

Cosecha en cultivos de palma de aceite mediante el uso del grabber: caso de estudio en una plantación de Colombia*

Harvesting by Using Grabber in Oil Palm Crops: a Case Study in a Plantation of Colombia

CITACIÓN: Munévar-M., D. E., Ruiz-Á., E., Díaz-R., W., Báez-C., D., Hernández-H., J. S., Salamanca, Ó., Cárdenas, H. & Mosquera-Montoya, M. (2020). Cosecha en cultivos de palma de aceite mediante el uso del grabber: caso de estudio en una plantación de Colombia. *Palmas*, 41(2), 13-26.

PALABRAS CLAVE: rendimiento de la mano de obra, cosecha mecanizada, costos unitarios, *E. guineensis*.

KEYWORDS: Labor yield, mechanized harvest, unit costs, *E. guineensis*.

RECIBIDO: abril de 2020.

APROBADO: mayo de 2020.

* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

MUNÉVAR M. DANIEL E.

Auxiliar de Investigación de Cenipalma
dmunevar@cenipalma.org

RUÍZ Á. ELIZABETH

Investigador Asociado de Cenipalma
eruiz@cenipalma.org

DÍAZ R. WILLIAM D.

Coordinador Agronómico de Inparme S. A. S.
coordinadoragronomico@inparme.com.co

BÁEZ C. DIEGO E.

Coordinador de Sanidad de Inparme S. A. S.
coordinadorsanidad@inparme.com.co

HERNÁNDEZ H. JUAN S.

Cenipalma

SALAMANCA ÓSCAR

Director Agronómico de Inparme S. A. S.
directoragronomico@inparme.com.co

MOSQUERA MONTOYA MAURICIO

Coordinador de la Unidad de Validación
Dirección de Investigación de Cenipalma
mmosquera@cenipalma.org
Autor de correspondencia

Resumen

La cosecha de racimos de fruta fresca (RFF) de palma aceite es uno de los procesos que representa la mayor parte del total de los costos del cultivo de palma de aceite. Además, es el proceso más intensivo en cuanto a mano de obra, algo que debe ser considerado ya que su oferta tiende a disminuir en las zonas rurales. Por eso, tecnologías como el grabber, un sistema mecanizado para recoger racimos del suelo, son interesantes para los cultivadores, pues ayuda a aumentar

la productividad de la mano de obra. Los resultados presentados aquí corresponden a un estudio de tiempo y movimiento realizado con el fin de evaluar el rendimiento laboral, una vez que el grabber se implementa para la cosecha. El estudio consideró la estacionalidad en el rendimiento de RFF (las fluctuaciones del rendimiento en el año, medido en toneladas de RFF/hectárea) mediante el análisis del rendimiento de la mano de obra durante los meses de alta producción, frente a los meses de baja producción. Los resultados indican que el grabber recoge entre 20,3 t RFF/día a partir de 31 ha/día durante los meses con baja producción y, 30,5 t RFF/día a partir de 12,7 ha/día durante los meses con alta producción. En cuanto al costo unitario por tonelada de RFF cosechado, se estimó un valor de \$ 24.263/t RFF en los meses de alta producción, y de \$ 27.083/t RFF en meses de baja producción. En conclusión, es un 10,4 % más barato cosechar mediante el uso del grabber cuando hay altas producciones (t RFF/ha), lo que arroja luz sobre el hecho de que los sistemas mecanizados requieren altos rendimientos para ser rentables.

Abstract

The harvest of oil palm fresh fruit bunches (FFB) in one of the processes that account for the greatest share in the total of production costs of oil palm cropping. Besides, the harvest is the most labor-intensive process when it comes to oil palm cropping. The latter must be considered since labor supply tends to decrease at rural areas. This is why, technologies such as the grabber, a mechanized system for picking up bunches from the floor, are interesting for growers. The grabber helps increasing labor productivity. The results presented here, correspond to a time and motion study undertaken in order to assess labor yield, once the grabber is implemented for harvesting. The study considered the seasonality in FFB yield (measured in tons of FFB/hectare) by analyzing labor yield during high yield months, against low yield months. Results indicate that the grabber picks up between 20.3 t FFB/day from 31 ha/day during the months with low yield and; 30.5 t FFB/day from 12.7 ha/day during the months with high yield. Regarding the unit cost per ton of FFB harvested, it was estimated a value of COP 24,263/t FFB at high yield months and, a value of COP 27,083/t FFB at low yield months. In conclusion, it is 10.4 % cheaper to harvest by using the grabber when there are high yields (t FFB/ha), which sheds light on the fact that mechanized systems require high yields to be cost-effective.

Introducción

La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es una de las oleaginosas de mayor importancia económica en el mercado mundial, caracterizada por su mayor rendimiento en comparación con otros cultivos y por representar mayor participación en volúmenes de producción y consumo (USDA, 2019). También se destaca por la versatilidad de las aplicaciones de su aceite, el cual abarca usos alimenticios, cosméticos y la producción de biodiésel (Rincón y Martínez, 2009).

Tras su llegada al país en 1932, el cultivo comenzó su expansión por el territorio nacional (Cenipalma y Fedepalma, 2013). Y aunque Colombia registra baja participación en el mercado internacional con respecto a los volúmenes transados por países como Malasia e Indonesia (Gómez y González, 2015), es el cuarto productor de aceite de palma a nivel mundial (Fedepalma, 2018).

La palma de aceite es un cultivo que tiene una alta demanda de mano de obra, este rubro representa entre 42 % y 49 % del costo de producción por tonelada

(Mosquera *et al.*, 2019b). Sin embargo, la disponibilidad de este factor es variable entre las diferentes regiones cultivadoras de palma de aceite (Ruiz *et al.*, 2015). Frente a esta situación, las plantaciones deben diseñar diferentes estrategias que permitan aumentar su competitividad, en las dimensiones de producción y operaciones, ya sea optimizando los procesos de producción actuales o proponiendo nuevas metodologías (Ibarra, González y Demuner, 2017).

