

Análisis comparativo de costos para la aplicación de fertilizantes en palma de aceite

Comparative Analysis of Costs for Application of Fertilizers in Oil Palm

Autores

Oscar Alberto Alfonso Carvajal

Programa de Agronomía,
Centro de investigación en
palma de aceite, Cenipalma

John Sebastián Castiblanco Riveros

División de Validación y
Transferencia. Centro de
investigación en palma de
aceite, Cenipalma

Palabras CLAVE

costos fijos, costos variables y
valor presente neto.

Fixed costs, variable costs and net
present value.

Recibido: febrero 16 de 2013

Aprobado: julio 21 de 2013

Resumen

La fertilización es una actividad prioritaria en el cultivo de la palma de aceite y puede representar hasta 31% de los costos variables y 16% de los costos totales de producción (Fedepalma, 2010). En la Zona Oriental se realizaron ensayos comparativos de tres sistemas de aplicación de fertilizantes que involucraron el uso de carretas con búfalos, esparcidoras de alce y de tiro. Se realizó una simulación de tres aplicaciones fraccionadas de los fertilizantes en un área de 1.605 ha. Esta área fue determinada a partir del número de días sin lluvia estimados con la probabilidad de 75% por año (88 días) y del rendimiento por día del sistema manual con búfalos trabajando 88 días/año. En esta evaluación se identificaron las ventajas y desventajas técnicas y económicas, y se evaluaron económicamente los tres sistemas de aplicación mencionados. Se evidencia que los sistemas mecanizados resultan en menores Valores Presente Netos (VPN), \$174.284/ha con esparcidoras de alce y de \$174.399/ha con las esparcidoras de tiro. El sistema de aplicación mediante búfalos y carretas presenta un rendimiento de 9 ha/día, a un costo mayor equivalente a \$230.522/ha. Los sistemas mecanizados son más eficientes, presentan mayores rendimientos operativos, 95 ha/día con esparcidoras de tiro y 49 ha/día con las de alce hidráulico. A partir de este análisis económico es evidente que se debe incrementar el uso de los sistemas mecanizados para la aplicación de los fertilizantes en el cultivo de la palma de aceite en Colombia.

Abstract

Fertilization of the oil palm crops is one of the main practices to ensure high yields and profitability. It represents up to 31% of the variable costs and 16% of the total production cost (Fedepalma, 2010). An economic comparison of three fertilizer application systems was conducted at the Eastern Colombian Zone cropped with oil palm. A simulation was conducted to apply three split applications of fertilizer in 1.605 ha, during a dry period of 88 days using the buffalos and the two mechanized systems. The application systems involved the use of carts pulled by buffalos, and two mechanized broadcasting methods. Pro and cons of the systems were identified for each one and became clear that the mechanized systems were more attractive due to their lower net present values per ha; Col \$174.284/ha for the hydraulic broad casting machine and Col \$174.399/ha with the broad casting machine pulled by a tractor. The application of fertilizers using a buffalo to pull a cart resulted in 9 ha/day coverage at a cost of Col \$230.522/ha while the mechanized system using the hydraulic system of the tractor covered 95 ha/day. The broadcasting machine pulled by a tractor cover an area of 49 ha/day. This analysis depicts the need to adopt mechanized systems for the application of fertilizers in the Colombian oil palm industry.



Introducción

El cultivo de la palma de aceite en Colombia ha crecido aceleradamente en la última década, pasando de 156.070 hectáreas en el año 2000 a 402.012 en 2010 (Sispa, 2010). Este crecimiento no es el resultado de una mayor competitividad, dado que persisten las bajas productividades (Sanz, 2011) y los altos costos de producción (Corredor, 2007), en comparación con los productores líderes mundiales.

Con el fin de contribuir al aumento de la competitividad del cultivo y disminuir los costos de producción, se requieren investigaciones que identifiquen las tecnologías que aumenten las producciones de fruto y aceite por hectárea o que disminuyan los costos de producción y de procesamiento en la planta de beneficio. La disminución de los costos se puede alcanzar mediante la identificación de alternativas más económicas y eficientes para realizar las diferentes labores.

La fertilización, por ejemplo, es una labor sobre la que existen múltiples técnicas y métodos

de ejecución con variaciones considerables en los requerimientos de mano de obra y de recursos monetarios. En este artículo, se presentan los resultados de un ensayo realizado en los Llanos Orientales de Colombia donde se evaluaron tres formas de aplicación de fertilizantes: aplicación asistida por búfalos, uso de esparcidoras de alce de un disco y esparcidoras de tiro de dos discos.

