultura de bosques plantados con fines productivos, Concepción, Editorial Universidad de Concepción, 2017, p. 397.
- [3] D. Pérez y K. Marku, "Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica", *Silva Fennica*, vol. 39, n° 2, Mayo, pp. 217-225, 2005.
- [4] U. Luis, Teak: New trends in silviculture, commercialization and wood utilization, *International Forestry and Agroforestry*, 2013.
- [5] W. Fonseca, Manual para productores de teca en Costa Rica, Heredia, 2003.
- [6] D. Arias y M. Arguedas, "Manejo de plantaciones", en Manual para producción de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica, Cartago, 2004, p. 157.
- [7] R. Peraza, Fundamentos sobre aprovechamiento forestal. Informe de práctica de especialidad para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 1996.
- [8] C. Reiche, Manual para determinar rendimientos y costos de faena de productos de los sistemas de árboles de uso múltiple, Turrialba: CATIE, 1989.
- [9] M. Gómez y C. Reiche, Costos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica, Turrialba: CATIE, 1996.
- [10] B. Louman, "Determinación de costos, productividad y rendimientos del aprovechamiento forestal", en Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales, Turrialba, CATIE, 2006, pp. 278-312.
- [11] V. Meza, K. Alfaro, R. Bedoya, M. Romero, A. Valerio y P. Montenegro, Reforestación comercial en Costa Rica. Regiones Huetar Atlántica, Norte y Chorotega, 1 edición, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 2019.
- [12] W. Cordero, Aprovechamiento Forestal (versión revisada). Serie de Apoyo Académico No. 8. Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica 1989.
- [13] O. Murillo, "Índices de calidad para la reforestación en Costa Rica", *Agronomía Costarricense*, vol. 24, n° 2, Julio-Diciembre, pp. 41-47, 2000.
- [14] M. Guevara-Bonilla, "Productividad y costos operacionales de la chapea mecanizada en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* en la zona norte de Costa Rica", *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 8, n° 20, Setiembre, pp. 27-30, 2011.
- [15] F. Cándamo Acosta, "Evaluación de los efectos de la rotación en operadores de motosierras", *Arvore*, Vol. 28, no. 3, Junio, pp. 367-372, 2004.
- [16] M. Coronel de Renolfi y A. Gómez, "Estimación del costo

del primer raleo de algarrobo blanco (*Prosopis alba*): Metodología aplicada al caso de una plantación en Herrera, Santiago del Estero, Argentina”, *Ingeniería solidaria*, vol. 10, n° 17, Diciembre, pp. 19-27, 2014.

- [17] J. Nájera Luna, O. Aguirre, E. Treviño, J. Jiménez y E. Jurado, “Tiempos y rendimientos del aprovechamiento forestal en El Salto, Durango, México”, *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales*, vol. 17, n° 1, Agosto, pp. 58-69, 2011.
- [18] O. Murillo, “Manejo de plantaciones de teca y melina en Costa Rica”, en Programa de actualización y mejoramiento forestal, Quito, Ecuador, 2005, pp 25.