La cosecha es una de las labores críticas en el proceso productivo de la palma de aceite, puesto que su adecuada ejecución influye en la calidad y la cantidad del aceite a extraer de los racimos. En la estructura de costos de producción de racimos de fruta fresca (RFF), la cosecha y el transporte cuentan con una mayor participación en el costo, ocupando una proporción relevante, con cerca del 30 % de los costos totales en *E. guineensis* (Mosquera *et al.*, 2019b). Estas actividades son altamente demandantes en mano de obra, y 90 % de los recursos invertidos en ellas se destinan a la remuneración del personal que labora (Mosquera *et al.*, 2019a).

Por otra parte, la mecanización de labores se ha convertido en una herramienta importante para lograr una agricultura eficiente y competitiva (Islam, 2010). El uso de maquinaria agrícola puede contribuir a disminuir las pérdidas de margen del negocio agrícola y a compensar la escasez de mano de obra (Ortiz, Palacios y Cervantes, 2016).

En este orden de ideas, han surgido alternativas de mecanización en las labores de cosecha, en específico

el alce de racimos, como es el caso del grabber. Sin embargo, existe incertidumbre en los rendimientos que puede alcanzar la máquina en diferentes condiciones de trabajo, así como en los costos que implica su operación en plantaciones de Colombia. Este artículo presenta los resultados de la estimación del rendimiento estándar y los costos de la labor de alce mecanizado con grabber en una plantación de palma de aceite adulta de la Orinoquia colombiana, teniendo en cuenta dos escenarios de densidad de cosecha.

Materiales y métodos

Descripción del sistema de alce

El sistema de alce mecánico documentado en la plantación está conformado por tres componentes: un tractor de 45 HP, un brazo y un zorro hidráulicos de volteo lateral, como se observa en la Figura 1.

Ubicación

La investigación se realizó en una finca de la plantación de palma de aceite Inparme S. A. S., ubicada en el municipio de Cabuyaro, Meta. Los datos se tomaron durante el segundo semestre de 2017 y el primer semestre de 2018, en lotes con siembras entre 1990 y 2013, con cultivares IHRO y Unipalma. Estos periodos de tiempo corresponden a las épocas de baja y alta producción de la plantación respectivamente, de acuerdo con sus registros de producción.

Figura 1. Sistema de alce mecanizado con grabber.

Fuente: Autor (2018)



Con el fin de mejorar la precisión del tiempo de la labor y disminuir el sesgo, se seleccionaron los operarios del grabber con más de un año de experiencia en el uso de la máquina, en la misma finca, y que de acuerdo con el criterio de los supervisores registraban un ritmo de trabajo normal o promedio.

Método

La investigación se realizó en tres fases: diagnóstico operativo, estudio de tiempos y análisis económico. Para las dos primeras, se siguió la metodología propuesta por Sánchez *et al.* (2010). El análisis se realizó bajo un enfoque de ingeniería económica, haciendo énfasis en el costo de producción unitario.

Diagnóstico operativo: para conocer los procesos que realiza la máquina durante la jornada laboral se realizó una documentación en campo durante 15 días. A partir de la observación directa del operario, se registraron y clasificaron todas las actividades ejecutadas desde el inicio al cierre del día de trabajo.

Las actividades observadas fueron clasificadas como ciclo básico (aquellas acciones repetitivas a lo largo del día y necesarias para realizar el trabajo) y otras acciones (necesarias para realizar el trabajo, pero que se llevan a cabo con menor frecuencia). Asimismo, se realizó la identificación de demoras en la ejecución de la labor y de factores que generaban fatiga al operario.

Las actividades que conforman la labor fueron representadas a través de un diagrama de proceso utilizando la simbología de la American Society of Mechanical Engineer (ASME), según lo indicado por Sánchez *et al.* (2010). A partir del diagnóstico operativo se diseñó el estudio de tiempos.

Estudio de tiempos: se realizó para determinar el rendimiento estándar del alce mecanizado. Fue necesario estimar el tamaño de muestra para cada escenario de densidad de cosecha. Con este fin, se partió de una medición de tiempos preliminar del ciclo básico de trabajo y se asumió varianza desconocida. Con base en el muestreo preliminar de tiempos, se estimó el tamaño de muestra (Ecuación 1). La medición de tiempos se efectuó utilizando el método de cronometraje por tiempo continuo, utilizando la aplicación para android Hybrid Stopwatch. Los datos fueron exportados a Microsoft Excel para su tratamiento estadístico.

Ecuación 1. Tamaño de la muestra

$$n = t_{\frac{\alpha}{2}, n_{p-1}} * \frac{\sigma_p^2}{e}$$

En la Ecuación 1, σ_p^2 representa la varianza, e representa el error de muestreo y t corresponde a un valor de la distribución de T, de acuerdo con la confiabilidad considerada. Se tuvieron en cuenta nueve escenarios de muestreo, en función del error de la muestra y el nivel de confiabilidad α . La variable a partir de la cual se realizó el cálculo fue el tiempo total promedio del ciclo básico.

A partir del tamaño de la muestra se realizó la captura de datos de tiempo para el ciclo básico de trabajo, mediante el método de cronometraje por tiempo continuo, hasta completar el número de registros requeridos. Se definió como medida de tendencia central a la mediana, con el fin de ser consecuente con la distribución asimétrica de los datos. Adicionalmente, se registró el número de diagonales recorridas por la máquina hasta encontrar un racimo y el número de racimos alzados en cada detención. Se registró el tiempo asociado a elementos extraños, esto es, acciones que no hacen parte del ciclo básico de trabajo y que generan demoras.

