

Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia*

Economic Assessment of Irrigation Systems for Oil Palm Plantations at the Colombian Northern Zone

CITACIÓN: Álvarez, O., Ruíz, E., Mosquera, M., & Silva, J. (2018). Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia. *Palmas*, 38(4), 69-85.

PALABRAS CLAVE: indicadores financieros, eficiencia en el uso del agua, costo unitario, rentabilidad.

KEYWORDS: Financial indicators, water use efficiency, unit cost, profitability

RECIBIDO: agosto de 2017

APROBADO: septiembre de 2017

* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

ÓSCAR MAURICIO ÁLVAREZ
Ingeniero Agrícola, Agrodinco Ltda.

ELIZABETH RUÍZ ÁLVAREZ
Asistente de Investigación. Área de Economía Agrícola y Biometría, Cenipalma
eruiz@cenipalma.org

MAURICIO MOSQUERA MONTOYA
Líder del Área de Economía Agrícola y Biometría, Cenipalma

JOSÉ HUMBERTO SILVA
Ingeniero Agrícola, Agrodinco Ltda.

Resumen

El déficit de agua es uno de los factores más limitantes para la obtención de altos rendimientos en los cultivos. Junto con esto, se debe mencionar que el agua se está convirtiendo en un recurso escaso debido a condiciones relacionadas con el cambio climático, lo cual implica que cuando un productor decide regar sus cultivos, la eficiencia del sistema para el uso de agua debe ser un factor a considerar. Este artículo presenta los resultados de una investigación que pretende evaluar desde un punto de vista económico dos sistemas de riego empleados en plantaciones de palma de aceite de Colombia: el sistema de riego por aspersión (RA) y el sistema de riego por inundación (RI). Además, dentro del análisis se consideró un escenario en el que el productor no utiliza ningún sistema de riego (SR). Con respecto a los métodos de evaluación económica se utilizaron: la tasa interna de retorno, el costo unitario, el ingreso neto y el periodo de recuperación de la inversión. Los resultados indican que, a un precio de \$ 365.000 por tonelada de RFF,

establecer cultivos de palma aceitera con un sistema de riego por aspersión es la mejor alternativa desde el punto de vista económico. De esta manera, la TIR resulta ser 4 % mayor con RA comparado con RI, y un 8 % superior en comparación con SR. Así mismo, el costo unitario es 7 % menor con RA comparado con RI, y 9 % más bajo en comparación con SR. Por su parte, los ingresos netos son 20 % más altos en RA comparado con RI, y 63 % superiores en comparación con SR. Por último, la amortización llega antes en RA en comparación con RI y SR. Este trabajo presenta además resultados para el análisis de sensibilidad que se llevó a cabo sobre el precio del agua y el precio pagado por RFF.

Abstract

Water deficit is among the most limiting factors for obtaining high yields in agricultural crops. Along with this, water is becoming a scarce resource due to climate change, which implies that whenever a grower decides to irrigate their crops, the efficiency of the system for water usage must be a factor to be considered. This paper presents the results of a research undertaken in order to assess two irrigation systems used at oil palm plantations in Colombia from an economic perspective, they were: sprinklers irrigation (SI) and, flood irrigation (FI). A scenario in which the grower does not use any irrigation system (WI) was also considered. Regarding the economic assessment methods we used: internal rate of return (IRR), unit cost, net income, net present value (NPV), and payback period (PB). Results indicate that at a price of COP 365.000 per ton of FFB, establishing oil palm crops with sprinklers irrigation systems is the best alternative from an economic angle. With this method, the IRR is 4% higher at SI compared to FI, and 8% higher compared to WI. The unit cost is 7% lower at SI compared to FI, and 9% lower compared to WI. Besides, net income is 20% higher at SI than at FI, and 63% higher compared to WI. Finally, the payback period comes earlier at SI, compared to FI and WI. This study also provides results for sensitivity analyses carried out for the price of water and for the price paid for FFB.

Introducción

El rendimiento potencial de la palma de aceite se ve limitado, entre otros factores, por el déficit de agua. Esta situación se traduce en una brecha entre el potencial que ofrecen los materiales genéticos desarrollados y el rendimiento que en realidad obtienen los productores de sus cultivos. En ese sentido, la oferta hídrica determina el potencial de producción de un cultivo (Van Ittersum *et al.*, 2013). En el caso de la palma de aceite, Corley & Tinker (2014) refieren que el déficit de agua es el factor climático que probablemente más afecta los rendimientos de este cultivo.

A partir de lo anterior, se podría afirmar que el rendimiento esperado de un cultivo en regiones con déficit de este recurso, estará principalmente en función de las soluciones que se adopten para superar esta condición limitante. Entre estas se encuentran la

adopción de materiales genéticos con tolerancia a la sequía, la implementación de sistemas de riego que permitan suplir el déficit (Lobell, Cassman & Field, 2009), y/o la adopción de otras prácticas que contribuyan a mitigar el efecto de la sequía en el suelo y que a su vez favorezcan la retención de la humedad existente, tal como el uso de residuos orgánicos (Beltrán, Pulver, Guerrero & Mosquera, 2015).

De acuerdo con Woittiez *et al.* (2017), el rendimiento de la palma de aceite se reduce con precipitaciones inferiores a 2.000 mm/año, o si se presentan meses con precipitaciones inferiores a 100 mm. En el caso de las regiones palmeras de Colombia ambas condiciones son ciertas. Por ejemplo, en la Figura 1 se puede ver la precipitación mensual de cuatro plantaciones de la Zona Norte durante cuatro años. Es posible observar que al menos durante cuatro meses del año se registran precipitaciones que no superan los 100 mm.

Igualmente, se evidencia que las precipitaciones mensuales se han venido reduciendo durante los últimos cuatro años. Esta situación sugiere que, al menos en algunos meses, se hace necesario contar con alternativas que eviten el sufrimiento de estrés hídrico en la palma de aceite. Entre las opciones que las empresas palmeras ubicadas en estas regiones han tomado para enfrentar este fenómeno se encuentra la adopción de sistemas de riego, en su gran mayoría, sistemas de riego por inundación.

El trabajo realizado y cuyos resultados se divulgan en este documento, aborda una evaluación económica sobre la adopción de sistemas de riego. Para ello, se consideran los costos y beneficios a largo plazo de adoptar sistemas de riego por inundación, sistemas de riego por aspersión y no adoptar sistemas de riego en condiciones de déficit hídrico de la Zona Norte colombiana. El texto presenta inicialmente un marco teórico donde se refieren los efectos fisiológicos y los impactos en el rendimiento de la palma de aceite ocasionados por el déficit hídrico, así como los beneficios derivados de adoptar sistemas de riego. Posteriormente, se presenta un acápite metodológico en el que se aborda la metodología para desarrollar la evaluación económica propuesta y los indicadores considerados. Posteriormente, se presentan los resultados económicos al comparar las tres alternativas de evaluación

propuestas, considerando los costos de producción, e indicadores financieros. Por último, se abordan las conclusiones derivadas del presente estudio.

