

Análisis de competitividad y rentabilidad de producción de biodiesel de granos de moringa en Chiapas y Yucatán, México

Rodríguez-Hernández R.^{1§}

Góngora-González S.²

Reyes-Reyes A. L.³

Sánchez-Vásquez V.¹

¹Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-INIFAP. Calle Melchor Ocampo núm. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca, México. CP. 68200. ²Campo Experimental Mococho-INIFAP. Antigua carretera Mérida-Motúl km 25, Yucatán, México. (gongora.sergio@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP. Carretera Tapachula-Cacahoatán km 18, Tuxtla Chico, Chiapas, México. CP. 30700, (reyes.ana@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: rodriguez.rafael@inifap.gob.mx.

Resumen

La producción de biocombustibles a nivel mundial ha crecido exponencialmente en los últimos años, su desarrollo ha estado ligado al aumento del precio del petróleo y a la creciente concientización social desarrollada en torno al cuidado del medio ambiente. El mundo apuesta actualmente por el biodiesel como alternativa parcial a los combustibles de origen fósil dado que procede de fuentes renovables y permite reducir, de modo significativo, las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Los avances tecnológicos amplían la gama de materias primas para biocombustibles, algunas de las cuales; como los pastos y los árboles de crecimiento rápido pueden crecer en regiones menos fértiles y más propensas a la sequía y compiten menos con cultivos para la producción de alimentos humano y animal como el maíz, la caña de azúcar, la soya y la colza, tal es el caso de *Moringa oleifera* que en la actualidad se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales, subtropicales y semiáridas del mundo, ya que puede crecer en condiciones de escasez de agua. El objetivo de esta investigación fue evaluar económicamente la producción integral de biodiesel con granos de moringa considerando dos zonas agroecológicas de producción de materia prima, el Soconusco, Chiapas y Uxmal, Yucatán y su transformación a biodiesel mediante el proceso de transesterificación industrial en una planta piloto. Para las fases agrícola e industrial, se generaron los indicadores de rentabilidad como la tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) y punto de equilibrio (PE). Los resultados indicaron que la producción agrícola es altamente rentable debido al aprovechamiento adicional de las hojas como coproducto con TIR de 109 y 130% para el Soconusco, Chiapas y Uxmal, Yucatán, respectivamente, mientras que la fase industrial, considerando cero subsidios a la producción de biodiesel resultó rentable con TIR de 53% en Uxmal, Yucatán y 37% en el Soconusco, Chiapas.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, biodiesel, competitividad, rentabilidad de biocombustibles.

Recibido: abril de 2018

Aceptado: julio de 2018

Introducción

El cambio climático cuya característica principal consiste en el incremento de la temperatura de la tierra, es uno de los problemas actuales que enfrenta la humanidad, debido a que sus efectos inciden en los ámbitos económico, social y ambiental, poniendo en riesgo la propia sobrevivencia de la humanidad; este cambio en los patrones de temperaturas es provocado principalmente por la emisión excesiva de bióxido de carbono y su acumulación en la atmósfera (Pardo, 2007; Gómez, 2007), lo que provoca otros fenómenos meteorológicos como sequías, deshielo de los polos e inundaciones entre otros; estos fenómenos afectan la vida cotidiana de personas, las economías familiares y nacionales así como la producción y productividad agropecuaria y forestal. Se estimó que en 2005 las pérdidas económicas por el calentamiento global fueron superiores a los 200 mil millones de dólares (Zamarripa *et al.*, 2009).

Ante esta problemática, diversos países están impulsando el uso de energías renovables más eficientes y limpias como los biocombustibles para disminuir los efectos del calentamiento global y contribuir a la conservación del ambiente. Aunado a lo anterior, en el caso particular de México el agotamiento de las reservas probadas de petróleo, cuya duración se estima en 8 años, justifican sobremanera la exploración de nuevas fuentes de energía renovable como el bioetanol y el biodiesel a partir de especies agrícolas (Rico *et al.*, 2011).

En la actualidad existen avances en varios países en donde la producción de biocombustibles se traduce en beneficios para los agricultores, ya que por un lado se convierte en una fuente de energía sostenible y por otro se visualiza como una nueva fuente de ingreso y trabajo para los agricultores y comunidades rurales en todo el mundo (Muñoz, 2013). Contrariamente al petróleo y al carbón, que están distribuidos de manera desigual entre los países, todas las naciones podrían generar cierta cantidad de bioenergía a partir de algún tipo de biomasa producida internamente y de ese modo, ayudar a reducir su dependencia de los combustibles fósiles importados (Hazell y Pachauri, 2006).