También se registró el tiempo de ejecución de los macromovimientos por cronometraje continuo. Para los elementos de desplazamiento, se estimó un tiempo ponderado a través de un análisis de redes en el cual se utilizó el programa ArcMap v. 10,3, se acató el procedimiento diseñado por ESRI (2008) y se consideró la velocidad promedio para cada tipo de desplazamiento y la distancia a recorrer, en función de la ubicación de acopios, lotes y estacionamiento de la máquina. La metodología de análisis de redes se suele utilizar, entre otros, para estudios de logística, aprovechando las características de las redes espaciales, como la relación entre grafos (nodos y segmentos) y sus propiedades topológicas (Sevtsuk y Mekonnen, 2012). La Figura 2 ilustra cómo se pueden establecer límites espaciales a un rango de tiempo de desplazamiento definido (td), a partir de la longitud (l) y la velocidad de desplazamiento (v) de cada tramo analizado, con respecto a un punto de origen: para un rango de tiempo definido,

corresponderá un rango de distancia a recorrer de acuerdo con la velocidad de transporte. La distancia recorrida por movimiento fue medida utilizando un GPS Garmin Etrex 10, en modo Track, capturando una coordenada cada dos segundos. Para el análisis, se establecieron rangos de tiempo en minutos de uno, cinco y múltiplos de cinco (hasta cuarenta).

Por otro lado, se hizo la calificación de los suplementos de tiempo identificados, de acuerdo con lo recomendado por Niebel y Freivalds (2009) y Estellés *et al.* (2013). Un suplemento de tiempo es un porcentaje de tiempo adicional al normal, que se asigna para compensar la fatiga de un trabajador o una máquina, y que depende de la naturaleza de la labor realizada. El suplemento de temperatura se estimó con base en el valor de la temperatura global de bulbo húmedo (TGBH), la cual fue medida utilizando un termómetro de estrés térmico HT30. Las mediciones se realizaron en intervalos de dos horas, en los pies, los hombros y la cabeza del operario.

El rendimiento estándar se obtuvo considerando la cantidad de racimos alzados en función del tiempo estándar de trabajo para el ciclo básico, durante una jornada laboral definida de 10 horas. Para ello,

en primer lugar, se estimó el tiempo efectivo de trabajo, restando el tiempo total de elementos extraños al tiempo observado para cada elemento del ciclo de trabajo medido.

Es importante resaltar que para el cálculo del tiempo normal se aplicó un factor de acuerdo con la calificación de la labor. Por ejemplo, dado que el propósito de realizar el alce de racimos mediante el uso del grabber es evacuar todos los que están cortados y disponibles, se definió el valor del desempeño en función de la proporción de racimos olvidados o no alzados. Este desempeño se calculó dividiendo el número de racimos alzados por el grabber entre el número total de racimos que debían ser llevados al acopio (en cada parada). En consecuencia, si todos los racimos disponibles en una parada fueron recogidos por el grabber, se asignó una calificación del desempeño del 100 %.

Finalmente, el tiempo estándar se estimó con base en el tiempo normal de trabajo y el porcentaje de suplementos totales, como se resume en la Tabla 1. Para calcular el tiempo estándar total de los macromovimientos, se tuvieron en cuenta las frecuencias diarias registradas para cada uno.

Figura 2. Metodología de análisis de redes (adaptado de ESRI, 2008)

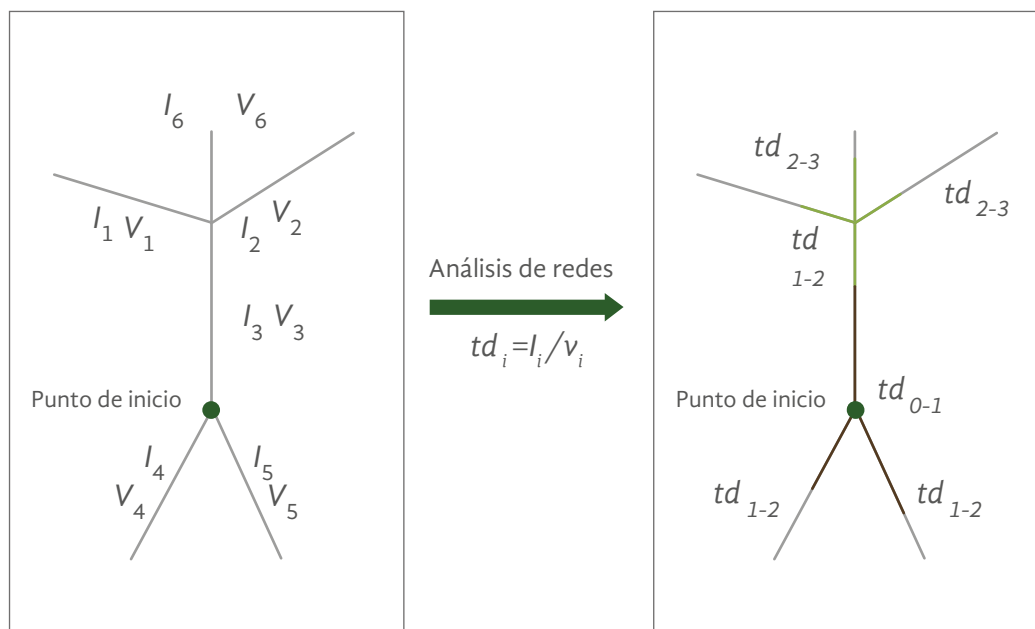


Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de tiempos.

