

FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE COQUILLO (*Jatropha curcas* L.) EN PANAMÁ¹

*Jaime Espinosa-Tasón*²; *Luis Barahona-Amores*³

RESUMEN

Se estudió la viabilidad económica de la producción de coquillo como fuente de aceite vegetal para la producción de biodiesel. Los datos del costo de establecimiento, el manejo agronómico y la producción de tres parcelas de 0,5 ha, se registraron durante el período 2013 – 2015. Para el análisis se establecieron tres escenarios de producción en base al rendimiento estimado para un periodo de 11 años. Se calcularon los flujos netos de efectivo anual y se transformaron a un valor presente. Se calculó el valor presente neto, la tasa interna de retorno, el período de recuperación y la relación beneficio-costo. El estudio demostró un escenario tendencial con rendimiento positivo de la inversión en la plantación de coquillo. La inversión en la plantación mostró un período de recuperación de cinco años bajo el escenario tendencial. Después de haber recuperado la inversión inicial, se obtuvo un valor presente neto de B/.1503,00 ha⁻¹ que superó el factor de actualización. La tasa interna de retorno indicó que la inversión es económicamente rentable y la relación beneficio-costo resultante fue de B/.1,30.

PALABRAS CLAVES: Semilla de *Jatropha*, biocombustible, costo, manejo agronómico, viabilidad económica.

¹Recepción: 5 de octubre de 2016. Aceptación: 29 de marzo de 2017. Investigación financiada por el proyecto: PANAMÁ GREEN FUEL S.A. (PGF). Convenio: IDIAP – MIDA – PGF.

²M.Sc. en Socioeconomía Ambiental. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).
e-mail: j.espinosa.idiap@gmail.com

³Ing. en Fitotecnia. IDIAP. CIAA. e-mail: alberline@gmail.com

ECONOMIC FEASIBILITY OF THE PRODUCTION POTENTIAL OF PHYSIC NUT (*Jatropha curcas* L.) IN PANAMA

ABSTRACT

The economic viability of the production of physic nut tree as a source of vegetable oil for biodiesel production was investigated. The data of the cost of establishment, the agronomic management, and the production of three plots of 0,5 hectares, were recorded during the period 2013 - 2015. For the analysis, three production scenarios were established based on the estimated yields for a period of 11 years. Annual net cash flow was calculated and converted to a present value. From the net cash flow, were calculated the net present value, the internal rate of return, payback period, and the benefit-cost ratio. The study has shown for the baseline scenario, positive returns on investment in planting physic nut tree. The investment in the plantation showed a recovery period of five years under the baseline scenario. Having recovered the initial investment, a net present value of B/.1503,00 ha⁻¹ that exceeded the discount factor was obtained. The internal rate of return showed the investment is economically profitable and the benefit-cost ratio result was B/.1,30.

KEY WORDS: Seed of *Jatropha*, biofuel, cost, agronomic management, economic viability.

INTRODUCCIÓN

La seguridad energética, el control de las emisiones de gases de efecto invernadero y la generalizada preocupación por el medio ambiente, han confirmado la necesidad de incursionar en la búsqueda de biocombustibles como una fuente alternativa a los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón). En Panamá se cuenta con un marco legal, “Ley 42 del 20 de abril de 2011”, que establece los lineamientos para la política

nacional sobre biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional. Mediante esta ley, se autoriza el uso de biodiesel como carburante y como aditivo en mezcla con el diésel.

Según proyecciones de la OECD-FAO (2016), se espera que para el año 2025 la producción mundial de biodiesel llegue a los 41,4 billones de litros, lo que correspondería a un incremento del 33% con respecto al nivel de 2015. Se espera

que la Unión Europea sea el mayor productor de biodiesel, otros países importantes son Estados Unidos, Brasil, Argentina e Indonesia. Será la política en lugar de las fuerzas del mercado la que seguirá influyendo en los patrones de producción en casi todos los países.

El biodiesel como un combustible renovable más limpio, se ha considerado como el mejor para la sustitución del combustible diésel debido a que se utiliza en cualquier motor de encendido por compresión sin ninguna modificación. Las principales ventajas del uso de biodiesel, son su renovabilidad y mejor calidad de las emisiones de gases de escape (Ong *et al.* 2011). En la industria del biodiesel es reconocido que el aceite crudo de coquillo produce biodiesel de muy alta calidad. El coquillo (*Jatropha curcas* L.) es una especie de planta suculenta que pertenece a la familia Euphorbiaceae, es autóctona de América tropical, en Panamá ha sido utilizada principalmente como cerca viva en fincas para la división de potreros.

Como cultivo para biodiesel, el coquillo tiene la ventaja de crecer en tierras marginales menos adecuadas para el cultivo de especies para la alimentación humana. Además, las fuentes de aceite comestible como la palma aceitera no son una materia prima ideal para la producción de biodiesel por estar en

competencia con los alimentos. El aceite de coquillo es una fuente de energía renovable no convencional, de bajo costo y amigable con el ambiente, además de ser un sustituto para diésel, keroseno y otros combustibles. El sistema básico de biodiesel de jatrofa consume ocho veces menos energía no renovable que el diésel convencional y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en un 51% (Almeida *et al.* 2011).

En Panamá es escasa la información que existe sobre el costo y rentabilidad de este cultivo para biodiesel. Por ser un cultivo exigente en mano de obra durante la cosecha, el salario del jornal es un factor determinante en la estructura final del costo de producción y la rentabilidad. Para el caso del cultivo a gran escala, existen diversas cosechadoras, la mayoría han sido adaptaciones de cosechadoras de café y bayas, así como máquinas de la industria de la oliva y la almendra que sacuden el tronco de los arbustos y recolectan los frutos del suelo. Sin embargo, aún se continúa investigando para la mecanización del coquillo.