En México desde el punto de vista legal, los bioenergéticos no fueron materia de regulación sino hasta principios de 2008 cuando se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, emitiendo los lineamientos para el otorgamiento de permisos para la producción, el almacenamiento, el transporte y la comercialización de bioenergéticos del tipo etanol anhidro y biodiesel (Sepúlveda, 2012), dando un paso esencial para fomentar su introducción como complemento de la oferta de carburantes vehiculares, donde se percibe que ofrecen beneficios ambientales por la menor emisión de contaminantes y al mismo tiempo se espera que los ejidatarios, comuneros y los trabajadores del campo en general, mejoren su economía al poder participar con inversionistas privados para el cultivo de especies que provean materia prima para producción de biodiesel y bioetanol (Gamboa, 2009).

A pesar de las posibilidades evidentes que presenta la bioenergía para el desarrollo económico y social, aún quedan interrogantes importantes acerca de lo que ésta implica para las comunidades rurales, el medio ambiente y el comercio internacional, es más, debido a que la mayoría de los beneficios y costos medioambientales y sociales de la bioenergía no están supeditados a un mercado suficientemente desarrollado, es necesario definir políticas públicas acordes con la finalidad de aprovechar al máximo dichas potencialidades (Islas y Martínez, 2009). El sector público tiene un importante papel que desempeñar para asegurar resultados positivos, tales como

la elaboración y ejecución de políticas acordes, desarrollo de tecnologías apropiadas y creación de ambientes favorables a las inversiones que se necesitan para asegurar que la bioenergía se desarrolle de manera eficiente, cuyos resultados sean compatibles con la reducción de la pobreza y el calentamiento global (Hazell y Pachauri, 2006).

Diversas materias primas como la caña de azúcar, soya y maíz se han utilizado para la producción de biocombustibles, sin embargo, hay desacuerdo en su cultivo para ese fin, ya que compiten por su uso en la producción de alimentos humano y animal y esto ha ocasionado que la superficie de siembra destinada a la producción de oleaginosas y granos sea insuficiente (Collimore *et al.*, 2008; Huerta, 2010; Ramos, 2010). Por ello, se han desarrollado tecnologías que no sólo ayudan a que la bioenergía compita mejor con los combustibles fósiles en cuanto al precio, sino que también se ha ampliado la gama de opciones de materias primas, como por ejemplo pastos y árboles de crecimiento rápido que pueden prosperar en regiones poco fértiles y propensas a la sequía (Hazell y Pachauri, 2006). Tal es el caso de *Moringa oleifera* que representa una oportunidad técnica, socioeconómica y ambientalmente favorable para su aprovechamiento en la producción de biodiesel y otros coproductos benéficos para la sociedad.

La moringa es un árbol originario de la India, donde se usan principalmente sus frutos, semillas y raíces para consumo humano, mientras que sus tallos se destinan para la alimentación animal; además el aceite que se extrae de sus semillas se emplea como lubricante y en la industria cosmética para la elaboración de cremas y jabones (Martín *et al.*, 2013). Es una especie perenne tolerante a las altas temperaturas y la sequía, su rango óptimo de temperatura se ubica entre los 15 a 35 °C (Pérez, 2010). En general, prospera mejor con precipitaciones de 500 a 1 500 mm anuales (Pérez, 2010), crece muy poco cuando se cultiva a altitudes mayores a 1500 msnm por lo que se recomienda su cultivo por debajo de los 500 msnm (Olson y Fahey, 2011). Su cultivo intenso, con irrigación y fertilización, aumenta los rendimientos de biomasa hasta superar las 100 toneladas por hectárea (Martín *et al.*, 2013).

Por lo anteriormente expuesto y con la finalidad de generar conocimientos y tecnologías de producción de forma rentable y competitiva tanto de la materia prima para el biodiesel como para los coproductos como las hojas que se usan para consumo humano y la torta de moringa, que puede utilizarse para alimentación animal ya que contiene 60% de proteína (García, 2013), el INIFAP en coordinación con otras instituciones de investigación llevaron a cabo el proyecto: “Investigación y desarrollo de la producción de moringa para la obtención de biodiesel en México”. En el marco de este proyecto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la rentabilidad y competitividad de la producción de biodiesel con granos de moringa desde la perspectiva integral de la cadena de valor en Chiapas y Oaxaca, México, considerando y valorando los coproductos que pueden derivarse tanto de la fase agrícola como la industrial, cuantificando los niveles de costos y ganancias de los sectores agrícola e industrial y contribuir con elementos para la formulación de políticas encaminadas a su aprovechamiento.