Parámetro	Ecuación	Variables
Tiempo normal	$TN_i = TO_i - TM_i * \left(\frac{C_i}{100}\right)$	TO = Tiempo observado del elemento TM = Tiempo muerto del elemento C = Calificación del desempeño del elemento observado
Tiempo estándar	$TS = \overline{TN} * (1 + Ss)$	TS = Tiempo estándar Ss = Porcentaje de suplementos de tiempo
Rendimiento estándar	$RE = \frac{(TS)}{t} * P$	Ts = Tiempo estándar de llenado de zorro (h/día) t = Tiempo estándar de alce (h/racimo) P = Peso promedio de racimo (t/racimo)

Análisis económico

El análisis de costo-beneficio se llevó a cabo considerando precios corrientes de 2018. Se estimaron los costos fijo y variable asociados al uso de la máquina. El costo fijo se estimó calculando el valor de la depreciación del sistema de alce, para un periodo de tiempo conforme a la vida útil de cada elemento del sistema, utilizando el método de línea recta y aplicando un valor de salvamento del 10 %. La vida útil se definió en 15, 8 y 5 años para el tractor, el grabber y el zorro, respectivamente. Asimismo, se consideró un costo financiero para la compra de maquinaria bajo las condiciones del Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro) para un productor de gran escala, con amortización a 8 años. El costo variable de la maquinaria involucrada en la operación de alce se estimó a partir del registro de consumo de combustible, repuestos y mantenimiento, suministrado por la plantación. Parte de los costos variables corresponden a la mano de obra directa e indirecta que participa en la labor de alce. Con los elementos anteriormente descritos se procedió a estimar el costo por tonelada de fruta, es decir, el costo unitario. Esta estimación se llevó a cabo para cada día y corresponde al costo en pesos por las toneladas alzadas en la jornada.

Resultados

Diagnóstico operativo

El diagnóstico operativo fue realizado en dos momentos. El primero corresponde a una época de alta

producción (pico alto de cosecha) cuya densidad de racimos, durante la realización de este estudio, fue del 67 % (es decir, 67 racimos por cada 100 palmas). El segundo escenario corresponde a una época de baja producción (pico bajo de cosecha) con una densidad de racimos estimada del 21 %. El diagrama de procesos en ambos escenarios mantuvo los mismos elementos. Naturalmente, la frecuencia de algunos procesos cambió entre escenarios.

La Figura 3 ilustra los procesos que hacen parte de la operación de alce de racimos con el grabber. Nótese que en la operación de la máquina son frecuentes los elementos de desplazamiento desde, al interior y hacia los lotes. Resaltado en verde, se encuentran las dos operaciones que más se repiten a lo largo del día, es decir, lo que denominamos metodológicamente como el ciclo básico de trabajo.

Estudio de tiempos

A partir de los procesos identificados en la descripción operativa de la labor, se procedió a tomar los tiempos correspondientes de cada uno de estos y a estimar los suplementos de tiempo.

La Tabla 3 muestra los tiempos estándar promedio de las operaciones involucradas en el alce mediante el sistema con grabber. El tiempo promedio de los procesos se comportó de manera similar en los dos escenarios estudiados (p. ej. alta y baja densidad de racimos). Sin embargo, en lo que concierne al tiempo de desplazamiento desde y hacia los lotes, la velocidad de operación de la máquina no fue constante y pudo no

estar condicionada por la productividad de los lotes, sino por aspectos como el estado de las vías, el peso de la carga transportada o el criterio del operario. Finalmente, el tiempo de desplazamiento hacia los acopios fue menor que el tiempo de desplazamiento hacia los lotes debido a que el zorro se encontraba cargado y el operario debía conducir la máquina más lentamente para evitar la caída de racimos.

El valor total estimado para los suplementos de tiempo fue de 36,3 % y 37,3 % para los picos alto y bajo, respectivamente. En general, para toda la labor, se aplicaron suplementos constantes y por fatiga debido al calor. Solo para el ciclo básico de trabajo se aplicaron,

además, los suplementos de tedio, ruido y estrés por presentarse con mayor intensidad en esta fase de la labor. Cabe resaltar que los elementos de alistamiento, abastecimiento y parqueo no tienen aplicación de suplementos, ya que su tiempo se considera como parte de la preparación del sistema de alce y, por lo tanto, se tomaron como suplementos adicionales aplicados a la máquina.

Respecto a la fatiga por calor, si bien las temperaturas máximas promedio presentaron una diferencia de 0,35 °C entre las dos épocas, se observó que un incremento leve tuvo una repercusión importante sobre el valor del suplemento y, por ende, en el rendimiento del operario.

Figura 3. Diagrama de proceso de la labor de alce mecánico de racimos

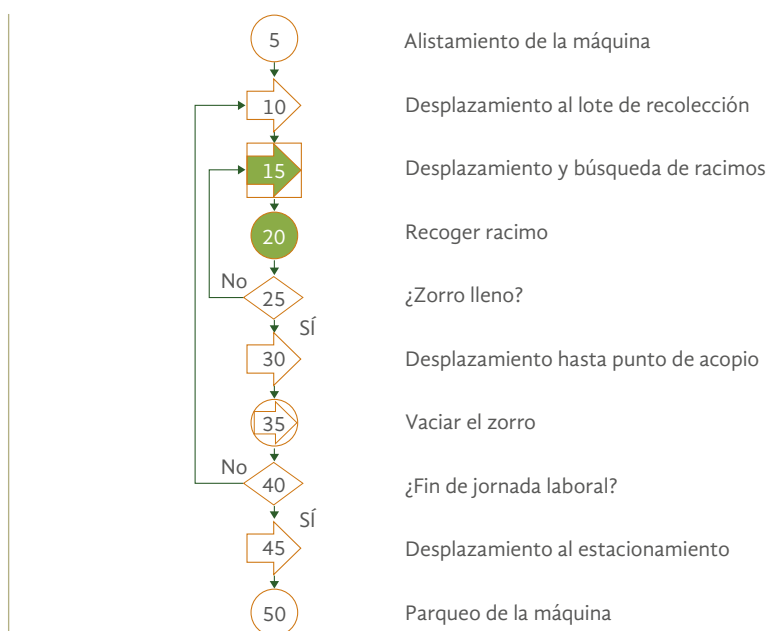


Tabla 2. Suplementos de tiempo aplicados.