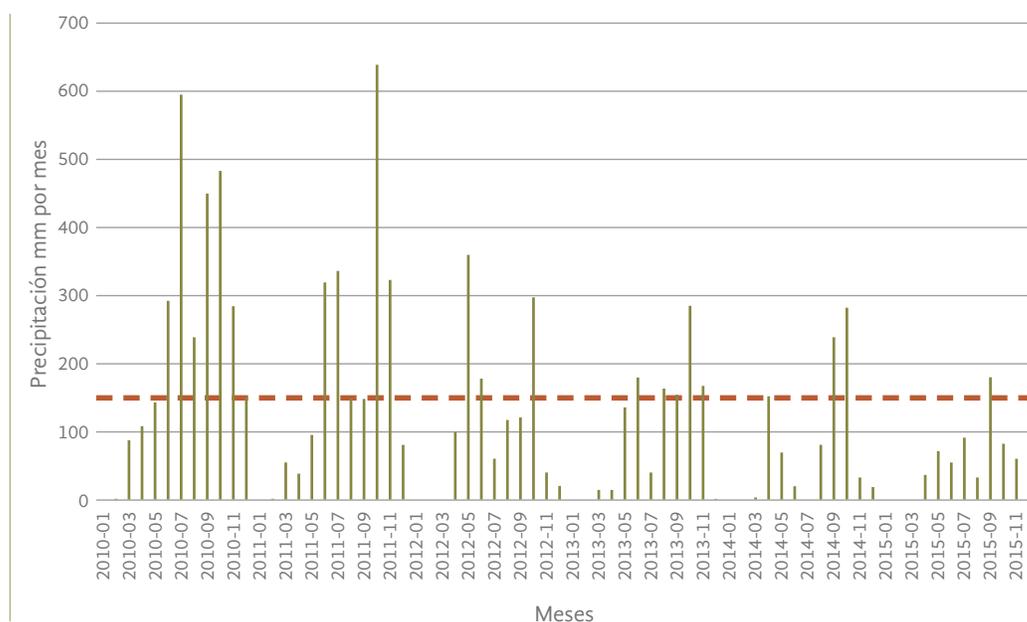
Efectos del déficit hídrico en la fisiología y el rendimiento de la palma de aceite

Cuando la evapotranspiración del sistema suelo-planta excede la lluvia o el agua aplicada mediante riego, el contenido de agua en el suelo decrece, lo cual puede llevar a un punto en donde la planta no puede extraer agua del suelo lo suficientemente rápido para que pueda transpirar. Lo anterior conlleva a que se presente una deficiencia de agua en la planta (Corley & Tinker, 2003).

El déficit hídrico en la planta ocasiona múltiples respuestas. Algunas plantas, por ejemplo, desarrollan adaptaciones a nivel morfológico, anatómico y celular que les permiten vivir en condiciones de estrés hídrico constante. Este es el caso de las plantas con metabolismo C4 y CAM (Moreno, 2009). Así mismo, las plantas desarrollan mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta al estrés hídrico, generando consecuencias en el proceso de desarrollo que afectan, principalmente, su crecimiento; un ejemplo son las limitaciones en la expansión foliar o en la expansión del crecimiento radicular (Potters *et al.*, 2007).

Figura 1. Precipitación mensual registrada en cuatro plantaciones de la Zona Norte colombiana.

Fuente: Geopalma (2017).



Otra respuesta al estrés hídrico se relaciona con el cierre de estomas, que son las estructuras de la hoja responsables de la transpiración e intercambio gaseoso (Taiz & Zeiger, 2006). El cierre estomático impide la absorción de CO₂, lo cual afecta la fotosíntesis y, con ello, la producción de asimilados necesarios para la formación y el llenado de los frutos. Finalmente, también se presentan respuestas a nivel celular como el ajuste osmótico o molecular, situación que se traduce en la modificación de la expresión de genes y proteínas (Moreno, 2009).

En el caso de la palma de aceite, como resultado del déficit de agua, se han reportado efectos sobre el crecimiento vegetativo y la fisiología de las plantas tales como la acumulación de hojas flecha y el secamiento y colapso de hojas viejas. Mejía (2000) indica que los efectos de la sequía en la palma aceitera se presentan hasta dos años después de ocurrir la situación estresante. Esto, debido al largo periodo que existe entre la iniciación floral y la formación de un racimo; proceso que toma aproximadamente 40 meses. Entonces, una deficiencia de agua durante este periodo afecta la diferenciación de inflorescencias, estimulando la formación de inflorescencias masculinas y reduciendo la formación de inflorescencias femeninas. Adicionalmente, esta situación puede favorecer el aborto floral. De esta manera se afecta la cantidad de racimos que se forman y, por ende, el rendimiento general del cultivo (Corley & Tinker, 2003).

La literatura refiere que el efecto del déficit hídrico en la palma de aceite depende de la intensidad y duración del periodo de déficit (Mejía, 2010). Woittiez *et al.* (2017) reportan reducciones en el rendimiento del cultivo a causa de periodos de estrés hídrico de 10 a 20 % por cada 100 mm de déficit.

Calliman & Southworth, citados en Corley & Tinker (2003), concluyen en su estudio que un déficit hídrico de 600 mm experimentado en un único año, disminuye el rendimiento de los cultivos de palma entre 8 y 10 % para el primer año, y entre 3 y 4 % para el segundo, después de presentarse la situación de estrés.

En esta misma línea, Henson (1998) evaluó la producción de un mismo material en tres zonas diferentes que reportaron niveles de déficit hídrico anual de 50 mm, 350 mm y 550 mm, en palma de 6 a 10 años. Este autor encontró que la zona con mayor déficit hídrico

había registrado una disminución en la productividad cercana a 75 %. Por su parte, Carr (2011) reporta para un estudio realizado en Tailandia (235 mm de déficit hídrico en el suelo durante 3-4 meses) una relación lineal entre el agua aplicada (mm de agua por día) y la respuesta positiva en el rendimiento del cultivo.

Como se puede evidenciar, son varios los trabajos que dan cuenta del impacto del déficit hídrico sobre el rendimiento de cultivos de palma de aceite. Tal como se mencionó anteriormente, una de las alternativas para la mitigación de este tipo de impacto corresponde a la adopción de sistemas de riego. El apartado que se presenta a continuación referencia estudios que evidencian la respuesta de la palma de aceite a la aplicación de riego.

Irrigación en la agricultura: un enfoque al beneficio obtenido en el cultivo de la palma

Como se mencionó en el apartado anterior, el déficit hídrico afecta la fisiología y el rendimiento de los cultivos agrícolas. Una de las alternativas que permite atenuar estos efectos es la implementación de sistemas de riego. Según la FAO, el 21 % del área cultivada en el mundo cuenta con sistemas de riego; mientras que esa cifra llega solo a 13 % para el caso del continente americano. Con respecto al tipo de cultivo, son los cereales los que en su mayoría cuentan con sistemas de irrigación, mientras que en el caso de las semillas oleaginosas solo el 7 % del área sembrada se encuentra irrigada (FAO, 2014).

En Colombia, entre 1992 y 1997 la FAO estimó un área de 900.000 hectáreas con posibilidades de adoptar sistemas de irrigación. Sin embargo, en 2014 Colombia fue clasificada como uno de los países “muy pobremente irrigados” (área efectivamente regada/área destinada a regar) (FAO, 2014). Al respecto, de acuerdo con datos del Censo Nacional Agropecuario, solo 33 % de las Unidades de Producción Agropecuarias en el país utiliza algún tipo de riego (DANE, 2016).

La baja adopción de sistemas de irrigación afecta el rendimiento (t/ha) de los cultivos y la eficiencia en el uso del agua disponible. Para el caso de la palma de aceite, los beneficios de la irrigación han sido reportados

por diferentes autores. Henson & Chang (citados en Corley & Tinker, 2003) encontraron que la aplicación de agua durante periodos críticos de déficit favorece aspectos como la emisión foliar y la producción de inflorescencias femeninas, y con ello de racimos. Así mismo, estos autores reportaron como resultado una reducción considerable en la tasa de abortos de racimos.