Material y métodos

La presente investigación se desarrolló durante el periodo de 2014 a 2016, en dos zonas agroecológicas con potencial para plantaciones de moringa, en las cuales se cuenta con antecedentes de experimentación sobre aspectos agronómicos de la especie como evaluación de

colectas, arreglos de siembra, fertilización, sistemas de podas, entre otros, es decir, cuentan con el soporte técnico necesario para realizar inferencias sobre la producción y comercialización. Los sitios de estudio fueron: Uxmal ubicado en el municipio de Muna, Yucatán y la Región del Soconusco, ubicado en el estado de Chiapas (Figura 1).

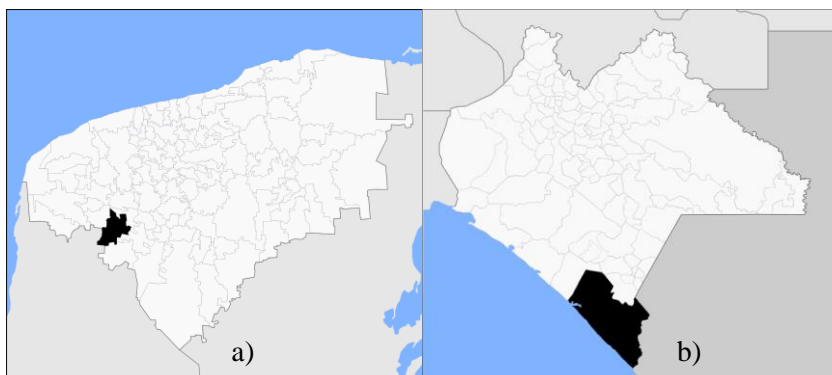


Figura 1. Localización del municipio de Muna en el estado de Yucatán (a) y región del Soconusco en el estado de Chiapas (b).

El municipio de Muna se encuentra en la región sur poniente del estado de Yucatán (Figura 1a), colinda en el sur con la Sierrita y limita con los siguientes municipios: al norte con Abalá, al sur con Santa Elena, al este con Ticul y Sacalum, al oriente con Halachó, Opichén y Kopomá y al poniente con el estado de Campeche. Sus coordenadas geográficas son: 20° 29' 05" latitud norte y 89° 42' 47" longitud oeste y cuenta con una superficie de 270.81 km². Su población al año 2010 era de 12 366 habitantes.

El Soconusco se ubica en la región extremo sudeste del estado de Chiapas, comprendida entre la Sierra Madre de Chiapas al norte y el Mar Mexicano al sur, limita al este con Guatemala (Figura 1b), se localiza en las coordenadas 15° 18' 56" de latitud norte y 92° 43' 55" de longitud oeste, cubriendo 5 475 km² (7.2% del territorio del estado de Chiapas). Su población al año 2010 era de 710 716 habitantes.

Se recopiló información técnica y económica directamente en parcelas establecidas con fines experimentales durante cuatro años en promedio, en donde se registraron datos de desarrollo de la plantación, rendimientos y costos de producción. Para la evaluación de la competitividad agrícola se utilizó la metodología denominada matriz de análisis de política (MAP) planteada originalmente por Monke y Pearson (1989); Puente (1995); Salcedo (2007); Rodríguez *et al.* (2013). Con la información tomada en campo se estructuró la matriz de coeficientes técnicos que consiste en un cuadro en Excel donde se especifican las cantidades de insumos y mano de obra que se utilizan para cultivar una ha de moringa, respecto a los rendimientos se incluyeron dos componentes, el grano y la producción de hojas como fuentes de ingreso, esto se consideró debido a que existe un mercado de hoja molida de moringa para fines alimenticios.

La matriz de precios privados se refiere a los mismos coeficientes, pero señalando su precio de compra en el mercado local, cuya información se obtuvo con los técnicos encargados de las parcelas. La matriz de presupuesto privado se obtuvo al multiplicar las dos matrices anteriores,

dando como resultado los costos de producción y los indicadores financieros como ingreso total, costo total, ganancia neta valor agregado y la relación de competitividad. En la Figura 2, se muestra el proceso de estructuración de las matrices de cálculo.