Fatiga por calor	Tedio	Ruido	Estrés	Suplementos constantes
<i>Temperatura media máxima (°C):</i>				
Alta producción 31,7				
Baja producción 32,1	Alta producción 5 %			Necesidades personales 5 %
<i>Suplemento por temperatura</i>	Baja producción 2 %	2 %	4 %	Fatiga básica 4 %
Alta producción 16,4 %				
Baja producción 20,3 %				

Tabla 3. Tiempos medios estándar de los elementos del proceso.

Elemento	Alta producción			Baja producción		
	Frecuencia (veces/día)	Suplemento (%)	Tiempo estándar (min./vez)	Frecuencia (veces/día)	Suplemento (%)	Tiempo estándar (min./vez)
Alistamiento, abastecimiento y parqueo de la máquina	1	--	11,5	1	--	7,1
Desplazamiento inicial a lotes	1	27	18	1	31	20,2
Desplazamientos a lotes desde acopios	14	27	3,53	11	31	3,44
Llenado de zorro	15			12		
Desplazamiento	--		12,3*	--		13,8*
Alce	--	36	6,8*	--	37	8,2*
Ciclo básico	--		19,1*	--		27,2*
Desplazamiento a acopio	15	27	4,27	12	31	3,38
Vaciado de zorro	15	27	1,77	12	31	1,82
Desplazamiento a estacionamiento	1	27	18	1	31	20,2

* Tiempo en segundos por racimo

En una jornada laboral de 10 horas que iniciaba sobre las 6 a. m., el rendimiento estándar del sistema era de 30,5 t/día-máquina y 20,3 t/día-máquina para las épocas de alta y baja producción respectivamente, considerando un peso medio de racimo correspondiente de 25,7 y 22,4 kg/racimo. El rendimiento en área, aunque variaba de acuerdo con la distribución espacial y temporal de los racimos, se estimó en 31 ha/día y 12,7 ha/día en pico bajo y alto, respectivamente. La proporción de tiempos ilustrada en la Figura 4 indica que más del 60 % del tiempo de la jornada laboral se aprovechaba para evacuar los racimos de los lotes cosechados en el día, entre un 22 % y un 30 % se invertía en desplazamientos lote-acopio-lote, lote-estacionamiento-lote y el descargue en acopios, y entre un 7 % y 11 % del tiempo se destinaba para tomar el almuerzo, realizar el parqueo y la preparación de la máquina.

Por otro lado, el estudio de tiempos mostró que la duración de las operaciones que hacen parte del ciclo básico de trabajo estuvo influenciada por la densidad de cosecha de los lotes. Respecto al tiempo de des-

plazamiento y búsqueda de racimos, este disminuyó con el incremento de la densidad de racimos, es decir, la productividad de los lotes. Esto se debe a que la cantidad de racimos a recolectar en los lotes no era constante a lo largo del año y su número estaba ligado a diferentes factores como el clima, la eficiencia de la polinización, la eficiencia de la fertilización y la madurez de los racimos (Woittiez *et al.*, 2017).

En efecto, la Figura 5 ilustra que tomó más tiempo desplazarse dentro del lote en pico bajo de cosecha porque las distancias para encontrar al menos un racimo eran más largas que aquellas registradas durante el pico alto de cosecha, ya que los racimos se encontraban más dispersos espacialmente y, como el tractor se desplazaba calle por calle, se demoraba más en alcanzar el siguiente racimo. Por ejemplo, en época de baja producción el tractor podía visitar hasta 82 palmas sin encontrar racimos por recoger. De otra parte, el tiempo de alce de racimos con el grabber en la época de alta producción fue mayor en 10,2 % con respecto al tiempo en la época de baja densidad de cosecha, ya

que era más frecuente encontrar dos o más racimos por palma, lo que hacía que el operario se demorara más tiempo en alzarlos todos. De igual manera, las distancias máximas recorridas para encontrar un racimo se redujeron en la época de alta producción, al haber una mayor disponibilidad de estos.

Por esto, el grabber puede ser más eficiente cuando haya una mayor cantidad de racimos en los lotes. Para ello, es recomendable la implementación de las mejores prácticas agrícolas en materia de fertilización, riego,

aplicación de residuos orgánicos y manejo fitosanitario (Ruiz *et al.*, 2015). En relación con lo anterior, el aumento del rendimiento puede manifestarse tanto en el número de racimos por palma, como en su peso promedio (Erales, 2016). Frente a esto, se debe considerar que el grabber puede ser menos rentable cuando se disponen de pocos racimos con pesos pequeños, ya que el tiempo de llenado del zorro es mayor, en cuyo caso se podrían agrupar en montículos, además de ajustar la logística de la cadena de labores de la cosecha.