Adicionalmente, Ochs & Daniels (1976) concluyen en sus estudios que el beneficio de la irrigación es evidente en aspectos tales como el incremento en la producción de hojas, la disminución de abortos de racimos y mejorías en la relación de inflorescencias. Por su parte, Carr (2011) muestra que las mejores estimaciones en el rendimiento del cultivo como respuesta a la irrigación indican que por cada milímetro de agua aplicado se obtienen entre 20 y 25 kg de RFF/ha en áreas donde el déficit hídrico se encuentra entre 200 y 600 mm al año.

Ochs & Daniel (1972) en un estudio llevado a cabo en Costa de Marfil, en condiciones de déficit hídrico de 275 mm anuales y palmas con edades entre 3 y 5 años, encontraron un incremento de 61 % en el número de racimos producidos en un cultivo de palma irrigado, con respecto a palmas sin riego. Así mismo, el rendimiento (t/ha/año) del cultivo irrigado incrementó 76 %. Lo anterior se traduce en que por cada milímetro de agua aplicado se presenta una respuesta en el rendimiento de 25 a 30 kg/ha/año.

Palat, Chayawat, Clendon & Corley (2008) compararon diferentes métodos de riego durante 15 años en cultivos sometidos a déficit hídrico promedio de 225 mm/año. Estos autores encontraron respuestas de 31 kg/ha/año por cada milímetro de agua aplicado, y de 44 kg/ha/año cuando además del riego se incrementó la dosis de fertilizante aplicado. De otro lado, Álvarez *et al.* (2007) reportaron que una lámina de un milímetro de agua que ingrese al suelo durante un periodo de déficit hídrico, permite incrementar el rendimiento en 25,6 kg de RFF por hectárea, lo cual ocurre de 18 a 21 meses después de la aplicación del riego.

Adicionalmente, Romero (2014) reporta los resultados de un estudio realizado durante cuatro años en la Zona Norte colombiana. Este autor llevó a cabo la evaluación de seis materiales genéticos de palma de aceite en diferentes condiciones (sin riego y con riego a saturación cada 20 días), encontrando un incremento

entre 30 y 60 % en la producción de RFF en aquellos materiales que fueron sometidos a algún tipo de riego, con respecto a los materiales que no recibieron riego alguno. Es de mencionar que dicho rango involucra la tolerancia que algunos materiales poseen frente al déficit hídrico.

Desde un punto de vista económico, Carr (2011) reporta que el beneficio de la adopción de sistemas de riego en palma de aceite se encuentra fuertemente influenciado por los precios del aceite. Al respecto, Palat *et al.* (2008) señalan que la rentabilidad de los sistemas de riego depende de los costos locales y de los precios del aceite de palma, estimando que los sistemas de riego por goteo resultaban ser rentables para el sur de Tailandia, como ejemplo, aun considerando los bajos precios del aceite de palma en la región. Adicionalmente, estos autores reportan que al comparar diferentes sistemas de riego, el riego por surcos resultó ser el método con el menor costo de capital, pero también el de los costos de funcionamiento más elevados, debido a la frecuencia requerida para el mantenimiento de los surcos. En cuanto al sistema de riego por aspersión, el trabajo de estos autores encontró el costo de capital más alto en este sistema, debido a la presión de agua necesaria para su adecuado funcionamiento.

Por otra parte, un estudio realizado por Corley & Hong (citado en Carr, 2011) concluyó que para aquellos cultivos de palma establecidos en zonas con sequías poco frecuentes, el establecimiento de sistemas de riego resultaba ser una opción poco viable desde el punto de vista económico, puesto que en estas zonas el delta de incremento en la cantidad de aceite no resultaba ser el adecuado para justificar la inversión en sistemas de irrigación.

Metodología

El objetivo de este trabajo fue llevar a cabo una evaluación económica de la adopción de sistemas de riego en palma de aceite, con el fin de determinar la viabilidad de invertir en este tipo de tecnologías. Metodológicamente, se realizó un análisis de ingeniería económica, el cual se centra en la estimación de costos y beneficios a lo largo de un proyecto productivo (Figura 2). En este caso, se buscó estimar la viabilidad económica derivada

de invertir en tres alternativas de establecimiento de cultivos de palma de aceite, con diferencias en cuanto a la adecuación del riego: *i)* cultivos de palma con sistemas de riego por aspersión, *ii)* cultivos de palma con sistemas de riego por inundación, y *iii)* cultivos de palma sin establecimiento de sistemas de riego. Los cálculos de costos para los tres escenarios se simularon considerando un área de 100 ha y el establecimiento de los sistemas de riego en el área total del cultivo.

Una vez estimados los costos y beneficios asociados a las tres alternativas de inversión evaluadas, se calcularon indicadores financieros (ver Figura 2) que permiten elegir aquella alternativa con los mejores resultados en términos económicos.

La estimación económica se realizó considerando los siguientes parámetros:

- Déficit hídrico de 600 mm anuales (durante cuatro meses del año) durante 30 años (vida útil promedio de un cultivo de palma de aceite en Colombia).
- Respuesta en el rendimiento de la palma a la aplicación de riego. La literatura sugiere que las mejores estimaciones corresponden a la obtención de 25 kg de RFF por cada mm de agua aplicado, para contrarrestar el déficit de 600 mm antes señalado (Respuesta teórica).
- Eficiencia en la conducción de agua de sistemas de riego por aspersión de 80 % y de sistemas de riego por inundación de 15 %. La eficiencia total de los sistemas de riego depende de las pérdidas de agua ocasionadas desde que el agua sale de su fuente de origen hasta que llega al sitio a ser irrigado. Sistemas presurizados como el riego por aspersión poseen mayor eficiencia

debido a que el agua se conduce por tubos, a diferencia de los sistemas superficiales, en donde el agua es transportada a través de canales.

La evaluación económica se realiza considerando diferentes escenarios para el precio de la fruta e incorporando además el costo de oportunidad de la tierra. De igual manera, se llevan a cabo análisis de sensibilidad que consideran las tarifas pagadas por el agua. Esto último, debido a que el rápido crecimiento de la población ha triplicado la extracción de agua en los últimos 50 años, incentivando la necesidad de controlar el consumo de este recurso. En este sentido, el precio a pagar por el agua se convierte en un mecanismo de control de consumo.

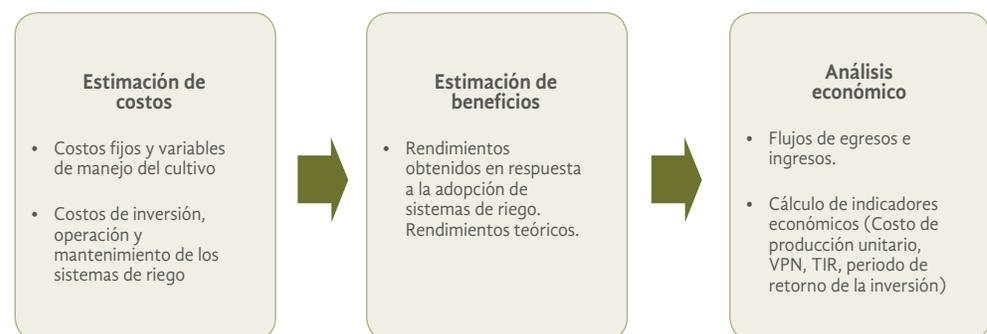
Estimación de costos de producción

El modelo de estimación de costos correspondió a un modelo discreto en que se consideró el costo de largo plazo del cultivo para las tres alternativas de inversión. Para ello, se estimaron los costos de producción durante las diferentes etapas del cultivo (establecimiento, improductiva, desarrollo y madura), a partir de los costos de producción promedio de plantaciones en la Zona Norte colombiana reportados en el estudio de costos anual realizado por Fedepalma y Cenipalma (Mosquera *et al.*, 2017).