En el estudio económico se estimaron los costos de uso de cada uno de los sistemas con el fin de definir el método más adecuado para disminuir los costos de aplicación de los fertilizantes, en sitios donde las condiciones son similares a las estudiadas.

Metodología

Para la evaluación económica de los sistemas de aplicación de fertilizantes se usaron evaluaciones de tiempos y movimientos obtenidos en



investigaciones previas. Esta información fue clave, ya que permitió identificar el rendimiento real de los sistemas de aplicación en una jornada de trabajo de ocho horas. Con la cuantificación de los tiempos muertos y de transporte se definió el área que se puede fertilizar diariamente con cada sistema. Estos dos factores afectan directamente los costos de aquellos sistemas menos eficientes, mientras que benefician a los sistemas con mejores rendimientos.

Para el análisis económico comparativo se tomó como base el área recorrida en un tiempo determinado por el sistema de aplicación con búfalos, estimando cuántos días deberían emplearse con los otros dos sistemas para realizar tres aplicaciones fraccionadas para cubrir las 1.605 ha. Se debe resaltar que con los sistemas de aplicación mecánica se requiere menos tiempo de trabajo para cubrir. Esto implica menor uso de los equipos y menor número de jornales pagados por la plantación, lo cual reduce también el monto de los costos de operación y mantenimiento.

Se llevó a cabo una estimación de los costos fijos y variables de los tres sistemas evaluados. Como costos fijos se asumió el uso de las máquinas a las que se les asignó una vida útil de 25 años, calculada con base en estudios previos de maquinaria agrícola (Hunt, 1986), (Pflueger, 2005), (Velasco *et al.*, 2007) y (Fedepalma, 2010). Dado que el valor de la maquinaria se consideró como un dato de duración fija, se definió un porcentaje de uso de la misma con el fin de generar diferencias entre los sistemas.

Se calculó el tiempo requerido (número de días) para fertilizar un área determinada la cual se cruzó con el número de días laborables del año, todo esto con el fin de conocer los costos anuales asociados con la maquinaria requerida para realizar la fertilización¹. Para estimar el número de días de trabajo disponibles para fertilizar, se usaron 21 años de registros de pre-

cipitación en la zona de Cumaral, Meta. Esta información se ordenó de manera ascendente y luego se le asignó un número de orden, iniciando en 1 para el menor valor hasta cubrir todos los datos, y mediante la relación entre el número de orden y el número total de datos se estimaron las diferentes probabilidades de ocurrencia. En este caso, se determinaron las precipitaciones con probabilidades al 25, 50 y 75%. De igual manera, se estimó el número de días sin precipitación con los mismos niveles de probabilidad. Posteriormente, se determinó el número de días sin lluvia disponibles para fertilizar, de acuerdo con la siguiente ecuación. En este caso se encontraron 88 días disponibles para fertilizar por año, lo que implica que con el rendimiento de un búfalo (9 ha/día) y el número de horas efectivas de trabajo (5,7 h/día), seis búfalos alcanzarían a cubrir 1.605 hectáreas en un año.

$$D_f = \sum_{i=3}^{i=11} N_{dsp}$$

Donde:

- D_f Número de días disponibles para fertilizar al año
- N_{dsp} Número de días sin precipitación
- i Número de meses del año aptos para fertilizar en la Zona Oriental de Colombia

El cálculo del porcentaje de uso partió del conocimiento del área total (1.605 ha) que se podrían fertilizar con seis búfalos, en el número de días disponibles para fertilizar tres veces al año. El porcentaje de uso de la maquinaria requerida en los sistemas de esparcadoras de alce y de tiro se calculó definiendo el número de días necesarios de trabajo con estos sistemas mecanizados para cubrir las mismas hectáreas. Con el porcentaje de uso de las esparcadoras de alce hidráulico y de tiro se obtuvo el valor de los costos fijos anuales implicados.

¹ Si un tractor se usa, por ejemplo, la mitad del año en fertilización por óptimas condiciones climáticas, solo se debe asumir el valor de uso de seis meses en fertilización y el resto del valor se debería cargar a otras actividades, como cosecha.

Adicional a los costos fijos, se estimaron los costos variables representados por los costos de mantenimiento y reparación de los equipos calculados con base en un porcentaje del valor de compra y por los costos de operación. Se incluyó mano de obra, combustibles, aceites y filtros. Los costos operacionales totales se expresaron en términos de hora y se multiplicaron por la cantidad de horas requeridas para cubrir las 1.605 hectáreas por año.