Un estudio de factibilidad para la producción nacional de biocombustibles en Panamá, realizado por INTRACORP (2007), determinó para el caso del coquillo que el alto requerimiento de jornales por hectárea aunado al costo de mano de

obra en Panamá, dificulta el desarrollo competitivo del cultivo. Sin embargo, estas consideraciones pueden ser válidas desde el enfoque de factibilidad a gran escala, sin considerar la posibilidad de mecanización de la cosecha. Para el caso de pequeños productores y asociaciones, generalmente la mano de obra es un aporte importante del productor y su familia, tal ha sido el caso en África, India y Asia, donde el cultivo de jatrofa ha representado una oportunidad de nuevas fuentes de ingresos, aprovechando también los subproductos una vez extraído el aceite.

El presente trabajo de investigación, tuvo por objetivo determinar el costo de establecimiento y mantenimiento anual de una plantación de coquillo y su nivel de rentabilidad para la producción de semillas como materia prima para la fabricación de biodiesel.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos localidades, una ubicada en la Estación Experimental de El Ejido, corregimiento de Santa Ana, provincia de Los Santos, del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), localizada entre los 7°54'42" de latitud Norte y 80°22'09" longitud Oeste, a 25 msnm, con un suelo Alfisol (Jaramillo 1991) y una zona de vida clasificada como Bosque Seco

Premontano; la otra localidad fue Divisa, específicamente en el Instituto Nacional de Agricultura, en la localidad de Corita, provincia de Veraguas, localizada entre los 8°09'39" latitud Norte y los 80°43'32" longitud Oeste, a unos 17 msnm, con un suelo Entisol y una zona de vida clasificada como Bosque Húmedo Premontano (Holdridge 1978).

Para el análisis económico del cultivo de coquillo, se registró el costo de establecimiento y producción de tres parcelas de 0,5 ha, durante el período 2013 - 2015. Los parámetros de evaluación recopilados se presentan en el Cuadro 1.

Las parcelas se ubicaron dentro de los parámetros climáticos apropiados para el cultivo definidos por Barrance *et al.* 2003 (Figura 1). El material de siembra utilizado fue semilla botánica (vía sexual o gámica) de la empresa de biotecnología QUINVITA, dedicada al mejoramiento genético de jatrofa, se usó el cultivar comercial QVP 1010, el cual es utilizado en la India y en África (Hawkins y Chen 2015). La densidad de siembra fue de 625 plantas ha⁻¹, con un marco de siembra de 4 m x 4 m, se fertilizó a razón de 53 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P, y 30 kg ha⁻¹ de K.

CUADRO 1. PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE COQUILLO.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	REGISTRO
Numero de plantas	Número total de plantas en la parcela (espaciado 4 x 4 m)	Una vez establecida la parcela
Costo de mano de obra	Costo de jornal por día	Una vez por temporada (año)
Jornales para la siembra	Número de días-hombre necesario para la siembra completa	Una sola vez al establecimiento
Costo del fertilizante	Costo del fertilizante por kg	Una vez por temporada
Fecha de fertilizacion	Fechas de la fertilización	Dos veces por temporada
Jornales para la fertilizacion	Número de jornales necesario para la aplicación de fertilizantes	Dos veces por temporada
Plaguicidas	Nombre y cantidad aplicada de plaguicida en el mes en curso y fecha de aplicación	Mensual
Jornales para plaguicidas	Número de jornales requeridos para aplicación de plaguicidas en el mes	Mensual
Desmalezado	Número y fechas del desmalezado	Mensual
Jornales para desmalezado	Número de jornales requeridos para el desmalezado en el mes en curso	Mensual
Cosecha	Cantidad de granos cosechados en el mes en curso (kg)	Mensual
Jornales para la cosecha	Número de jornales queridos para cosechar en el mes en curso	Mensual
Jornales para decorticado	Número de jornales necesario para la decorticación de frutas después de la cosecha	Mensual

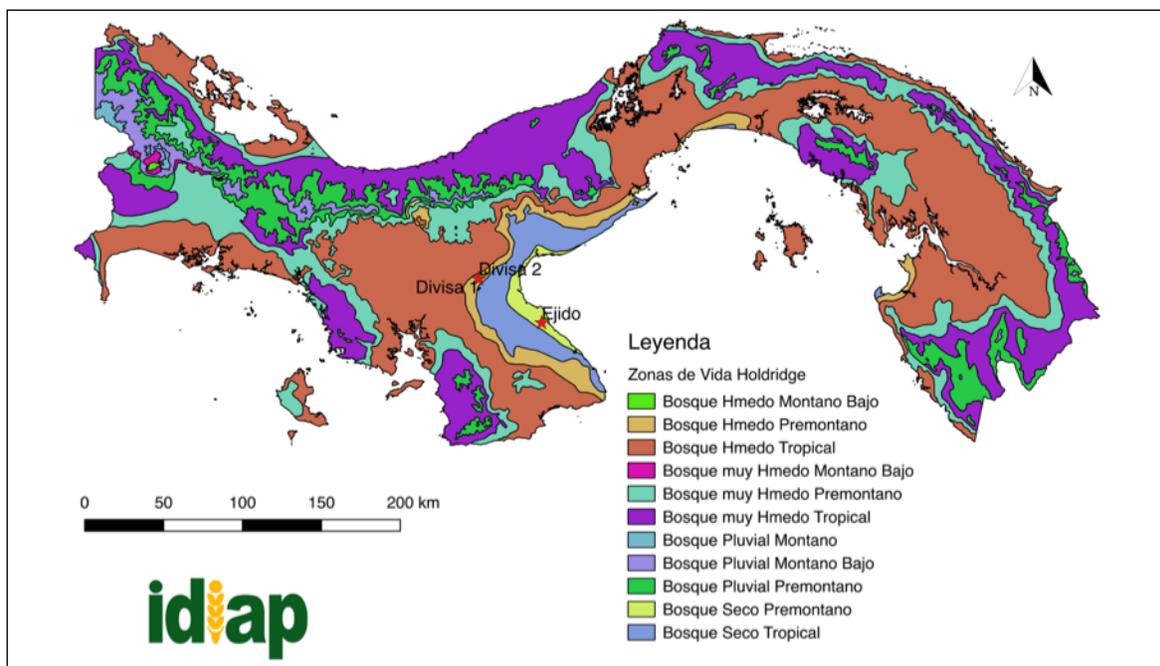


Figura 1. Ubicación de las parcelas del estudio según zona de vida (Holdridge 1978).