Para el análisis se estimaron costos fijos y variables de manejo del cultivo. Como *costos fijos*, se calcularon aquellos que no dependen de la producción, como el costo de oportunidad de la tierra, el costo administrativo y el costo de establecimiento de la plantación (para mayor detalle ver Mosquera *et al.*, 2016); entre estos, se consideró el costo de inversión para establecer los sistemas de riego, de acuerdo con los requerimientos

Figura 2. Metodología empleada para realizar la evaluación económica.

Fuente: elaboración propia.



de cada uno. Con respecto a los *costos variables*, se consideraron los costos de aquellas actividades que varían en función del nivel de producción. En ese caso, se estimó el costo de actividades de mantenimiento del cultivo como la fertilización, la cosecha y el transporte de la fruta. Para la estimación de estos se indagó acerca de la frecuencia en la que se realizan las labores, el rendimiento de la mano de obra, las tarifas pagadas por las labores, y las cantidades y los precios de los insumos aplicados.

En lo relacionado con el riego, el costo variable estuvo dado por el costo de operar (mano de obra, combustible y uso del agua) y mantener los sistemas de riego (recaba y limpieza de canales para sistemas de riego por inundación y mantenimiento de tuberías, bombas y aspersores para el riego por aspersión).

Beneficios asociados a la implementación de sistemas de riego

La estimación del beneficio de la implementación de sistemas de riego se alimentó de los rendimientos obtenidos para cada una de las alternativas evaluadas. En el caso de los rendimientos obtenidos para la alternativa que no considera la adecuación de sistemas de riego, se emplearon los rendimientos obtenidos en plantaciones en donde no se cuenta con sistemas de riego. Para las alternativas que involucran el establecimiento de riego por aspersión e inundación se consideraron los rendimientos teóricos de la aplicación de 1 mm de agua en plantaciones con déficit hídrico

de 600 mm anuales, de acuerdo con resultados reportados en la literatura.

Además de los rendimientos, los beneficios dependen de los precios pagados por la fruta producida en cada alternativa. Así, se realizaron escenarios de la evaluación de alternativas considerando variaciones en el precio de la fruta.

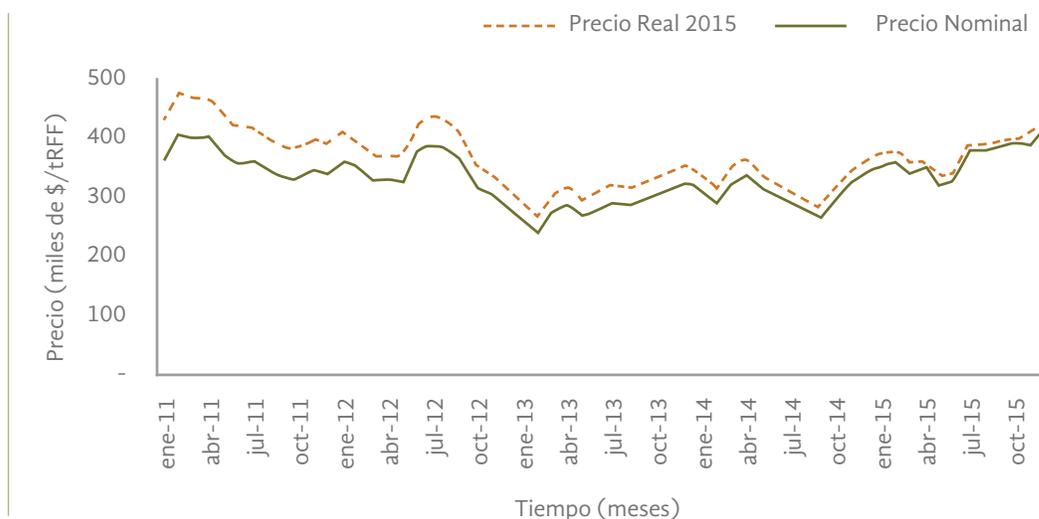
Se trabajó con la serie estadística de precios del Sistema de Información Estadística del Sector Palmero (Sispa), la cual cuenta con precios nominales del aceite nacional. Estos se actualizaron a precios reales utilizando el IPC de Colombia publicado por el Banco de la República, siendo 2015 el año base (Banco de la República de Colombia, 2016). Debido a que las cifras reportadas por el Sispa corresponden al precio del aceite de palma crudo (APC), fue necesario realizar la conversión a precio de fruto multiplicando por 0,17 (los cultivadores de palma colombianos reciben el 17 % del precio del aceite de palma crudo), resultado que se observa en la Figura 3.

Indicadores de evaluación de alternativas de inversión

Para la evaluación económica se empleó un flujo de efectivo para un periodo de 30 años, considerando la vida útil de una plantación de palma de aceite en Colombia. El flujo de efectivo representa el resultado de los ingresos anuales obtenidos menos los egresos anuales. Posteriormente, se calcularon diferentes indicadores para evaluar económicamente las tres alternativas de inversión, como se muestra en la Tabla 1.

Figura 3. Precios históricos de una tonelada de fruta de palma de aceite (2011-2015).

Fuente: elaboración propia.



Resultados

Costos de producción

Los costos de producción se estimaron para las diferentes etapas del cultivo y se encuentran sintetizados

en la Tabla 2. Respecto a los costos de establecimiento o inversión, el mayor egreso se estimó para la alternativa que incluye la adecuación de sistemas de riego por aspersión. Siendo entre 40 y 60 % superior cuando se compara con los escenarios de riego por inundación y sin riego.

Tabla 1. Indicadores de evaluación de alternativas de inversión empleados.

Indicador	Cálculo	Interpretación del resultado
Costo unitario (\$/t RFF)	$CU = \frac{\sum(\text{Costo fijo} + \text{Costo variable})}{\sum t \text{ RFF}}$	Indica el costo de producir una unidad de producto, en este caso una tonelada de RFF.
Valor presente neto (VPN)	$VPN = \sum_{t=0}^{n=30} \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0$ <p>Vt = flujos de caja en cada periodo de tiempo I_0 = valor de la inversión inicial n = número de periodos considerados k = tasa de descuento utilizada</p>	<p>VPN > 0 La inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida (el proyecto puede aceptarse)</p> <p>VPN < 0 La inversión no producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida (el proyecto se rechaza)</p> <p>VPN = 0 La inversión no producirá ganancias ni pérdidas (la decisión deberá basarse en otros criterios)</p>
Ingreso neto	$IN \text{ anual} = \sum \text{ingresos /ha/año} - \sum \text{Costos por ha/año}$	Permite visualizar la ganancia del cultivo por unidad de área sembrada.
Tasa interna de retorno (TIR)	$VPN = 0$	Es la tasa de descuento a la cual el VPN = 0
Periodo de recuperación de la inversión	$PRI = A + \frac{B}{C}$ <p>A = último periodo con un flujo negativo B = valor absoluto del flujo de caja acumulado al final del periodo A c = flujo de caja total durante el periodo posterior a A</p>	El indicador representa el momento en que se espera que la salida inicial de efectivo de una inversión se recupere de las entradas de efectivo generadas por dicha inversión.