Finalmente, a la suma de los costos fijos y variables se les proyectó a un horizonte de tiempo de 25 años (duración promedio del cultivo de *Elaeis guineensis*) para realizar un análisis financiero mediante el cálculo del Valor Presente Neto (VPN) y así identificar el sistema más económico (en términos estrictamente monetarios, sin considerar oportunidad de uso de la maquinaria y requerimientos de mano de obra, entre otros).

Resultados y discusión

Con la información de tiempos y movimientos se determinaron los tiempos estándar de operación, encontrándose que el sistema de búfalos (con seis semovientes y carretas) puede ferti-

zar en promedio 9,6 ha/hora (54,7 ha/día), dos máquinas esparcidoras de alce fertilizan 16 ha/h (98 ha/día), y el sistema de esparcidora de tiro 26,8 ha/h (190 ha/día) usando tres tractores, dos en la aplicación y uno en el alce del fertilizante almacenado en *big bag* de 1.000 kg en el mismo tiempo. Estos valores de rendimiento se determinan con base en el rendimiento determinado para cada equipo, es decir se debe hacer la relación entre el rendimiento neto por equipo y el tiempo de aplicación neto, para determinar el rendimiento por hora, y multiplicar este valor por el número de equipos especificados en cada sistema. De esta forma, se tiene el rendimiento por hora de cada sistema.

Se debe anotar que con la duración de la jornada efectiva de trabajo y los rendimientos por cada hora, los rendimientos diarios totales varían entre sistemas, así como los requerimientos de maquinaria. En la Tabla 1 se presenta un resumen de esta información. Se debe notar que los sistemas mecanizados presentan mayores rendimientos, requieren menor número de jornales para ejecutar el trabajo y también resultan en mayor disponibilidad de maquinaria y herramientas con un costo alto de inversión inicial.

Tabla 1. Rendimientos y jornadas efectivas de trabajo.

Parámetros	Sistema para la aplicación de los fertilizantes		
	Búfalos	Esparcidoras de alce	Esparcidoras de tiro
Jornada efectiva de trabajo (h)	5,7	6,1	7,1
Rendimiento diario individual (h/día)	9,1	49	95
Número de equipos por grupo de trabajo	6	2	2
Rendimiento operativo del grupo (ha/hora)	9,6	16,1	26,8
Requerimientos de jornales y equipos	2 equipadores 6 aplicadores 1 auxiliar de campo 1 conductor 6 búfalos 6 zorrillos	2 equipadores 2 aplicadores 1 auxiliar de campo 1 conductor 2 tractores 2 esparcidoras	2 equipadores 3 aplicadores 1 auxiliar de campo 1 conductor 3 tractores 2 esparcidoras 1 grúa
Requerimiento total de mano de obra	10	6	7



Adicionalmente, se realizó un estudio de probabilidad a la precipitación a los niveles de 25, 50 y 75%, como se observa en las Tablas 2 y 3; se usó una serie de 21 años de preci-

pitación de Cumaral (Meta). Se encontró que con la probabilidad de 75% existen 88 días disponibles al año para realizar la fertilización de la palma.

Tabla 2. Valores de la precipitación (mm/mes) esperada en función de la probabilidad.

Probabilidad (%)	Precipitación (mm)											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
25	40	114	210	410	520	442	380	362	352	364	244	75
50	16	55	165	350	443	395	276	256	270	300	181	35
75	2	19	87	285	340	280	220	216	215	228	152	18

Tabla 3. Número de días sin precipitación mensual en el año de acuerdo con las probabilidades.

Probabilidad (%)	Días sin lluvia (N°)											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
25	30	25	23	13	12	11	12	14	14	17	19	27
50	29	22	20	12	9	8	9	10	12	14	17	26
75	26	20	17	9	7	6	6	8	9	11	15	25

En las Tablas 2 y 3 se observa que enero, febrero y diciembre son generalmente meses secos con precipitaciones esperadas menores que 20 mm/mes (75% de probabilidad).