Figura 4. Distribución de la jornada laboral según la época de producción

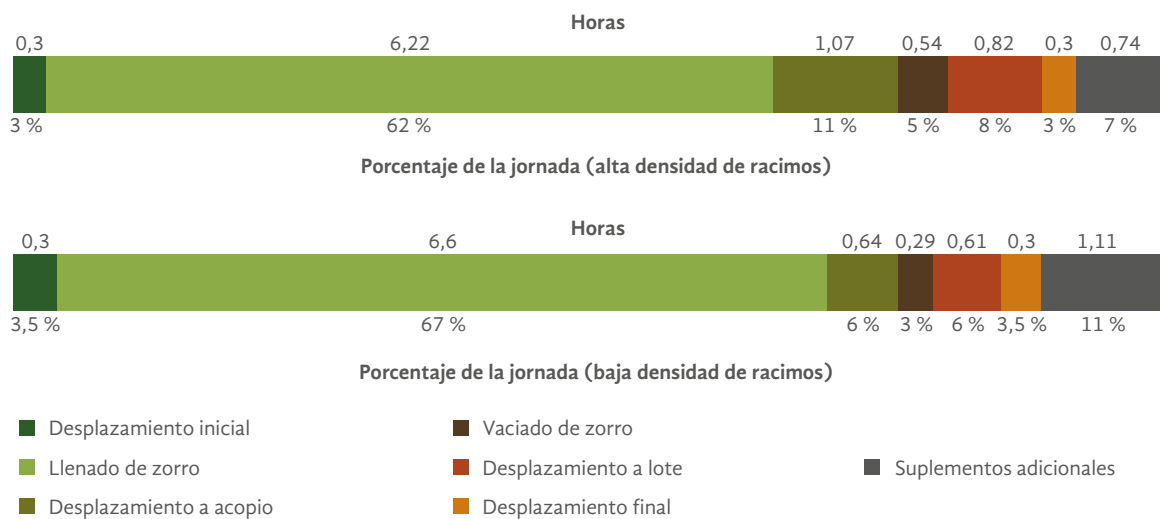
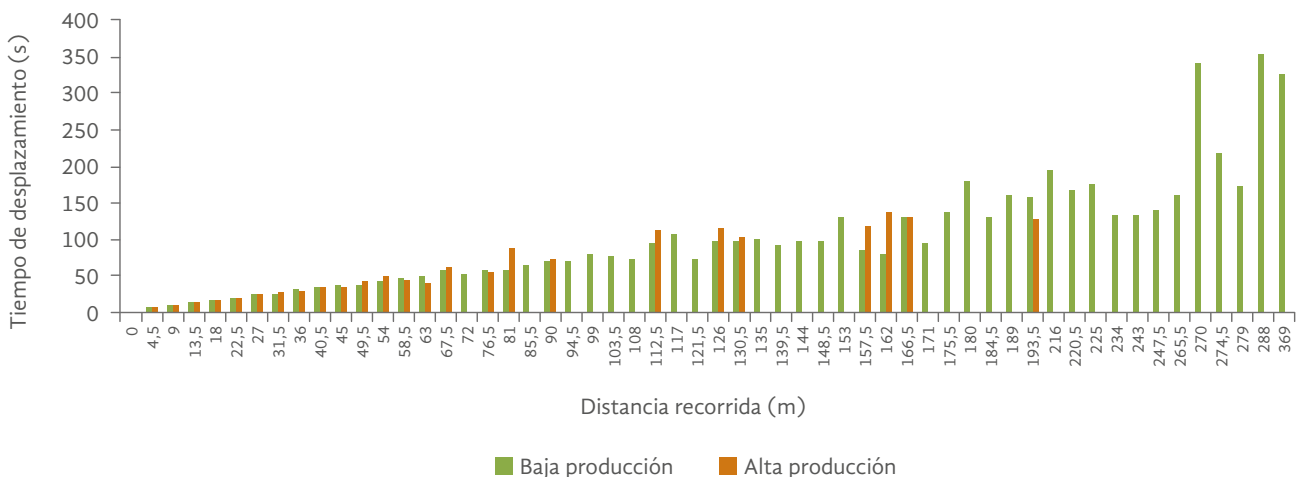


Figura 5. Relación entre distancias y tiempos de desplazamiento



Respecto a los rendimientos, los estimados en el presente estudio tienen cercanía con lo reportado por Shuib *et al.* (2010) quienes estimaron un rendimiento de 18,5 t/día. Asimismo, Prebian y Yahya (2013) encontraron rendimientos de 20,1 t/día, considerando una operación de la máquina en terrenos ondulados. Estos valores son superiores al rendimiento reportado por Hitam *et al.* (1994) de 14 t/día para el primer prototipo de grabber. Por su parte, en Colombia, Sierra y Alfonso (2010) estimaron rendimientos de 2,4 t/h en condiciones similares a las del presente estudio, equivalentes a 21,6 t/día considerando la misma duración de la jornada laboral.

Análisis de costos

La Tabla 4 sintetiza los resultados de la estimación de costos para las dos épocas de densidad de cosecha estudiadas. Naturalmente, el costo de la depreciación de los equipos no cambia entre las dos épocas. El costo variable presentó un mayor valor en la época de alta producción como consecuencia de tener un mayor número de desplazamientos al acopio (mayor consumo de combustible). Para la estimación del costo de la mano de obra se tuvieron en cuenta los operarios que conformaban las cuadrillas de trabajo en la cosecha: corteros y alistadores o encalladores de racimos. No se consideró el costo de la recolección del fruto suelto por ser una actividad independiente del alce para la plantación. Así las cosas, el costo de mano de obra fue un 45,5 % mayor durante el pico alto de cosecha, a causa de la conformación de las cuadrillas, puesto que esta condición requería de mayor personal para poder garantizar el rendimiento estimado del grabber (Tabla 4). Cabe resaltar que los rendimientos laborales de los operarios de cosecha fueron mayores en la época de alta producción de racimos, de acuerdo con los registros de la plantación.

El consumo de combustible por hora se estimó a partir del promedio mensual para el año 2018. De acuerdo con los registros de consumo de combustible entregados por la plantación, un grabber puede gastar entre 0,44 y 0,57 galones de ACPM. El consumo promedio de combustible fue de $0,49 \pm 0,04$ gal/h. Sin embargo, la diferencia en el costo diario entre las dos épocas de producción radicó en el hecho de que,

durante el pico alto de cosecha, el grabber estuvo más tiempo en funcionamiento (Figura 4).

Entre los materiales para la operación se destacan los repuestos, los lubricantes y los filtros, los cuales son reemplazados con una periodicidad establecida en el plan de mantenimiento, de acuerdo con las horas de trabajo del tractor. Los repuestos (mangueras del sistema hidráulico y llantas) representan el 76 % del costo de los materiales.

La mano de obra representa uno de los mayores costos operativos del sistema, puesto que demanda un operario directo y tres indirectos, sin considerar el personal encargado de planear y supervisar el alce de fruto con grabber.

En lo que concierne al personal de mantenimiento se estimó una participación del 6,94 % en el tiempo de operación anual del sistema, ya que solo requiere dos días (cada 45 días aproximadamente), en los cuales se ejecuta el plan de mantenimiento. Sin embargo, solo el operario de esta labor dedica la totalidad de su jornada a realizar el mantenimiento del grabber, a diferencia del auxiliar y el soldador, quienes deben distribuir su tiempo en atender también a otras máquinas. Entre los tres operarios, se estimó un costo de mano de obra indirecta de \$ 1.391.595 al año.