Supuestos para los escenarios de rendimiento

El rendimiento por hectárea varía según el potencial productivo del material de siembra, la densidad poblacional, el manejo nutricional, así como del uso o no de sistemas de irrigación. A partir del primer año, la producción va en aumento cada año, estabilizándose en el quinto año. Una plantación puede continuar durante 25 años produciendo frutos de buena calidad (Wahl *et al.* 2009, Kishor *et al.* 2011).

Debido a que las plantaciones del estudio son nuevas, y solo se cuenta con los datos de producción registrados para los tres primeros años del cultivo, se asumió para un escenario tendencial

que a partir del quinto año se alcanza un techo de producción de $3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, este valor es conservador, considerando que la empresa QUINVITA en sus pruebas de accesiones en secano, a una densidad de $1110 \text{ plantas ha}^{-1}$, reportó un rendimiento promedio en semilla seca de $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Cuadro 2). El mejor resultado reportado en sus pruebas de cultivares ha sido un rendimiento en semilla seca de $7,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Hawkins y Chen 2015).

Con el rendimiento registrado de los tres primeros años (Cuadro 3) y los techos de producción considerados, se estimó la producción del cuarto año, simulando el crecimiento sigmoide con un pico asintótico en el crecimiento después del quinto año (Cuadro 4), basado en

la investigación de Wahl *et al.* (2009). Este comportamiento de crecimiento de la producción, es similar al obtenido por Trabucco *et al.* (2010) mediante un análisis de regresión a partir de cronosecuencias del rendimiento y la edad de las plantas de coquillo para estimar el rendimiento a la madurez.

Precios de venta de las semillas de coquillo

El retorno previsto de la inversión, para un período de 30 años, dependerá de los precios mundiales del diésel y biodiésel. Debido a que los precios no pueden ser garantizados y cualquier cambio futuro

(incrementos o disminuciones) afectaría el retorno, para el análisis asumimos que las demás variables se mantendrán constantes o sin cambio (*Ceteris paribus*), sin alterar el comportamiento futuro esperado de los precios del diésel y el biodiésel.

Para el análisis se utilizó el pronóstico de la OECD-FAO (2016) de los precios reales mundiales de semillas oleaginosas* elaborados a partir de series históricas (1995-2015) del precio medio ponderado pagado al productor en los mercados internacionales como Estados Unidos y la Unión Europea.

CUADRO 2. ESCENARIOS DEL TECHO DE PRODUCCIÓN DEL COQUILLO A PARTIR DEL QUINTO AÑO.

	Pesimista	Tendencial	Optimista
*t ha ⁻¹	1,5	3	4,5

* Semillas secas a 8% de humedad

CUADRO 3. RENDIMIENTO MEDIO OBTENIDO EN PARCELAS.

Rendimiento de semillas*	Año 1 2013	Año 2 2014	Año 3 2015
t ha ⁻¹	0,1	0,8	1,2

* secadas a 8% de humedad

CUADRO 4. INCREMENTO RELATIVO HASTA QUE SE ALCANZA EL RENDIMIENTO

Año	1	2	3	4	5
% de Rendimiento máximo	0	0	40	70	100

* Incluye semillas de palma aceitera, soya, girasol y colza

Análisis de la viabilidad económica

Para el análisis se omitió los posibles efectos externos positivos, servicios ecosistémicos, tales como el control de la erosión del suelo y la captura de CO₂. Actualmente, en Panamá se carece de certificados de créditos de impuestos o subsidios por la producción de energía renovable, por lo que fueron excluidos del análisis.

Se calculó el costo y beneficio por año para un período de 11 años de vida de las plantaciones. Para la evaluación se calculó el flujo neto de efectivo anual (FNE) y se transformó a un valor presente o valor actual. Para ello, se utilizó una tasa anual del 10% de descuento.

A partir de los FNE se calcularon los siguientes criterios de evaluación económica: Valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el punto de equilibrio o período de recuperación, y la relación beneficio-costos (B/C). Estos criterios se utilizaron como indicadores de la viabilidad económica del proyecto (Baca 2010, Sapag 2011).

Valor presente neto (VPN): Mide la rentabilidad después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor presente de todos los flujos futuros, proyectados a partir del primer período

de operación, y le resta la inversión inicial expresada en el momento cero. Según Baca (2010), es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Los criterios de evaluación son: si $VPN \geq 0$, se acepta la inversión; si $VPN < 0$, se rechaza. La ecuación para calcular el VPN para el período en evaluación es:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5}{(1+i)^5} + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

donde, $FNE_1, FNE_2 \dots FNE_n$ = flujo neto de efectivo anual (ingresos - egresos)
 P = inversión inicial (corresponde al costo de establecimiento)
 i = tasa de descuento anual de 10%
 n = período de 11 años

Tasa interna de retorno (TIR): Mide la rentabilidad como porcentaje. Es la máxima tasa exigible, aquella que hace que el VPN sea cero, es decir, la tasa de interés que iguala los ingresos totales actualizados con el costo total actualizado.

Período de recuperación de la inversión (PRI): Es el período requerido para que los beneficios netos acumulados igualen a la inversión original. Establece la rapidez en tiempo con la que los beneficios son generados a través del proyecto.

Relación beneficio-costo (B/C):

Compara el valor actual de los beneficios proyectados con el valor actual del costo, incluida la inversión. Para que un proyecto sea económicamente factible, el producto de esta división debe ser igual o mayor que 1. Si el B/C de un proyecto es 1,5 esto significa que por cada balboa que se invierte el retorno (ganancia) es de 50¢.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Costo de establecimiento, mantenimiento y cosecha**

El costo de establecimiento (Cuadro 5) de una hectárea de coquillo resultó en B/.1235,20, este costo fue menor al reportado por Loaiza *et al.* (2012) en estudios realizados en Costa Rica, donde se estimó el costo de establecimiento en B/.2118,00. La diferencia es que en Costa Rica el manejo de poda fue intensivo desde el establecimiento, incrementando el uso de mano de obra; el costo del jornal fue similar de unos B/.15,00 la jornada de 8 horas.