Con el valor de precipitación esperada con 75% de probabilidad de ocurrencia se estimó el área total que se puede fertilizar con seis búfalos (rendimiento de 9,6 ha/h), asumiendo tres aplicaciones de fertilizantes/año. Se encontró que seis búfalos en estas condiciones de precipitación y los tiempos netos de aplicación, podrían fertilizar un área de 1.605 hectáreas. Esta área fue usada para calcular el número de días requeridos por los sistemas mecánicos para fertilizar la misma área, tres veces al año. El sistema de esparcidoras de alce requiere 49 días de fertilización (tres aplicaciones) para hacer las mismas 1.605 hectá-

reas, en comparación con los 88 días requeridos por los búfalos. A su vez, se estimó en 25 días el tiempo requerido por el sistema de esparcidoras de tiro para la misma área.

Con base en la información anterior se definió la cantidad de días que requirieron de pago de jornales y de mantenimiento de la maquinaria para cubrir las hectáreas indicadas. De esta manera, se buscó un balance entre el número de horas de trabajo de cada sistema y del costo por hora. Este número de días, multiplicado por el costo unitario se ingresó como costo variable en el modelo de costos.

Costos fijos

Se asumió la maquinaria como un costo fijo y se asignó un porcentaje de uso según el tiempo requerido para abarcar el área mencionada. En

la estimación se incluyó el costo de los búfalos, los zorrillos o carretas, los tractores, las esparcadoras y la grúa. Se asumió una vida útil y un va-

lor de salvamento a cada equipo (Tabla 4). Con estos se programó la reposición de los equipos en el modelo económico realizado.

Tabla 4. Vida útil y valor de salvamento de los equipos usados.

	Búfalo	Tractor, grúa	Zorrillos	Esparcidoras
Valor de salvamento (%)	30	20	10	10
Vida útil de los equipos (años)	12	20	8	10

Como es de suponer, el uso de maquinaria más tecnificada implica mayores costos fijos para la plantación. En el caso estudiado, el menor número de días que se usan las máquinas en los sistemas más tecnificados, no es suficiente para nivelar los costos de uso de maquinaria ya que el valor de los tractores y la grúa, por ejemplo, son superiores a los de los búfalos y los zorrillos. Es necesario buscar mayores usos de la maquinaria o seleccionar máquinas más pequeñas con menor costo inicial.

Costos variables

Los costos de operación de los sistemas se calcularon a partir de los requerimientos de mantenimiento (alimentación y vacunas, en el caso de los búfalos) y reparación de la maquinaria, de consumo de combustible, aceites y filtros, y mano de obra de aplicación de fertilizantes. Se calculó que una hora de uso del sistema de búfalos, por este concepto, tiene un valor de \$55.789; de los cuales, 73% corresponde al valor de los jornales pagados a los seis operarios. Por otro lado, una hora de uso del sistema de esparcadoras de alce se calculó en \$70.626, donde la mano de obra (dos operarios de aplicación) corresponde a 14% del total de costos variables, aproximadamente. Para finalizar, el sistema de esparcadora de tiro implicó un costo por hora de \$135.778, donde la mano de obra corresponde a 10,9% del total.

Se debe notar que entre más tecnificado sea el sistema de aplicación, menor será la participación relativa de la mano de obra. Por un lado,

se requieren menos operarios en los sistemas de esparcadora de alce y esparcadora de tiro; pero, por otro, el costo de la maquinaria y los montos destinados a su mantenimiento y operación (uso de combustible, por ejemplo) son mayores haciendo que suban los costos variables totales.

Los costos variables se multiplicaron por las horas necesarias en cada sistema para aplicar fertilizante en las 1.605 hectáreas. De allí se obtuvo el total de costos variables que se adicionaron a los costos fijos durante 25 años de aplicación de fertilizantes. Sobre este flujo de fondos se calculó el VPN con una tasa de descuento de 10% anual, dividiendo el total de costos anuales por 1.605 ha. Como se consideraron sólo costos en los tres sistemas, sin incluir beneficios monetarios directos, se ingresaron los datos de costos al modelo con signo positivo, lo que indica que el menor VPN es más atractivo (menos costoso). Allí se indica que los sistemas de esparcadoras de alce y esparcadoras de tiro son los más económicos con \$174.284/ha y \$174.399/ha entre los tres sistemas evaluados en las condiciones del análisis. El sistema de búfalos resulta ser el más costoso con \$230.522/ha, debido a los bajos rendimientos de los semovientes y al mayor tiempo involucrado para el transporte del fertilizante.

Los valores indicados para cada sistema se constituyen en una herramienta económica para seleccionar la mejor alternativa financiera, pero no deben ser entendidos como el total de costos involucrados en el funcionamiento de los sistemas. En este caso, el total de costos



asignados a una hectárea durante 25 años sin considerar inflación, costos indirectos e imprevistos para los sistemas de búfalos, de esparcidores de alce y de esparcidores de tiro corresponden a \$625.944/ha, \$453.842/ha y \$452.164/ha, respectivamente.