El costo de cada tonelada evacuada no depende únicamente del alce, sino que requiere del esfuerzo de corteros y encalladores. La participación de las labores de corte y encallado se ve reflejada en la proporción del costo total correspondiente a la mano de obra. Al relacionar el rendimiento de toda la cadena de cosecha utilizando para el alce el sistema con grabber se concluye que esta tiene un costo de \$ 24.263/t RFF en época de alta densidad de cosecha y de \$ 27.083/t RFF en épocas de baja densidad de la cosecha (Figura 6).

Adicionalmente, el grabber tiene un mayor impacto cuando se trabaja con palmas adultas, las cuales presentan un mayor peso de racimo (Ruiz *et al.*, 2015), también generan menos daños sobre las piezas del grabber y menores riesgos al trabajador debidos a los golpes de las hojas.

Por otro lado, el beneficio que puede aportar el grabber depende también de la capacitación, el avance en la curva de aprendizaje del trabajador y del bienestar

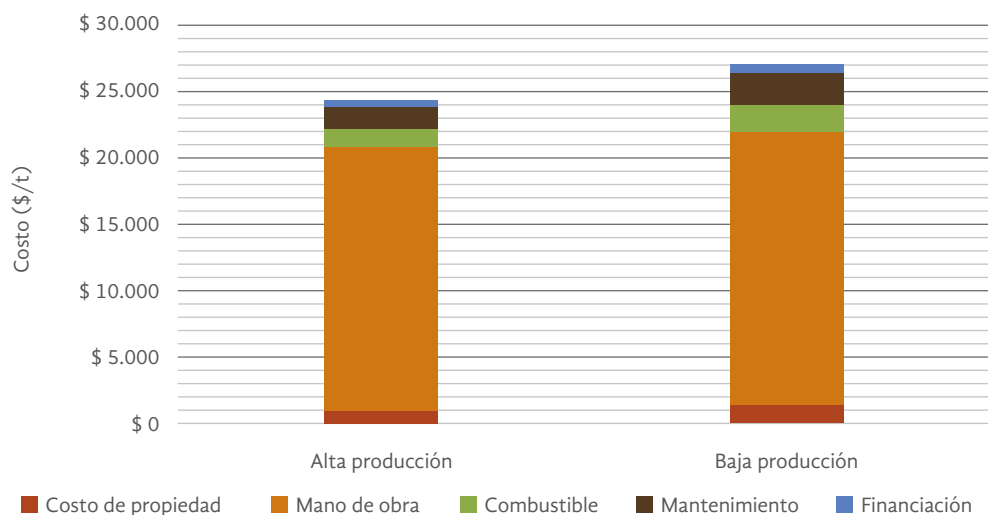
en el trabajo (Nawi *et al.*, 2013). Alcanzar un nivel suficiente de desempeño requiere de un tiempo de entrenamiento que depende de la competencia y compromiso que tenga el operario, así como de la edad,

el conocimiento previo y el talento (Chango y Zambrano, 2018). Por lo tanto, es recomendable vincular a operarios que tengan alguna destreza o experiencia previa en el manejo de maquinaria agrícola.

Tabla 4. Costo diario de dos sistemas de alce en función de la producción

	Alta producción		Baja producción	
	Cantidad	Costo (\$/día)	Cantidad	Costo (\$/día)
Costos fijos		\$28.891		\$ 28.891
Tractor y zorro	1	\$23.188	1	\$ 23.188
Grabber	1	\$ 5.703	1	\$ 5.703
Costos variables		\$94.269		\$ 92.534
Mantenimiento	--	\$ 4.832	--	\$ 4.832
Materiales	--	\$49.108	--	\$ 49.108
Combustible	--	\$40.329	--	\$ 38.595
Costo financiero		\$14.597		\$ 14.597
Costo mano de obra		\$ 602.263		\$ 413.763
Cortero	7	\$ 358.498	7	\$ 253.654
Encallador	4	\$ 185.688	3	\$ 102.032
Conductor	1	\$58.077	1	\$ 58.077

Figura 6. Costo por tonelada según época de producción



Conclusiones

El rendimiento del sistema en términos de área cubierta es determinado por la productividad de los lotes, lo cual a su vez influye en la planificación de la labor de cosecha. Con respecto a esto último, se puede conocer el número de días en que un equipo de alce puede recorrer un área determinada, por ejemplo, la totalidad de la plantación. De igual manera, se puede conocer el número de grabbers que se requieren para evacuar toda la producción de acuerdo con el ciclo de cosecha.

El alce mecanizado puede alcanzar un mayor beneficio económico cuando se cuenta con lotes altamente productivos en términos de toneladas por hectárea y con ciclos de cosecha ajustados, minimizando la cantidad de fruto suelto a recoger.

Por otro lado, es importante resaltar que el grabber fue diseñado bajo un criterio de rentabilidad sin tener en cuenta la ergonomía del trabajador, por lo que en algún momento se observó prevalencia de enfermedades profesionales relacionadas con afectaciones osteomusculares de la región del torso, cuello y hombros, según lo manifestado por Yusuff *et al.* (2007). No obstante, las mejoras en el diseño de la máquina han permitido disminuir el impacto de ese factor de riesgo sobre la salud del operario. En el caso del presente estudio, se pudo observar que el cambio en la posición del mando del sistema hacia la parte anterior del tractor realizado por la empresa, así como el uso de espe-

jos, han permitido disminuir la fatiga causada por el tedio y puede considerarse como uno de los factores de éxito en el incremento de la eficiencia de la labor de alce. En este orden de ideas, la mecanización tiene un beneficio indirecto en lo que concierne a la disminución del ausentismo laboral. Sin embargo, es necesario conocer con más profundidad el impacto de la máquina en la salud ocupacional de los trabajadores.