Debido a la poca producción de frutos durante el primer año, la mano de obra requerida para la cosecha-poscosecha es mínima, sin embargo, en

el tercer año de producción su peso fue 45% del costo total y a partir del quinto año la cosecha-poscosecha representó el 67% del costo total (Figura 2).

Este resultado es similar al de otras experiencias y a la información sobre los componentes del costo de producción comercial de biodiesel de jatrofa, en donde el componente de mano de obra para el deshierbe ocupa gran parte del costo involucrado, comprendiendo más del 25% del costo total de establecimiento (Ofori y Lee 2011, Kishor *et al.* 2011, Nevase *et al.* 2012).

A partir del segundo año, el costo de mantenimiento anual de una hectárea resultó en B/.404,50, principalmente para cubrir el control de malezas y la fertilización en la plantación (Cuadro 6). Comparativamente Loaiza *et al.* (2012), obtuvieron un costo de mantenimiento mayor, debido a que el manejo de la plantación incluyó la poda bianual. Para el caso del presente trabajo, se realizó una poda apical en vivero dos días antes del trasplante a campo, para promover la ramificación y estructura arbustiva de la planta.

CUADRO 5. COSTO DE ESTABLECIMIENTO DE 1 ha DE COQUILLO.

DETALLE	UNIDAD	COEFICIENTE TÉCNICO	COSTO UNITARIO (B./)	COSTO TOTAL (B./)
ENCAMADO PARA VIVERO (6 camas: largo 10 m, ancho 1 m)				
Semillas	kg	1	15,00	15,00
Arado	hora	0,3	45,00	13,50
Fertilizantes	45 kg	1,2	31,00	37,20
Carbaryl para hormigas (<i>Atta</i> sp.)	kg	0,5	10,00	5,00
Insecticida	L	1	35,00	35,00
Mano de obra	jornal	12	15,00	180,00
Subtotal				285,70
PREPARACIÓN DEL SUELO				
Arado	hora	3	45,00	135,00
Glifosato	L	6	3,75	22,50
Fumigación por tractor	hora	1	45,00	45,00
Subtotal				202,50
TRANSPLANTE				
Fertilizantes	45 kg	4,5	31,00	139,50
Mano de obra	jornal	15	15,00	225,00
Subtotal				364,50
FASE VEGETATIVA				
Carbaryl para hormigas (<i>Atta</i> sp.)	kg	1	10,00	10,00
Subtotal				10,00
FASE REPRODUCTIVA				
Desyerbe entre hileras	jornal	6	15,00	90,00
Desyerbe en ronda	jornal	5	15,00	75,00
Glifosato	L	6	3,75	22,50
fumigación de herbicida	jornal	5	20,00	100,00
Insecticida-Acaricida	L	1	45,00	45,00
Fumigación de insecticida	jornal	2	20,00	40,00
Subtotal				372,50
COSTO DE ESTABLECIMIENTO				
TOTAL				1235,20
FASE COSECHA-POSCOSECHA				
Cosecha	jornal	1	15,00	15,00
Descascarado y secado	jornal	1	15,00	15,00
Total				30,00

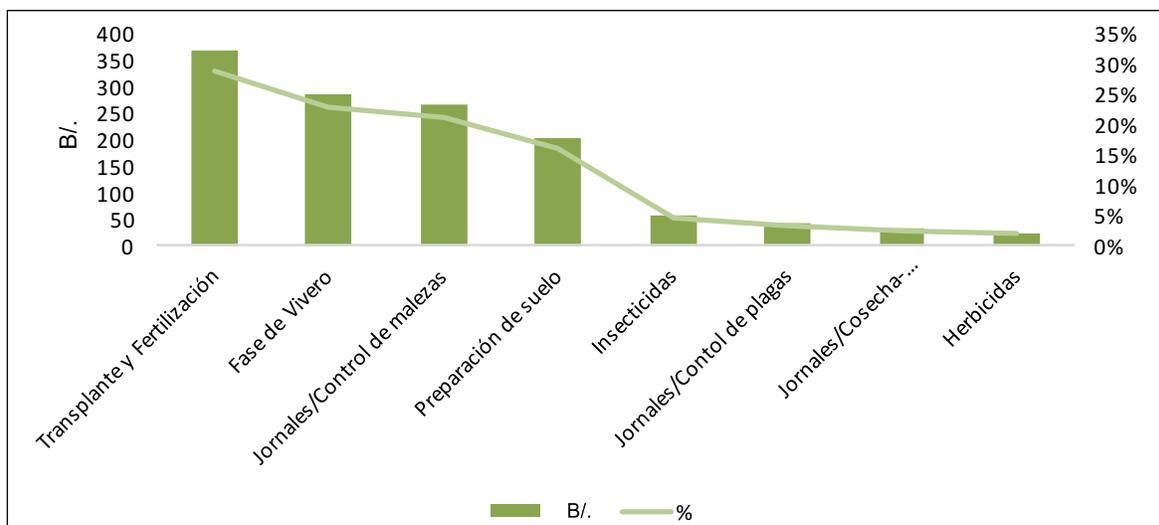


Figura 2. Componentes del costo de establecimiento de 1 ha de coquillo.

CUADRO 6. COSTO DE MANTENIMIENTO DE 1 ha DE COQUILLO.