Tabla 2. Costos de producción por etapa del cultivo (cifras en pesos colombianos).

Etapas	Riego por aspersión	Riego por inundación	Sin riego
Establecimiento (\$/ha)	14.166.861	8.459.593	5.829.550
Etapas improductivas (Σ \$/ha años 1 a 3)	10.313.885	12.763.854	4.895.853
Etapas de desarrollo (Σ \$/ha años 4 a 6)	15.956.014	18.405.983	7.726.080
Madura (\$/ha promedio > 7 años)	6.341.392	7.158.048	3.300.340

Los cálculos de los costos asociados al establecimiento de los sistemas de riego fueron realizados considerando los parámetros que se observan en la Tabla 3. La diferencia en el establecimiento de los cultivos en los tres escenarios radica, principalmente, en la implementación de los sistemas de riego. Así, en el caso del establecimiento de cultivos con riego por aspersión, del costo total (\$ 14.166.861), el 51 % correspondió al diseño y la adecuación del sistema de riego (\$ 7.325.000 /ha). En el caso de establecimiento de cultivos con riego por inundación, este tipo de sistema participó con el 25 % del establecimiento (\$ 2.114.898 /ha).

En el caso de los costos asociados al mantenimiento y la operación del cultivo, los valores resultaron ser superiores entre 12 y 19 % para el mantenimiento de sistemas productivos con sistemas de riego por inundación, frente a los que incluyen el riego por aspersión (Figura 4), y un 50 % superior frente a los que no incluyeron establecimiento de sistemas de riego (los

parámetros considerados para el cálculo de costos de operación y mantenimiento de los sistemas de riego se pueden observar en la Tabla 4). Las diferencias en el costo de mantenimiento de los cultivos radican principalmente en aspectos relacionados con la operación y el mantenimiento de los sistemas de riego, la fertilización, la cosecha de la fruta y su posterior transporte a la planta de beneficio.

Respecto a los costos para la operación de los sistemas de riego, se estimó un costo superior para el caso del riego por inundación debido a la baja eficiencia en el uso del recurso hídrico. Debido a que la eficiencia en la conducción del agua en este tipo de sistemas se ha estimado solo en un 15 % y a que en la parametrización de este ejercicio se consideró aplicar las cantidades totales que permitieran suplir el déficit anual de 600 mm; en consecuencia, la necesidad de agua para cumplir con ese requerimiento y su costo resultaron ser mayores.

Tabla 3. Parámetros considerados para estimar la inversión en los sistemas de riego.

Parámetros	Unidad	Riego por aspersión	Riego por inundación
Área	ha	100	100
Déficit hídrico	mm/año	600	600
Agua a aplicar	mm/día	5	5
Eficiencia del sistema	%	85	15
Requerimiento bruto de agua	mm /día	5.9	33,3
Caudal a aplicar	l/s/ha	0,68	3,86
Altura de bombeo	mca	35	0
Potencia del sistema requerida	Hp/ha	0,40	0,00
Inversión			
Motor y bombas	\$/ha	1.220.800	0
Costos asociados al establecimiento de los sistemas de riego	\$/ha	6.104.000*	2.136.575**

* Incluye el costo del diseño del sistema, mano de obra, tubería, aspersores.

** Incluye costo de diseño, mano de obra y maquinaria para adecuación de canales.

Fuente: Álvarez (2016).

Figura 4. Costos de mantenimiento en los tres escenarios en la etapa adulta del cultivo.

Fuente: elaboración propia.

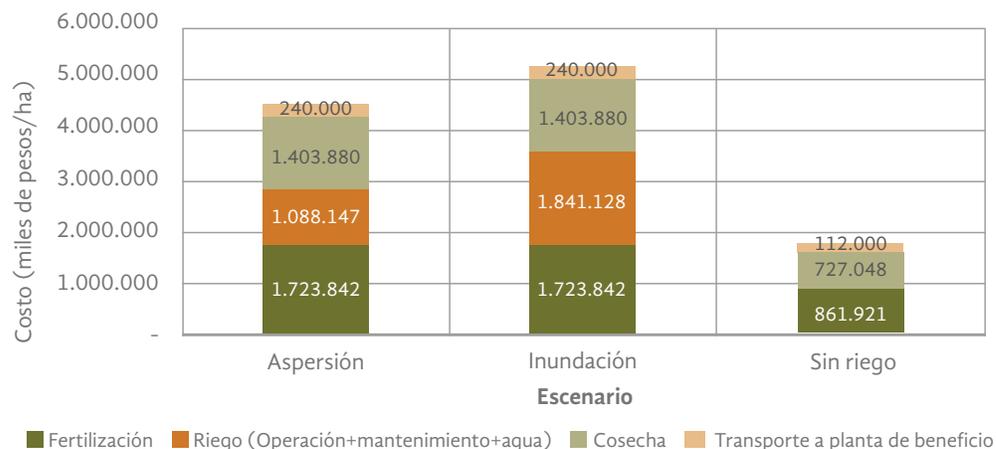


Tabla 4. Parámetros considerados para calcular el costo de mantenimiento y operación de los sistemas de riego (cifras en pesos colombianos).

Rubro	Parámetro	Unidad	Riego por aspersión	Riego por inundación
Energía	Costo de la energía	\$/Kw	467	467
	Energía requerida por el sistema	Kw/ha	0,42	0
Agua	Costo del agua	\$/m ³	40	40
	Cantidad de agua	m ³ /ha/año	7.059	40.000
Operación del motor	Cantidad de jornales	#	1	0
	Jornal	\$/día	61.045	0
	Área atendida	ha	100	0
Operación sistemas de riego	Cantidad de personas	#	1	3
Mantenimiento	% anual sobre la inversión	%	3	1

Fuente: Álvarez (2016).

Se consideró un precio del recurso agua de \$ 40 por m³. Es importante destacar que hace 15 años el agua se consideraba un bien público y de precio cero. No obstante, en la actualidad, la escasez de este recurso, el crecimiento sostenido de la población y la demanda por una mayor producción de alimentos, entre otros factores, hacen que la tarifa a pagar por el agua tienda a incrementar. Es por esto que el uso de sistemas de riego eficientes se hace necesario para contribuir con la sostenibilidad económica de la producción agrícola. Además, un uso más eficiente del agua contribuye de manera importante a reducir la

huella hídrica dejada por el cultivo de palma de aceite, la cual, según la medición realizada por Campuzano *et al*, (2015), se estimó en 975,7 millones de m³, constituyéndose en el cultivo con mayor consumo de agua en Colombia por tonelada producida.

Ahora bien, garantizar una aplicación continua de agua hace que labores como la fertilización puedan programarse sin retrasos. Según Franco, Arias & Beltrán (2012), la aplicación de fertilizantes solubles se debe realizar en meses con precipitaciones entre 150-250 mm. En consecuencia, contar con sistemas de riego que permitan suplir las épocas de déficit hídrico garantiza

poder realizar la aplicación del total de fertilizante programado para un año. De otro lado, en las condiciones en donde se presenta déficit hídrico y no se cuenta con una medida para suplir dicha deficiencia, se producen retrasos en las aplicaciones de las cantidades de fertilizante que han llegado a ser de hasta 50 %. Así, como se observa en la Figura 4, se estimó un costo 50 % superior para el caso de la labor de fertilización en las alternativas que involucran el establecimiento de sistemas de riego. Este mayor costo se convierte en ventaja para la productividad de los cultivos, puesto que están aplicando las cantidades de nutrientes que las palmas demandan.