Aunque la operatividad del grabber está condicionada por algunos factores inmediatos como el rendimiento del cultivo y la logística de las labores de cosecha, existen otros factores inherentes a los lotes como la edad de la palma, la productividad del cultivar, el drenaje, la densidad de canales, el tipo de suelo, la posible compactación del suelo y el estado de las vías internas, que pueden influir en el rendimiento del sistema y merecen atención en futuras investigaciones. Finalmente, es importante destacar que no todos los suelos cumplen con los criterios para ser mecanizables, por lo que el uso de esta tecnología estaría limitado por esas condiciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, por la financiación de este estudio y a la Gerencia de Inparme S. A. S. por permitir la colaboración de su personal y facilitar recursos humanos y financieros para la ejecución de este estudio.

Bibliografía

- Cenipalma & Fedepalma. (2013). *Guía sobre el aceite de palma y sus aplicaciones*.
- Chango, M. & Zambrano, I. (2018). *Las curvas de aprendizaje. Factor de éxito de la medición del desempeño laboral en la gestión*. Editorial Andrade Aguirre. Recuperado de www.repositorio.espe.edu.ec.
- Erales, R. (2016). *La palma*. Boletín técnico. Grepalma. Recuperado de <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/boletin-5-La-Palma.pdf>

- Estellés, S., Palmer, M., Albarracín, J. & Romano, C. A. (2013). Una revisión de las Tablas de Suplementos de la Organización Internacional del Trabajo. *Dirección y Organización*, 49, 64-72.
- ESRI. (2008). ArGIS Network Analyst Tutorial.
- Fedepalma. (2018). *Anuario Estadístico 2017. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2012-2016*. Bogotá. Fedepalma.
- Gómez-Parada, É. & González-Sarmiento, G. (2015). Comportamiento del aceite de palma de Colombia en los principales mercados de exportación. *Revista Le Bret*, (7), 283-305.
- Hitam, A., Shuib, A. & Jalani, B. (1994). Cargador mecánico de racimos de palma de aceite-El Grabber. *Palmas*, 15(19), 45-48. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/422/422>
- Ibarra, M., González, L. & Demuner, M. de R. (2017). Competitividad empresarial de las pequeñas y medianas empresas manufactureras de Baja California. *Estudios Fronterizos*, 18(35), 107-130. doi: 10.21670/ref.2017.35.a06
- Islam, D. M. S. (2010). Farm mechanisation for sustainable agriculture in Bangladesh: Problems and prospects. 5th Technical Committee of United Nations Asian and Pacific Centre For Agricultural Engineering And Machinery. Los Baños, Philippines. Recuperado de <http://www.un-csam.org/activities/files/a09105thtc/ppt/bd-doc.pdf>
- Mosquera, M., López, D. Ruiz, E., Valderrama, M. & Castro, L. (2019a). Mano de obra en cultivos de palma aceitera de Colombia: participación en el costo de producción y demanda. *Palmas*, 40(1), 46-54.
- Mosquera, M., Ruiz, E., Castro, L., López, D. & Munévar, D. (2019b). Estimación del costo de producción para productores de palma de aceite de Colombia que han adoptado buenas prácticas agrícolas. *Palmas*, 40(2), 3-15.
- Nawi, N., Deros, B. & Nordin, N. (2013). Assessment of Oil Palm Fresh Fruit Bunches Harvesters Working Postures Using Reba. *Advanced Engineering Forum*, 10, 122-127. doi: 10.4028/www.scientific.net/AEF.10.122
- Niebel, B. & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Duodécima, McGraw-Hill.
- Ortiz-Martínez, G., Palacios-Rangel, M. & Cervantes-Escoto, F. (2016). La mecanización agrícola. *5to Congreso Nacional de Ciencias Sociales*. doi: 10.13140/RG.2.1.5030.6968
- Pebrian, D. & Yahya, A. (2013). Mechanized System for in-Field Oil Palm Fresh Fruit Bunches Collection-Transportation. *Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 44, 7-14.
- Rincón, S. M. & Martínez, D. M. (2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Palmas*, 30(2), 11-24.

- Ruiz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D. & Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 1-19.
- Sánchez, A., Fontanilla, C. & Mosquera M. (2010). Métodos para el desarrollo de estudios de tiempos y movimientos para labores de cultivo en palma de aceite: cosecha. En Fedepalma (Ed.). *Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía de facilitadores*. Bogotá: Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.
- Sevtsuk, A. & Mekonnen, M. (2012). Urban network analysis. A new toolbox for ArcGIS. *Revue internationale de géomatique*, 22(2), 287-305.
- Shuib, A., Mohd, R. & Mohd, S. (2010). Enhancing Field Mechanization in Oil Palm Management. *Oil Palm Bulletin*, 61(November), 1-10. Recuperado de <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/OPB/opb61-Rahim.pdf>
- Sierra, M. & Alfonso, O. (2010). Alce mecánico de racimos de palma de aceite en la Zona Oriental de Colombia. *Palmas*, 31(4), 60-67.
- USDA. (2019). *Major Vegetable Oils: World Supply and Distribution (Commodity View)*. Recuperado (21 de abril de 2019) de https://www.researchgate.net/figure/Major-Vegetable-Oils-World-Supply-and-Distribution-Commodity-View_tbl3_271738773
- Woittiez, L., van Wijk, M., Slingerland, M., van Noordwijk, M. & Giller, K. (2017). Yield Gaps in Oil Palm: A Quantitative Review of Contributing Factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57-77. doi: 10.1016/j.eja.2016.11.002
- Yusuff, M., Doi, M., Khalid, M., Chia, Y. & Muslim, M. (2007). Work posture risk analysis of mechanical loader operators in oil palm plantations. *Proceedings of Agriculture Ergonomics Development Conference*, (January 2017), 118-123. Recuperado de <http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/8027>