DETALLE	UNIDAD	COEFICIENTE TÉCNICO	COSTO UNITARIO (B/.)	COSTO TOTAL (B/.)
MANTENIMIENTO				
Desyerbe	jornal	5	15,00	75,00
Glifosato	L	6	3,75	22,50
Fumigación de herbicida	jornal	5	20,00	100,00
Fertilizantes	45 kg	2	31,00	62,00
Mano de obra	jornal	4	15,00	60,00
Insecticida-Acaricida	L	1	45,00	45,00
Fumigación de insecticida	jornal	2	20,00	40,00
Total				404,50

Según QUINVITA (2013), al realizarse la poda apical antes del trasplante, evita la necesidad del manejo de poda en el cultivo, el cual tiene principalmente el propósito de desarrollar un mayor número de ramas, además de dar una mejor estructura al árbol, sin embargo, los ensayos sobre poda realizados por QUINVITA han demostrado que no existe diferencia en el número de

ramas por árbol, por lo que es innecesaria una poda agresiva del cultivo (OFI 2013).

La cantidad de jornales requeridos durante la fase de cosecha en el escenario tendencial, es incremental a medida que el proyecto avanza en el tiempo, a partir del quinto año se estabiliza en su máximo la producción y la cantidad de jornales requeridos para la cosecha se asume estable (Cuadro 7).

CUADRO 7. CANTIDAD DE JORNALES NECESARIOS PARA LA COSECHA, DECORTICACIÓN Y SECADO.

Jornales	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cosecha	1	5	14	25	36
Descascarado y Secado	0,4	3	7	13	18
Total	1,1	8	22	38	54

La cosecha, descascarado y secado de las semillas constituye uno de los principales componentes del costo de producción por ser una actividad que requiere una intensiva mano de obra. Wiskerke (2008) calculó que la cosecha, descascarado y secado de las semillas consumía el 80% del tiempo total para la producción de semillas. Otros componentes del costo de producción fueron el desyerbe (12%) y el abonamiento (4%).

Rendimiento de semillas secas

Una predicción precisa de la cantidad de semillas que los agricultores van a cosechar en su localidad específica con determinadas condiciones de clima y suelo es necesaria para su decisión de inversión. El rendimiento estimado para los tres escenarios se muestra en la Figura 3.

Según Trabucco *et al.* (2010), la estimación de la productividad de jatrofa para las condiciones climáticas actuales (años: 1950-2000) en promedio para las regiones tropicales nativas está entre 2,5 t ha⁻¹ año⁻¹ y 3,5 t ha⁻¹ año⁻¹ de semilla

seca, la misma es correspondiente con el escenario tendencial de este estudio. En León, Nicaragua, Foidl *et al.* (1996) registraron un rendimiento de 2,5 t ha⁻¹ de semilla seca en plantaciones de cuatro años de edad, el rendimiento proyectado a la madurez fue de 2,75 t ha⁻¹ año⁻¹ de semilla seca.

Análisis de la viabilidad económica

Los flujos netos de efectivo anual para una hectárea de coquillo, para el escenario optimista y tendencial, a partir del tercer año son positivos, se incrementó hasta alcanzar beneficios netos anuales por encima de B/.1300,00 y B/.700,00, respectivamente (Figura 4). Para el caso del escenario pesimista, los FNE son positivos a partir del quinto año.

En los años iniciales es común que los beneficios resulten negativos (Cuadro 8). Sin embargo, conforme al proyecto avanza y se alcanzan los objetivos, el costo cae de manera sustancial y el beneficio se incrementa de manera gradual hasta que se revierte la tendencia (Wahl *et al.* 2009, Kishor *et al.* 2011, Nevase *et al.* 2012).

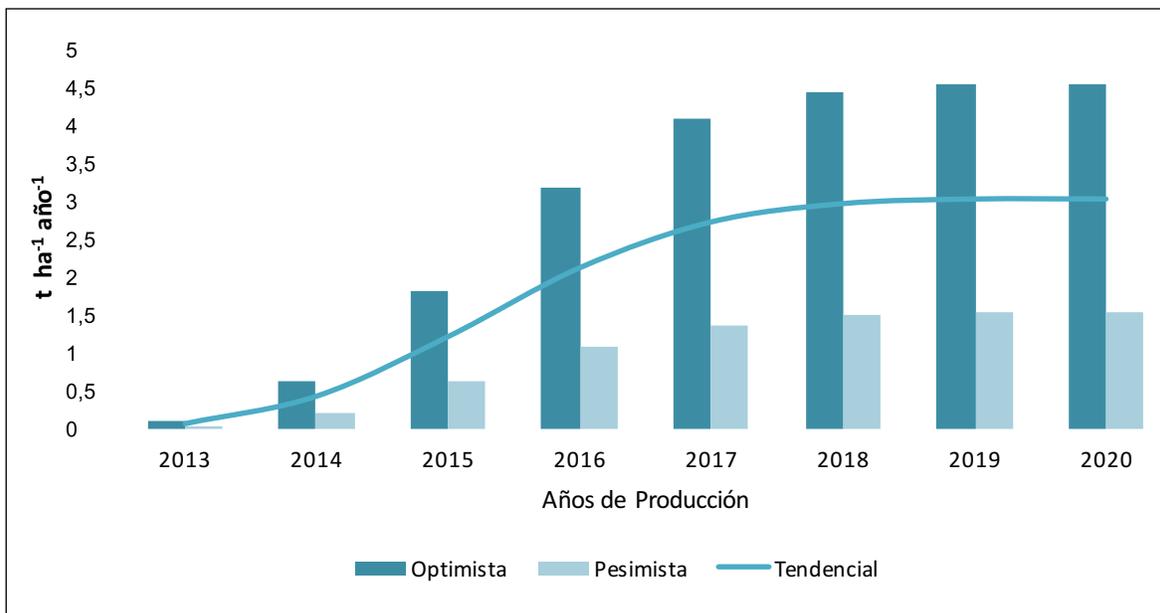


Figura 3. Rendimiento del coquillo bajo tres escenarios.