Finalmente, otro de los aspectos que influyó la diferencia en los costos de producción entre las alternativas, respondió a la cosecha y el transporte de la fruta, puesto que las tarifas pagadas por estas actividades se dan en función de las toneladas producidas. Lo anterior implica que para las alternativas en las que se consideró una mayor productividad, el costo de cosechar y transportar más toneladas resultó ser mayor.

Hasta aquí, se encuentra que el costo de producción por unidad de área resultó inferior en la alternativa que no involucró el establecimiento de sistema de riego. Ahora veremos el tema de los beneficios obtenidos en cada una de las alternativas evaluadas.

Beneficios

La estimación de los beneficios está dada por las cantidades de fruta producidas bajo cada alternativa y

por los precios pagados por la fruta. Para el caso de la alternativa en la que no se consideró la implementación de sistemas de riego, el rendimiento empleado fue aquel reportado en plantaciones en donde existe un déficit hídrico anual de 600 mm que no se suple, valor que corresponde a 14 t/ha de RFF.

En el caso de las alternativas que involucran la adopción de sistemas de riego, fueron considerados los rendimientos que se reportan en la Tabla 5 (30 t/ha/año). Estos rendimientos fueron cuantificados de acuerdo con los rendimientos teóricos reportados en la literatura, en donde se indica que por cada 1 mm de agua aplicado al cultivo, bajo condiciones de déficit hídrico de 600 mm anuales, se obtienen incrementos en el rendimiento de 25 kg de RFF (Car, 2011; Corley & Tinker, 2003; Woittiez *et al.*, 2017).

Evaluación económica – Comparación de alternativas

Para la evaluación económica, inicialmente se realizó el flujo de ingresos y egresos de las diferentes alternativas en el tiempo. Los ingresos se calcularon como el producto de la cantidad de fruta producida en cada alternativa y el precio pagado de la fruta. Los egresos correspondieron a los costos de producción reportados en la Figura 4 para cada alternativa. En la Figura 5 se observa el flujo (ingresos – egresos), considerando los precios promedio pagados por la fruta en los últimos cinco años (\$ 360.925 /t de RFF).

Tabla 5. Rendimientos obtenidos en cada una de las alternativas.

Alternativa	Cantidad de agua a aplicar para suplir un déficit de 600 mm/año	Rendimiento esperado
Establecimiento de palma con riego por aspersión	705	30*
Establecimiento de palma con riego por inundación	4.000	30*
Sin riego	0	14

*Se asume el supuesto reportado por la literatura en el que por cada milímetro de agua aplicado se obtiene un rendimiento de 25 Kg. Es decir, si se suplen los 600 mm de déficit habrá una ganancia de 15 t/ha RFF.

En la Figura 5 se observa que inicialmente el egreso es menor para el caso del establecimiento del cultivo con sistemas de riego por aspersión. Sin embargo, con esta alternativa el flujo se vuelve positivo en el año 4, mientras que en las demás alternativas esto ocurre hasta el año 5. Se observa igualmente que en todos los años el flujo es mayor en la alternativa que involucra el riego por aspersión. A partir de ello, se estimó un 20 % más de ingreso en esta alternativa, con respecto a la que considera el riego por inundación, y un ingreso 62 % superior al que no involucra la adopción de estos sistemas.

Luego de calcular el flujo de efectivo, se procedió a estimar los indicadores para decisión de alternativas de inversión (Tabla 1). La evaluación de los indicadores financieros se realizó considerando escenarios de diferentes precios pagados por el aceite.

Costo unitario

El costo unitario es un indicador que permite evidenciar cuánto se está invirtiendo para producir un bien; en este caso, una tonelada de fruta. Un menor costo unitario significa que se realiza un uso más eficiente

Figura 5.

Ingreso neto en los diferentes escenarios.

Fuente: elaboración propia.

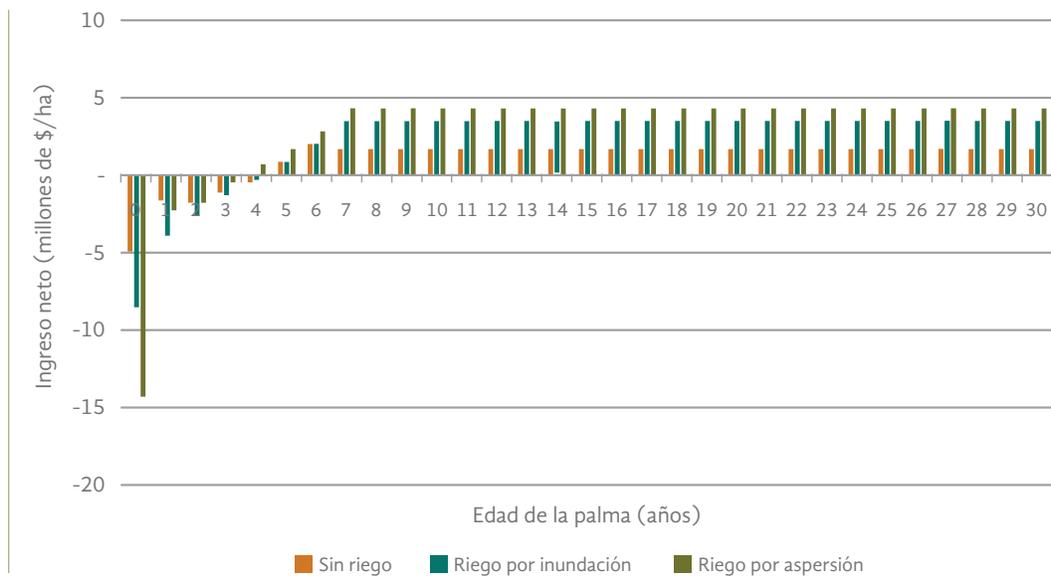


Tabla 6. Indicadores de evaluación económica de sistemas de riego (cifras en pesos colombianos).

Precios de una tonelada de RFF	Alternativa de inversión	Costo unitario (\$/t RFF)	VPN*	Ingreso neto	TIR %	Periodo de recuperación de la inversión (años)
Promedio últimos 5 años (\$ 360.925)	Sin riego	261.266	3.075.716	1.130.866	11,1	10,09
	Riego por inundación	265.835	9.544.692	2.438.589	13,0	9,4
	Riego por aspersión	242.396	13.200.207	3.062.992	13,5	8,8
Promedio últimos 5 años – 10 % (\$ 324.833)	Sin riego	261.266	-744.315	703.582	7,9	13,3
	Riego por inundación	265.835	1.077.811	1.513.001	9,1	12,0
	Riego por aspersión	242.396	4.666.858	2.135.077	10,5	11,4

* Tasa de interés de oportunidad (π_{10}) = 8,6 %

de los recursos económicos, por tanto, se constituye en un indicador de eficiencia económica. Para el caso de esta investigación, se estimó el costo unitario tal y como se observa en la ecuación para el indicador "Costo unitario" en la Tabla 1. En la Tabla 6 se presenta el resultado de este indicador para las diferentes alternativas de inversión, considerando el precio promedio pagado por la fruta en los últimos 6 años (se consideró este precio debido a que se analizó la variación de precios en diferentes periodos y los precios promedio estimados fueron similares). Al considerar el costo unitario solamente incluyendo los egresos de manejo del cultivo, se observa que el menor costo unitario responde a la alternativa que involucra el establecimiento de riego por aspersión, siendo este 7 % inferior a la alternativa de no establecer sistemas de riego y 9 % al compararlo con el riego por inundación.