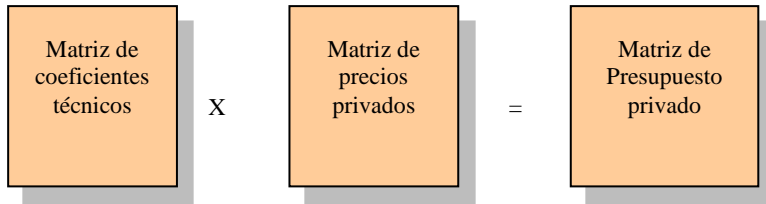


Figura 2. Proceso de estructuración de las matrices de datos para la fase agrícola.

Los indicadores financieros preliminares obtenidos por la matriz de presupuesto privado fueron:

Ingreso total (IT), o valor de la producción, fue el resultado de multiplicar el rendimiento obtenido a nivel de parcela (X_i) por el precio de venta del productor (P_i).

$$IT = P_i X_i$$

El costo total (CT), que fue el resultado de la suma de los costos de insumos y factores internos, dado por el precio del insumo (P_j) multiplicado por la cantidad de insumo (Y_j).

$$CT = \sum_{k=1}^n P_j Y_j$$

Ganancia neta (GN), que fue el resultado de la diferencia aritmética entre ingreso total y costo total.

$$GN = IT - CT$$

Relación beneficio costo (RBC), que fue el resultado de la división ingreso total entre costo total, su interpretación es que por cada peso invertido en la actividad cuantos pesos se obtienen, la expresión matemática es la siguiente:

$$RBC = IT / CT$$

El análisis de ingreso permitió visualizar la situación financiera de los sistemas productivos, y se generaron dos indicadores: el valor agregado (VA) como indicador de eficiencia y la relación de costo privado (RCP) como indicador de competitividad. De acuerdo con Morris (1990) y Padilla (1992), el VA es la diferencia entre el precio de una unidad de producto menos el valor de los insumos comerciables que se requieren para producir dicha unidad de producto o dicho de otra forma, es la diferencia entre el valor de la producción y los costos de los insumos comerciables y está dado por la siguiente expresión:

$$VA = p_{ixi} - \sum_{k=1}^n p_{kyk}$$

Donde: VA= valor agregado; Xi= cantidad producida en toneladas por hectárea; Yk= cantidad de insumos comerciables aplicados por hectárea; Pi= precio de venta del producto por el productor; Pk= precio de los insumos comerciables adquiridos por el productor.

Para definir la RCP, primero fue necesario definir el costo de los factores internos (CFI), este indicador expresa la parte de los costos correspondientes al pago de los factores que no tienen un mercado externo definido o que no se pueden exportar ni importar tan fácilmente como la mano de obra y la tierra, entre otros. El CFI está dado por la siguiente expresión:

$$CFI = \sum_{r=1}^n przr$$

Donde: CFI= costo de los factores internos; Zr= cantidad de factores internos aplicados por hectárea; Pr= precio de los factores internos que utilizó el productor.

La RCP se utilizó para medir la competitividad del sistema productivo con relación al uso eficiente de los recursos disponibles por el productor, cuya interpretación parte del hecho que los productores prefieren lograr ganancias en exceso, lo que pueden obtener si el CFI es menor que el VA a precios privados, indica la parte proporcional del VA que se destina a cubrir el CFI. Por lo tanto, lo recomendable para que un sistema agrícola permanezca competitivo es tratar de minimizar la RCP, manteniendo bajos los costos de los insumos comerciables y los factores internos y obtener un VA lo más elevado posible (Puente, 1995). La RCP está dada por la siguiente expresión:

$$RCP = \frac{\sum_{r=1}^n przr}{p_{ixi} - \sum_{k=1}^n pkyk} = \frac{CFI}{VA}$$

Donde: RCP= relación de costo privado; CFI= costo de los factores internos; VA= valor agregado.