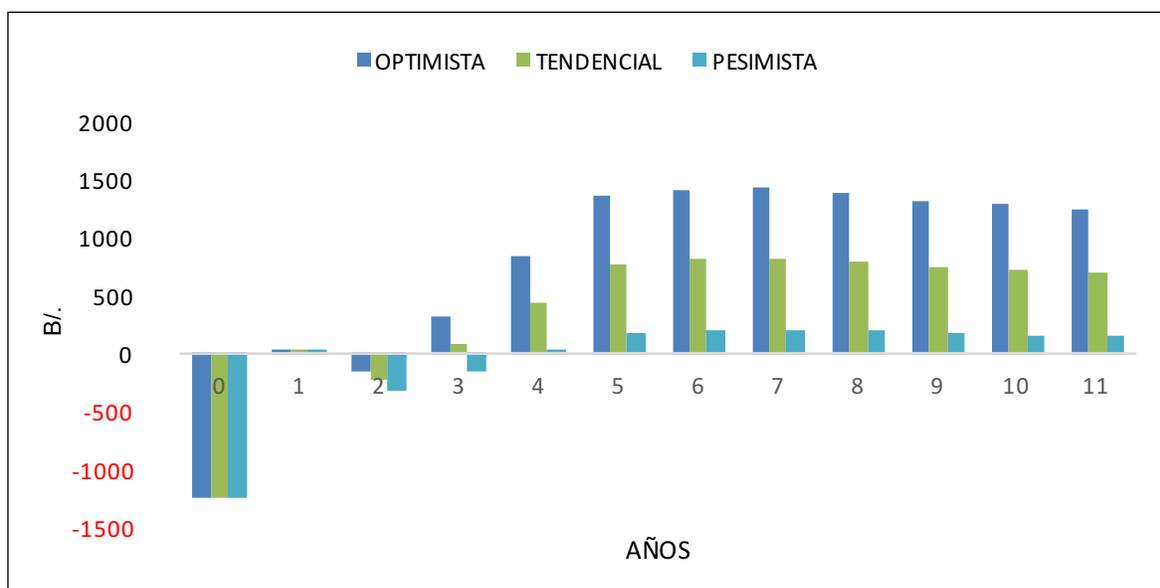


Figura 4. Flujos netos de efectivo anual.

El período de recuperación de la inversión inicial o el punto de equilibrio, para el escenario optimista resultó a partir del cuarto año y para el escenario

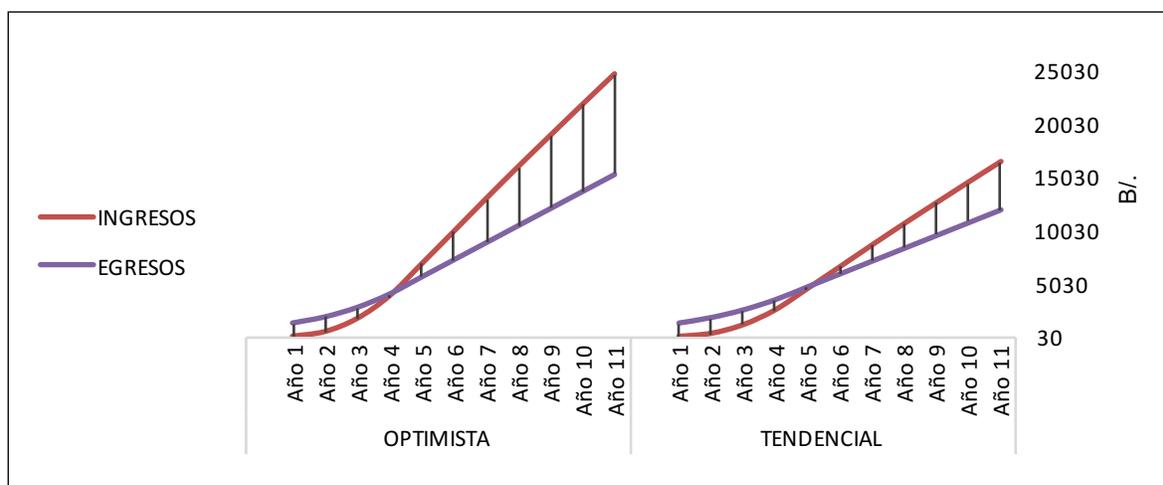
tendencial resultó a partir del quinto año (Figura 5). Resultados iguales al escenario tendencial de este estudio obtuvieron Kishor *et al.* (2011).

CUADRO 8. FLUJO NETO DE EFECTIVO ESTIMADO SEGÚN CADA ESCENARIO DE PRODUCCIÓN.

Optimista	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t ha ⁻¹	0,09	0,63	1,80	3,15	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Precio (B./t ¹)	640,77	668,77	677,03	665,18	664,18	674,25	678,80	666,28	649,82	645,10	636,34
Ingresos	1235,20	57,67	421,33	1218,66	2095,30	2988,80	3034,11	3054,62	2998,25	2924,19	2863,52
Egresos	1235,20	24,30	574,60	890,50	1255,00	1619,50	1619,50	1619,50	1619,50	1619,50	1619,50
Flujo Neto	33,37	153,27	328,16	840,30	1369,30	1414,61	1435,12	1378,75	1304,69	1283,44	1244,02

Tendencial	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t ha ⁻¹	0,06	0,42	1,20	2,10	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Precio (B./t ¹)	640,77	668,77	677,03	665,18	664,18	674,25	678,80	666,28	649,82	645,10	636,34	
Ingresos		38,45	280,88	812,44	1396,87	1992,53	2022,74	2036,41	1998,83	1949,46	1935,30	1909,01
Egresos	1235,20	16,20	517,90	728,50	971,50	1214,50	1214,50	1214,50	1214,50	1214,50	1214,50	1214,50
Flujo Neto	1235,20	22,25	237,02	83,94	425,37	778,03	808,24	821,91	784,33	734,96	720,80	694,51

Pesimista	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t ha ⁻¹		0,03	0,21	0,60	1,05	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Precio (B./t ¹)		640,77	668,77	677,03	665,18	664,18	674,25	678,80	666,28	649,82	645,10	636,34
Ingresos		19,22	140,44	406,22	698,43	996,27	1011,37	1018,21	999,42	974,73	967,65	954,51
Egresos	1235,20	8,10	461,20	566,50	688,00	809,50	809,50	809,50	809,50	809,50	809,50	809,50
Flujo Neto	1235,20	11,12	320,76	160,28	10,43	186,77	201,87	208,71	189,92	165,23	158,15	145,01

**Figura 5. Beneficios netos acumulados.**

El escenario pesimista nos indica que bajo condiciones de bajo rendimiento de grano 1,5 t ha⁻¹ a partir del quinto año

del cultivo, no sería económicamente viable la inversión (Cuadro 9).