Valor Presente Neto (VPN)

Este indicador se constituye en una herramienta que permite determinar la viabilidad de un proyecto productivo e identificar si una alternativa de inversión es viable desde el punto de vista económico. Permite además traer a valor presente las anualidades del flujo de caja y compararlas con una tasa de interés de oportunidad (o tasa de descuento), la cual frecuentemente corresponde a la tasa de renta esperada por el inversionista. En este caso se consideró una tasa de interés de oportunidad de 8,6 %, la cual corresponde a la tasa que rentó en promedio un depósito a término fijo (CDT por 90 días) en 2016 + 6 puntos (12,7 %), menos la inflación promedio de los últimos cinco años, que es de 4,12 %. En otras palabras, la tasa de interés de oportunidad (TIO) se contrastó contra el tipo de inversión más seguro.

El cálculo del VPN se realizó siguiendo la ecuación para el indicador del mismo nombre en la Tabla 1. Cuando se consideran precios de la fruta (\$ 360.925 /t RFF), se encuentra que el VPN resulta positivo en todas las alternativas (Tabla 6). Esto indica que es viable invertir en las tres alternativas. Cuando se evalúan las alternativas considerando una disminución de 10 % en el precio pagado por la fruta, se encuentra que establecer los cultivos sin sistemas de riego no resulta ser una alternativa viable. Lo anterior se deduce al comparar la renta de esta alternativa con

la tasa de descuento propuesta (8,6%), puesto que de esta manera la sumatoria de los flujos a valor presente no permite satisfacer la expectativa del inversionista.

Ingreso neto

El ingreso neto promedio se calculó según los flujos de caja presentados en la Figura 5. Este indicador representa la ganancia anual promedio del cultivo por unidad de área. En la Tabla 6 es posible observar que existe ganancia en todos los casos. Sin embargo, el mayor valor es estimado para la alternativa de inversión que representa el riego por aspersión. Así, con precios promedio pagados por una tonelada de fruta en los últimos 5 años, se observa que el ingreso neto es entre 20 y 63 % mayor cuando se lo compara con el ingreso neto de las alternativas de establecimiento con riego por inundación y sin riego, respectivamente.

En el caso que se presente una disminución de 10 % en los precios pagados por una tonelada de fruta, la conclusión es la misma, aunque resulta un ingreso neto superior a razón de 30 y 70 % al comparar la alternativa de riego por aspersión con las de riego por inundación y sin riego, respectivamente.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión; es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión. De acuerdo con los diferentes escenarios planteados podemos observar que las TIR superan el 8,6% en el caso de las tres alternativas; tomando precios promedio pagados por la fruta. Sin embargo, al considerar una disminución en los precios (\$ 324.833 t/RFF), se observa que en la alternativa que no incluye establecer sistemas de riego, la TIR no supera el 8,6 % propuesto en la TIO. En este último caso, la TIR más alta se obtiene en la alternativa que considera el establecimiento de riego por aspersión (10,5 %)

Periodo de retorno de la inversión

Este indicador hace referencia al tiempo en el cual es posible pagar la inversión realizada para el establecimiento del cultivo. Un menor tiempo será el requerimiento de este indicador para elegir una alternativa. Inicialmente, se puede observar en los escenarios

que incluyen precios promedio pagados por la fruta, que el periodo de recuperación de la inversión resulta ser menor en la alternativa de riego por aspersión, en la cual el tiempo para recuperar la inversión es de 6 y 14 meses, aproximadamente, en comparación con el establecimiento del cultivo con sistema de riego por inundación y sin riego, respectivamente.

Cuando se considera una disminución en los precios pagados por la fruta se encuentra que el tiempo para recuperar la inversión en las tres alternativas se incrementa. Sin embargo, sigue siendo menor entre 16 y 30 meses para la alternativa que incluye el riego por aspersión, respecto al establecimiento del cultivo con sistema de riego por inundación y sin riego, respectivamente.

Síntesis: elección de alternativa de inversión de acuerdo a los indicadores

Como se observa en la Tabla 6, al considerar el análisis de los cinco indicadores evaluados en este estudio, es posible observar que en todos los casos la alternativa más viable resulta ser la adopción del sistema de riego por aspersión. Esto es especialmente cierto cuando se consideran los precios promedios pagados por la fruta en los últimos cinco años (\$ 360.925). Precios más bajos (\$ 324.833) hacen que la alternativa de establecer un cultivo de palma con déficit hídrico anual de 600 mm y sin el establecimiento de sistemas de riego, se convierta en una opción no viable desde el punto de vista económico.

Uno de los principales determinantes de las estimaciones realizadas corresponde al uso eficiente del agua. Un análisis adicional se llevó a cabo con el fin de

mostrar cómo una variación en las tarifas pagadas por el agua afectan el desempeño económico de las alternativas evaluadas. En este caso, se consideraron únicamente las alternativas que involucraron la adopción de sistemas de riego. Así mismo, se tuvieron en cuenta solo los precios promedio de los últimos cinco años para evaluar dos indicadores en función de la variación del precio del recurso hídrico.

Con base en lo anterior, en la Figura 6 se observa el VPN obtenido en cada alternativa, en función de la variación en las tarifas pagadas por el agua. Así, es posible observar que un incremento de 39 % en el precio de las tarifas pagadas por el agua convierte a la alternativa de establecer cultivos de palma con riego por inundación en una opción no viable (considerando un déficit hídrico de 600 mm). Mientras que en el caso de la alternativa que involucra el establecimiento de riego por aspersión, el negocio sigue siendo viable aun con un incremento de 50 % en las tarifas de pago por el suministro de agua. Las diferencias en la respuesta de las dos alternativas radican en la cantidad de agua que se necesita para suplir el déficit hídrico; por supuesto, una mayor cantidad de agua y un mayor precio de este bien hacen que, en algún punto, el uso ineficiente de este recurso termine restando viabilidad al negocio desde el punto de vista económico.

En la Figura 7 se observa el mismo ejercicio de sensibilidad en función de las tarifas pagadas por el agua, considerando esta vez la rentabilidad del negocio. Es posible observar que para el caso de las alternativas que incluyen el riego por aspersión, la TIR no presenta una variación de amplia magnitud cuando cambian las tarifas del agua, manteniéndose en un rango de 12,6 a 14 %.

Figura 6. Valor presente neto de las alternativas de inversión con sensibilidad en los precios del agua.