Para contar con un panorama integral se analizó económicamente la producción de biodiesel desde la perspectiva de cadena de valor (fase primaria y fase industrial) mediante la adaptación del paquete computacional denominado biodiesel/FAO (Da Silva *et al.*, 2009), este sistema a través de cálculos matemáticos para un periodo de 20 años permitió obtener una serie de indicadores sociales y financieros tanto de la producción agrícola como de la industrial de forma integrada, con lo cual se pudo determinar la viabilidad económica y financiera a nivel de cadena de producción (Figura 3). El sistema permitió además la elaboración de análisis de sensibilidad y la creación de escenarios para la comparación de diferentes proyectos y la visualización del impacto de algunas variables respecto de estos indicadores.

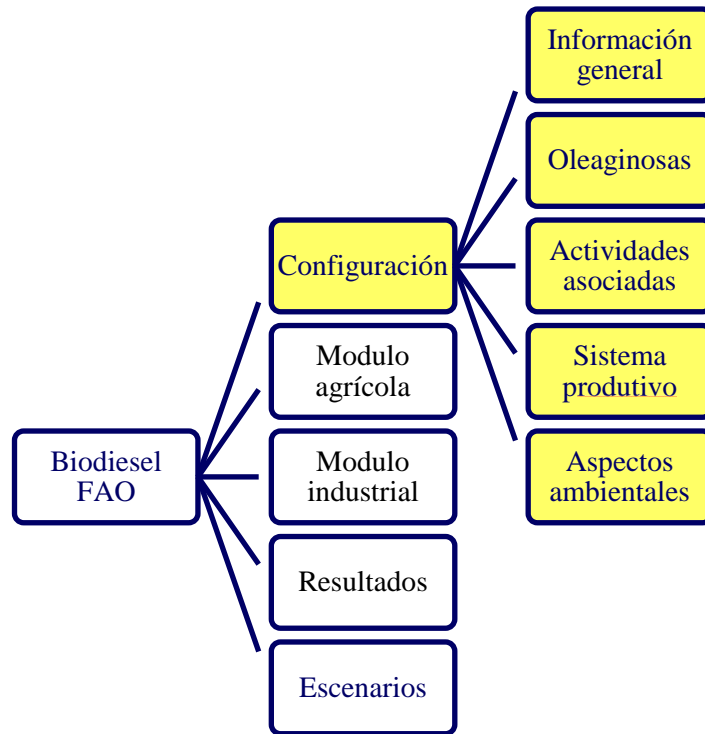


Figura 3. Estructuración de los módulos y submódulos del sistema biodiesel FAO.

La información de coeficientes técnicos de la fase industrial que alimentó al sistema de evaluación, se obtuvo mediante el registro de datos de diversas corridas productivas en una planta piloto propiedad del INIFAP, cuyo proceso se describe a continuación:

Previamente a la extracción del aceite se realizó el beneficiado de los granos con la finalidad de eliminar las impurezas y hacer más eficiente el proceso de extracción, posteriormente a esta fase y para iniciar el proceso de extracción del aceite se requirió preparar la materia prima mediante los siguientes procedimientos esquematizados en la Figura 4.

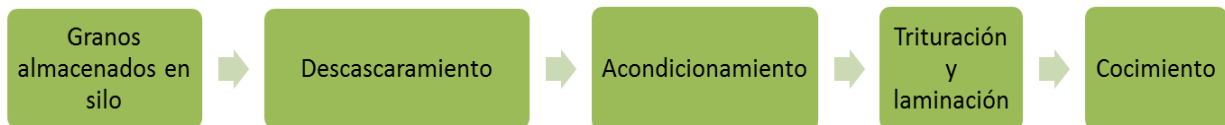


Figura 4. Preparación de la materia-prima para la extracción del aceite de moringa.

Para la obtención del biodiesel se llevó a cabo la remoción del aceite por medio de extracción mecánica mediante prensado y debido a que el aceite en bruto contiene compuestos indeseables como fosfatidos o gomas, esteroides, ceras, pigmentos carotenoides y antioxidantes, se llevó a cabo un proceso de refinamiento a través de filtración, desgomado y neutralización como se muestra en la Figura 5.