Para el escenario tendencial, después de haber recuperado la inversión inicial, se logra un valor presente neto actualizado de B/.1503,00 ha⁻¹ superando la tasa de descuento o factor de actualización. Con una TIR mayor que la tasa de descuento, se acepta la inversión; es decir, la inversión es económicamente rentable. La relación B/C resultante de 1,3 nos indica que, por cada balboa invertido, se recupera 30¢ de ganancia. El escenario optimista resultó mucho más viable económicamente, con una relación B/C de 1,6, después de haber actualizado la relación beneficio y costo a una tasa de 10%.

Según el análisis de Van Eijck *et al.* (2014) sobre el desempeño económico actual y futuro de biocombustibles de primera y segunda generación en los países en desarrollo, el VPN calculado para la jatrofa varía en un rango de B/.900 a 2000 ha⁻¹, considerada rentable en muchos casos.

El análisis de costo beneficio que se ha llevado a cabo para pequeños productores, sobre todo para pequeñas plantaciones de jatrofa en África y en la India, carecen de una referencia específica a la organización empresarial y a los tamaños de producción. Van Eijck *et al.* (2010) señalan que todavía hay muchas brechas en los datos económicos, y que

la fiabilidad del análisis de costo beneficio va a depender en gran medida de las estimaciones precisas de los flujos de efectivo esperados.

El cultivo de jatrofa para que sea rentable y sostenible, debe desarrollar un enfoque de cadena de valor, a través de la búsqueda de usos de mayor valor de los subproductos, lo que promovería el desarrollo de variedades con mayor rendimiento de semilla y más fiables en condiciones semiáridas, y optimizando las prácticas del cultivo.

Tendencias de los precios del aceite crudo y el biodiesel de coquillo

En relación con los aceites vegetales crudos no comestibles como el de coquillo, la opinión general es que su precio se determinará por el precio de los combustibles fósiles, en primera instancia, y luego por la disposición del mercado a pagar una prima por otras fuentes de energía sostenibles. Según Hawkins y Chen (2015) el precio es probable que sea una función de un número de influencias que incluyen:

- Precio de la materia prima competitiva (sustituta) comercializada internacionalmente, que incluye.
 - aceite mineral crudo (precios actuales del mercado son B/.447 t⁻¹).

- aceite de palma crudo
(precios actuales del mercado
son B/.650 t⁻¹ FOB)

- Conformidad y cumplimiento de la ley de mezcla en Estados Unidos (EEUU) o la Unión Europea (UE).
- Prima verde para la sostenibilidad y el perfil de carbono.

La evolución futura de los mercados de energía, así como posibles cambios de política son las principales incertidumbres asociadas a las perspectivas para los mercados de biocombustibles en la próxima década.

Sin embargo, tomando en cuenta las decisiones políticas, las incertidumbres sobre el futuro de los mercados de biocombustibles deben ceder un poco, al menos en el corto plazo. En la Figura 6, se muestra el precio del biodiesel pronosticado por la OECD-FAO (2016).

Según INTRACORP (2007) para el caso panameño la capacidad de conversión de coquillo a biodiesel solo dependería de maquinaria y equipo, debido a que los requerimientos energéticos y de personal en esta fase no son limitantes ya que se usa poca mano de obra y el consumo energético es bajo.

CUADRO 9. INDICADORES ECONÓMICOS PARA UNA HECTÁREA.

ESCENARIO	TIR	VPN	B/C
Optimista	37%	4001	1,6
Tendencial	23%	1503	1,3
Pesimista	-4%	-996	0,9

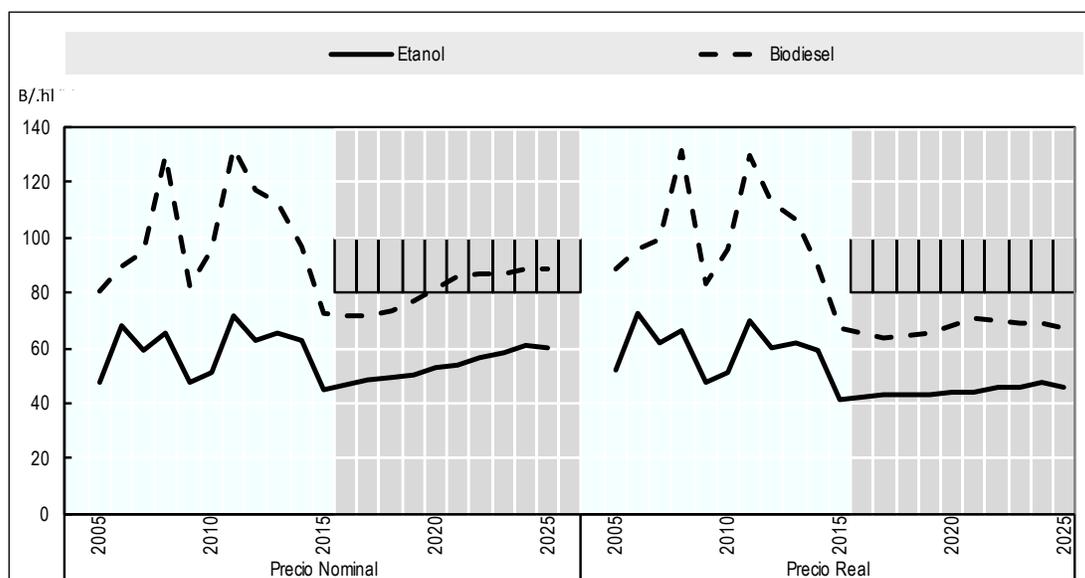


Figura 6. Pronóstico de los precios mundiales del biocombustible (OECD-FAO 2016).