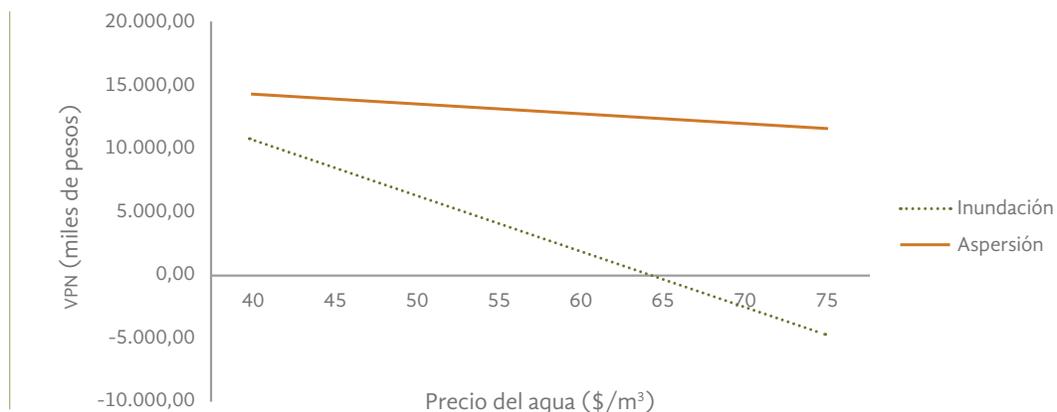
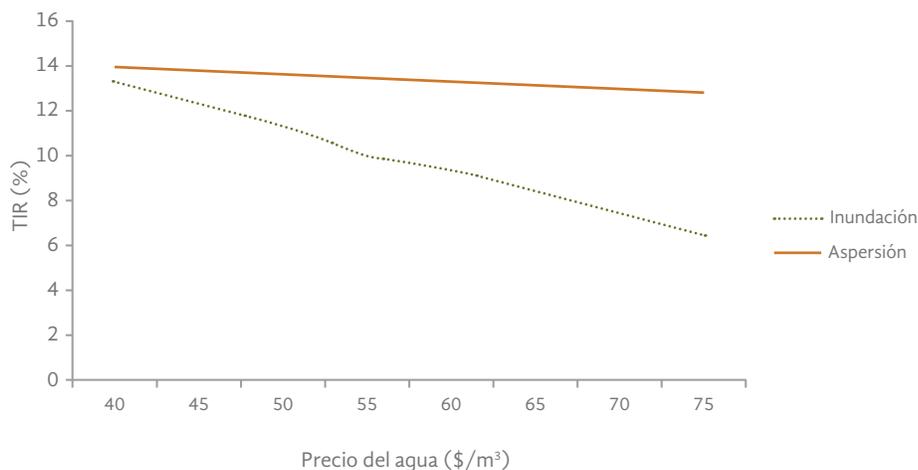


Figura 7. Tasa interna de retorno de las alternativas de inversión con sensibilidad en el precio de las tarifas del agua.



De otro lado, la TIR estimada para los escenarios que involucran la alternativa de establecer el riego por inundación, permite identificar que una variación de 40 % en las tarifas pagadas por el agua, arroja una TIR de 8,1; esta rentabilidad resulta inferior a la que se consideró en este estudio como la tasa de interés de oportunidad (o tasa de interés esperada por el inversionista). Aún más, un aumento de 50 % en la tarifa pagada por el agua reduce la TIR en 50 %.

Conclusiones

El uso eficiente del recurso hídrico no solo favorece el resultado económico del establecimiento de un proyecto productivo agrícola, sino que además afecta su sostenibilidad, puesto que las explotaciones agrícolas demandan el 60 % del agua extraída en el mundo, y cada día existe más evidencia de la poca disponibilidad de este recurso.

Los precios pagados por la fruta influyen considerablemente en la decisión de invertir en sistemas de riego para cultivos perennes como el de la palma de aceite. En este caso, una disminución de 10 % en los precios pagados por una tonelada de RFF, disminuyen entre 23 y 34 % la rentabilidad de las alternativas evaluadas, lo cual hace que la alternativa de establecer el cultivo sin sistema de riego registre una TIR inferior a la TIO propuesta en este estudio (8,6 %).

El periodo en el cual se espera retorne la inversión efectuada resulta ser otro de los indicadores importantes para la selección de alternativas de inversión.

Para el caso analizado, se encuentra que bajo los dos escenarios evaluados (precios promedio pagados por la fruta y una disminución en el 10 % de estos), el tiempo para recuperar la inversión resultó ser menor para la alternativa que involucra la adopción del sistema de riego por aspersión.

La evaluación económica efectuada a través de cinco indicadores para la evaluación de alternativas de inversión, indica que el establecimiento de sistemas de riego por aspersión resulta ser una alternativa viable, en comparación con el establecimiento de cultivos con la implementación de sistemas de riego por inundación y sin riego. Sin embargo, bajo un escenario que involucra precios promedio bajos y un déficit de 600 mm anuales hace que la alternativa de no establecer sistemas de riego resulte inviable.

La valoración económica del recurso hídrico debe ser una constante en la evaluación financiera de los proyectos agrícolas. El uso desmedido de este recurso, crecimiento rápido y sostenido de la población y una mayor demanda por alimentos, hacen que la única manera de controlar su uso sea a través de incrementos en su valor monetario. En el ejercicio realizado en esta investigación se observa que en sistemas de riego por inundación, los cuales poseen una baja eficiencia en el uso del agua, el negocio de la palma de aceite deja de ser viable con un incremento de 39 % en los precios del agua. Por ello, alternativas que aumenten la eficiencia en el uso del recurso son considerablemente importantes, no solo desde el punto de vista económico sino también desde una perspectiva ambiental.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, M. (2016). Importancia económica y uso eficiente del riego en el cultivo de la palma de aceite. *II Congreso Palmero*. Gremial de Palmicultores de Guatemala (GREPALMA). Antigua Guatemala, Guatemala.
- Álvarez, M., Posada, J., Mosquera, M., García, T., & Ardila, G. (2007). Eficiencia en el uso del agua en una plantación de palma de aceite. *Palmas*, 28(2), 11-22.
- Beltrán, J., Pulver, E., Guerrero, J., & Mosquera, M. (2015). Cerrando brechas de productividad con la estrategia de transferencia de tecnología de productor a productor. *Palmas*, 36(2), 39-54.
- Carr, M. (2011). The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) a review. *Exp. Agric.*, 47(4), 629-652.
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. (2003). *The Oil Palm* (4th edition). Malden, MA, USA: Blackwell Science Ltd.
- DANE (2016). *Tercer Censo Nacional Agropecuario*. Tomo 2. Bogotá: DANE
- Franco, N., & Beltrán, J. (2010). *Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite*. Guía para facilitadores. Bogotá: Fedepalma.
- FAO (2014). Sistema de Información Global sobre el agua de la FAO (Aquastat). Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm>.
- Franco, P., Arias, N., & Beltrán, J. A. (2012). *Calificación del nivel tecnológico de las plantaciones de palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite. Guía para facilitadores*. Bogotá: Fedepalma.
- Geopalma (2017). *Sistema para la gestión de datos agronómicos agregados de un núcleo palmero*. Disponible en <http://geoportal.cenipalma.org/>.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 179-204. <http://doi.org/10.1146/annurev.environ.041008.093740>.
- Llamas, R. 2005. Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 99(2), 369-389.
- Mejía, J. (2000). Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, una revisión de literatura. *Palmas*, 21(1), 51-58.
- Moreno, L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191.

- Ochs R., & Daniel C. (1976) Research on techniques adapted to dry regions. In: Corley, R.H.V., Hardon, J. J., & Wood, B. J. (Eds.). *Oil palm research* (pp. 315–330). Amsterdam: Elsevier.
- Palat, T., Chayawat, N., Clendon, J. H., & Corley, R. H. V. (2008). A review of 15 years of oil palm irrigation research in Southern Thailand. *The Planter*, 84, 537-546.
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & Jansen, M. A. K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci.*, 12(3), 99-105
- Romero, H. M. (2014). Hacia el desarrollo de materiales genéticos para enfrentar el cambio climático. Conferencia Magistral. *XII Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite*. Bogotá, Colombia.
- Taiz, L., & Ziger, E. (2006). *Plant Physiology*. (4th Ed.). Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance. A review. *Field Crops Research*, 143, 4–17. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>.
- Woittiez, L., Wijk, M., Slingerland, M., Noordwijk, M., & Giller, K. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57-77.