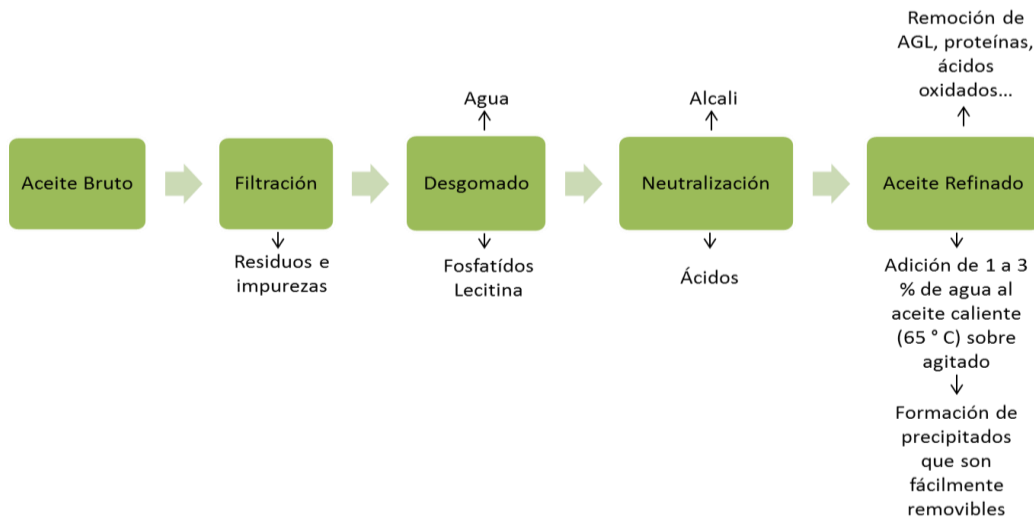


Figura 5. Proceso de refinación del aceite de moringa.

El aceite refinado pasó al proceso de conversión a biodiesel, el cual se obtuvo por transesterificación, que consistió en la transformación de los triglicéridos (aceite vegetal) mediante la adición de alcohol (metanol o etanol) a través de un catalizador para obtener ésteres o biodiesel más la glicerina (Posada, 2010).

Derivado este proceso se obtuvieron los coeficientes de los insumos requeridos para un litro de biodiesel, los cuales se observan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Matriz de coeficientes técnicos para la producción de biodiesel a partir de granos de moringa.

Insumos	Unidad por litro de biodiesel	Valor del coeficiente	Precio (\$)
Materia prima	kg	2.61	5
Electricidad (extracción)	kWh	0.0917	3.65
Metanol	kg	0.1198	13.5
Hidróxido de sodio	kg	0.019	8.6
Ácido sulfúrico	kg	0.0057	9
Resina	kg	0.0013	375
Antioxidante	kg	0.00214	350
Electricidad (transesterificación)	kWh	0.032	3.65

El coeficiente de procesamiento; es decir, la cantidad de materia prima que se requirió para obtener un litro de biodiesel de acuerdo a las pruebas experimentales se determinó en un nivel de 2.61 kilos de granos de moringa para obtener un litro de biodiesel. Adicionalmente, se determinó el precio mínimo de venta de la materia prima para la industria, que fue de \$5.00 por kilo. También se consideró un rendimiento promedio de grano por hectárea de 2 000 kg para Yucatán y 1 160 kg para Chiapas y por último, de acuerdo con Madrigal (2015) se consideraron ciclos anuales de producción por un periodo de 20 años.

El sistema biodiesel/FAO generó los siguientes indicadores:

Tasa interna de retorno (TIR): matemáticamente se define como la tasa de interés que causa en el flujo de fondos de un proyecto, que los ingresos en valores equivalentes en el tiempo sean iguales a los egresos también en términos equivalentes en el tiempo. Se define como la tasa de descuento que reduce a cero el valor presente neto de la suma de una serie de ingresos y egresos (FIRA, 1993). Por lo tanto, para una propuesta de inversión, la TIR es la tasa de interés i^* que satisface la siguiente ecuación:

$$0 = \text{VPN}(i^*) = \sum \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t} = \sum (B_t - C_t) \frac{1}{(1+i)^t}$$

Donde: $\text{VPN}(i)$ = valor presente neto a una tasa de interés i ; B_t = beneficios totales en el año t ; C_t = costos totales en el año t ; t = tiempo en años, toma valores que van desde $t = 0$ hasta $t = n$ (número de periodos de vida económica del proyecto).

Valor actual neto (VAN): es el valor actual o presente de los flujos de efectivo netos de un proyecto de inversión, entendiéndose por flujos de efectivo netos, la diferencia entre el valor actual de las entradas de caja de un proyecto y el valor actual de las salidas (FIRA, 1993). A través, del VAN fue posible determinar si el proyecto es aceptable o no. Se calculó el valor presente neto a través de la siguiente ecuación:

$$\text{VAN}(i) = \sum (B_t - C_t) \frac{1}{(1+i)^t}$$

Donde: B_t = beneficios totales en el año t ; C_t = costos totales en el año t ; t = tiempo en años, toma valores que van desde $t = 0$ hasta $t = n$ (número de periodos de vida económica del proyecto); i = tasa de descuento que representa a la tasa mínima requerida de rendimiento.