Variables intangibles a considerar

Al VPN de cada sistema se le debe adicionar criterios no monetarios como la posibilidad de que los sistemas de esparcadoras de alce y esparcadoras de tiro puedan operar con menos trabajadores, un aspecto que puede ser de importancia en zonas donde la mano de obra es escasa y la forma más frecuente de conseguirla es migrándola de actividades como la cosecha o la polinización, labores que definen directamente las ganancias del cultivo.

El ejercicio realizado en este artículo contempló la necesidad de abarcar grandes áreas para fertilización, que es donde es más urgente considerar la implementación de la mecanización del cultivo. Si se considera una plantación pequeña, el valor de adquisición de tractores, grúas o esparcadoras no es recomendado a causa de las restricciones presupuestales de los productores. En estas áreas bastaría con el uso de un búfalo, aun cuando éste tenga bajos rendimientos y mucho tiempo de preparación y transporte, como se vio anteriormente. La razón de optar por esta alternativa consiste en que una máquina como la esparcadora es usada solo en fertilización y sería subutilizada por parte de un pequeño agricultor, lo que generaría un lucro cesante que no tendría un agricultor de gran escala.

Conclusiones

La fertilización con búfalos, desde el punto de vista económico, presenta un menor costo por cada hora efectiva de uso si se compara con los otros dos sistemas en evaluación. No obstante, se encontró que el área que alcanza a fertilizar un búfalo (o conjunto de búfalos como se consideró en el ejercicio) por unidad de tiempo,

es inferior al rendimiento de los otros dos sistemas; lo que implica que el costo unitario expresado por hectárea es mayor en el sistema de búfalos. Esto resulta, no solo del rendimiento en cada hora de trabajo, sino del tiempo que se debe destinar en este sistema al transporte de fertilizantes al lote de aplicación. En este sentido se encontró que entre más mecanizado es el sistema, menos tiempo requiere transportando fertilizantes a los lotes en aplicación.

La adición de los costos por hora de trabajo con los rendimientos de aplicación en una jornada laboral, permitió construir un modelo financiero donde se contrastó el comportamiento económico de los tres sistemas durante un horizonte de 25 años. El resultado incluye los costos fijos por adquisición y reposición de los equipos y los costos variables por insumos y mano de obra; los sistemas de esparcadoras de alce y las esparcadoras de tiro presentan ventajas frente al sistema de búfalos, por su mayor rendimiento operativo. La capacidad que llegan a cubrir estos sistemas también es mayor, lo que los convierte en ideales para plantaciones de gran tamaño.

Las conclusiones obtenidas con el estudio aplican, precisamente, para empresas con grandes áreas de cultivo, dado que la economía de los sistemas mecanizados se deriva de su cobertura; entonces, para plantaciones pequeñas los resultados no serían los mismos, ya que la maquinaria como grúas y esparcadoras podría estar vacante gran parte del año, lo que generaría un lucro cesante para el productor interesado en la tecnología.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, por financiar este estudio. Así mismo, a las plantaciones Unipalma de los Llanos y Guaicaramo S.A., por permitir adelantar el estudio en sus instalaciones. Un reconocimiento especial para los ingenieros Blanca Lilia Romero y Libardo Santacruz por su contribución y valiosas sugerencias.

Bibliografía

- Sispa (2011). Evolución histórica del área sembrada en palma de aceite en Colombia. Tomado de <http://sispa.fedepalma.org>.
- Sanz, J. (2011). Objetivo estratégico: Incrementar la productividad de la palmicultura colombiana. En Compensar. *Memorias* (p. 20). Bogotá: Cenipalma.
- Corredor, A. (2007). Estudio de costos de producción de aceite de palma en Colombia en 2005. *Revista Palmas. Colombia*. 28 (2): 51-63.
- Fedepalma (2010). Actualización de los costos de producción del aceite de palma. Documento interno. (p. 68).
- Hunt, D. (1986). *Maquinaria agrícola*. (Primera ed., p. 450). México: Editorial Limusa.
- Pflueger, B. (2005). How to calculate machinery ownership and operating cost. South Dakota State University. (Farm financial management. p. 1-6).
- Velasco, R.; Gonzalez, J. (2007). Costo de operación o uso de maquinaria agrícola ¿Cómo evaluarlo? *Informativo agropecuario. Bioleche INIA*. 42-51