CONCLUSIONES

- Para la producción, cosecha y poscosecha de semillas de coquillo, la mano de obra constituye uno de los principales componentes del costo de producción. Sin embargo, existe la posibilidad de mecanización de la cosecha y poscosecha, consideración que es importante cuando se cultiva a gran escala. En un escenario tendencial, la inversión en la plantación mostró un período de recuperación de cinco años, un VPN de B/.1503,00 ha⁻¹, y una relación B/C de B/.1,30. La evolución futura de los mercados de energía, así como posibles cambios de política son las principales incertidumbres asociadas a las perspectivas para los mercados de biocombustibles en la próxima década.
- Un enfoque de cadena de valor favorecería que el cultivo de coquillo sea más rentable y sostenible, a través de la búsqueda de usos de mayor valor de los subproductos, como lo es en la fabricación de jabones, insecticidas, lubricantes, como combustible para las cocinas, o como un sustituto de keroseno en faroles de alumbrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, J; Achten W, MJ; Duarte M, P; Mendes, B; Muys, B. 2011. Benchmarking the Environmental Performance of the Jatropha Biodiesel System through a Generic Life Cycle Assessment. *Environmental Science Technology* 45(12):5447-5453.
- Baca U, G. 2010. Evaluación de proyectos. Sexta edición. McGraw-Hill. México DF. 318 p.
- Barrance, A; Beer, J; Boshier H, D; Chamberlain, J; Cordero, J; Detlefsen, G; Finegan, B; Galloway, G; Gómez, M; Gordon, J; Hands, M; Hellin, J; Hughes, C; Ibrahim, M; Kass, D; Leaky, R; Mesén, F; Montero, M; Rivas, C; Somarriba, E; Stewart, J; Pennington, T. 2003. Central American trees: source book for extension workers. Oxford Forestry Institute, CATIE, Turrialba, CR. 1079 p.
- Foidl, N; Foidl, G; Sanchez, M; Mittelbach, M; Hackel, S. 1996. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. *Bioresource Technology* 58:77–82.

- Hawkins, D; Chen, Y. 2015. Future Harvest. 21st Century *Jatropha*. Hardman & Co. London, United Kingdom. 121 p.
- Holdridge, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura. 216 p.
- INTRACORP (Estrategias Empresariales). 2007. Estudio de factibilidad de la producción nacional de biocombustibles. Informe Final. INTRACORP, Estrategias Empresariales. Panamá, República de Panamá. 143 p.
- Jaramillo, S. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP. Instituto De Investigación Agropecuaria de Panamá. Boletín técnico no. 38. 67 p.
- Kishor, G; Jitu, S; Choudhury, HK. 2011. Economic benefits and costs of *jatropha* plantation in North-East India. Agricultural Economics Research Review 24(1):99–108.
- Loaiza, J; Arnaez, E; Moreira, I; Herrera, F; Ureña, A; Hernández, J. 2012. Guía técnica para el establecimiento y producción de *Jatropha curcas* en Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 92 p.
- Nevasé S,S; Gadge, SR; Dubey, AK; Kadu, BD. 2012. Economics of biodiesel production from *Jatropha* oil. Journal of Agricultural Technology 8(2):657-662.
- OECD-FAO (Organisation for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025, OECD Publishing, Paris.
- OFI (Oils and Fats International). 2013. *Jatropha*: “An untrained horse”. Feedstocks. Biofuels Issue (en línea). Consultado 30 mar. 2017. Disponible en <http://www.ofimagazine.com/content-images/backgrounders/Jatropha.pdf>
- Ofori B, C; Lee K, T. 2011. Feasibility of *Jatropha* oil for biodiesel: Economic Analysis. World Renewable Energy Congress. 8-13 May 2011, Linköping, Sweden. Bioenergy Technology (en línea). Consultado 30 ene. 2017. Disponible en http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol1/062/ecp57vol1_062.pdf
- Ong, HC; Mahlia, TMI; Masjuki, HH; Norhasyima, RS. 2011. Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for

- biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8):3501-3515.
- QUINVITA. 2013. *Jatropha curcas*: Nursery setup and plantation management. Quinvita training documents. PowerPoint slides, presentation in Quinvita Headquarter, Technologiepark 3, 9052, Ghent, Belgium.
- Sapag Ch, N. 2011. *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación. 2ª edición.* Pearson Educación, Chile. 544 p.
- Trabucco, A; Achten W, MJ; Rafaerts B, C; Orshoven, JV; Norgroves, L; Muys, B. 2010. Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. *GCB Bioenergy* 2(3):139-151.
- Van Eijck, JAJ; Smeets W, EM; Jongschaap E, RE; Romijn, H; Balkema, A. 2010. *Jatropha Assessment: Agronomy, socio-economic issues, and ecology. Facts from literature.* Netherlands. Utrecht University Repository (en línea). Consultado 30 nov. 2016. Disponible en <http://edepot.wur.nl/163388>
- Van Eijck, J; Romijn, H; Smeets, E; Bailis, R; Rooijackers, M; Hooijkaas, N; Pita Verweij, AF. 2014. Comparative analysis of key socio-economic and environmental impacts of smallholder and plantation based *jatropha* biofuel production systems in Tanzania. *Biomass and Bioenergy* 61:25-45.
- Wahl, N; Jamnadass, R; Baur, H; Munster, C; Liyama, M. 2009. Economic viability of *Jatropha curcas* L. plantations in Northern Tanzania – Assessing farmers’ prospects via cost-benefit analysis. ICRAF Working Paper no. 97. Nairobi. World Agroforestry Centre (en línea). Consultado 1 dic. 2016. Disponible en <http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/WP16542.pdf>
- Wiskerke, W. 2008. Towards a sustainable biomass energy supply for rural households in semi-arid Shinyanga, Tanzania. A cost/benefit analysis. Utrecht University, Netherlands (en línea). Consultado 1 dic. 2016. Disponible en <http://www.compete-bioafrica.net/publications/publ/NWS-S-2008-13.pdf>