$\frac{1}{(1+i)^t}$ = Factor de valor presente pago único.

Punto de equilibrio (PE): es el nivel de producción en porcentaje o unidades de producción que existe cuando los costos y los ingresos se equiparan; en este punto la empresa no experimenta pérdidas ni tampoco utilidades (Martínez *et al.*, 2015). Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{PE} = \frac{\text{CF}}{\text{P} - \text{CV}}$$

Donde: PE = punto de equilibrio; CF = costos fijos; P = precio unitario; CV = costos variables unitarios.

Resultados

Indicadores económicos de la matriz de análisis de política

En el Cuadro 2 se presentan los indicadores económicos por hectárea de la fase agrícola en las dos regiones de estudio, de acuerdo a esta información, la productividad de granos de moringa fue mayor en Yucatán debido a mejores condiciones de suelo y temperatura para esta especie, mientras

que en Chiapas fue menor la productividad debido a que el tipo de suelo y las altas precipitaciones permitieron rendimientos menores en comparación con Yucatán. El ingreso monetario proveniente de la venta de grano y follaje seco en los dos sitios de estudio resultó favorable ya que se recuperaron los costos de producción y generó una ganancia neta considerable y atractiva en ambos casos: la bondad del cultivo quedó demostrada con los resultados del indicador relación beneficio/costo superior a seis. La competitividad del sistema de producción de moringa fue elevada.

Cuadro 2. Indicadores económicos del cultivo de moringa en los estados de Yucatán y Chiapas.

Indicador	Soconusco, Chiapas	Uxmal, Yucatán
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	1 160	2 000
Rendimiento de hoja (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	456	456
Ingresos totales (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	91 097	105 725
Costos totales (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	14 154	16 901
Ganancia neta (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	76 943	88 824
Relación beneficio/costo	6.44	6.26
Relación de costo privado	0.09	0.11

En cuanto al indicador relación de costo privado, en Chiapas se obtuvo una competitividad (RCP) de 0.09, lo que indica que el valor agregado alcanzó para cubrir los factores de producción y al productor le quedó una ganancia neta, en Yucatán este indicador fue de 0.11 debido a mayores costos de producción, en términos generales estos niveles de RCP mostraron la alta competitividad de la producción de moringa en ambos sitios, lo que significa derrama económica y aporte significativo al producto interno bruto (PIB) regional.

Análisis integral de la rentabilidad

Desde la perspectiva integral de evaluación, tanto de la producción de materia prima como su transformación en biodiesel, los resultados obtenidos para el sector agrícola fueron satisfactorios. En el Cuadro 3 se observa que el costo unitario de producción de grano de moringa fue influenciado por la productividad, de modo que para Chiapas se obtuvo un costo de producción de \$8.92 por kg de grano seco y en Yucatán el costo fue de \$4.48, la diferencia se debe al mayor rendimiento obtenido en Yucatán, la hoja seca de Moringa en el estado de Chiapas costó \$28.93 el kg, mientras que en Yucatán \$26.90. El punto de equilibrio resultó bajo debido a la alta rentabilidad del sistema de producción, lo que confirma la bondad del proyecto para los productores agrícolas.

Cuadro 3. Indicadores financieros de la fase agrícola del proyecto de producción de biodiesel con grano de Moringa en Chiapas y Yucatán.

Indicador	Soconusco, Chiapas	Uxmal, Yucatán
Costo de producción moringa (\$ kg ⁻¹)	8.92	4.48
Costo de producción hoja (\$ kg ⁻¹)	28.93	26.90
Punto de equilibrio (%)	6.85	4.28
TIR (%)	109.03	130.37
TRC (Años)	2.28	2.12
Valor actual neto (miles \$)	2 435 165.72	1 508 724.88

El proyecto resultó altamente rentable para los productores agrícolas de ambos sitios estudiados, lo que concuerda con los resultados de la matriz de análisis de política. En el caso de la TIR ésta fue de 109.03% y 130.37% para Chiapas y Yucatán respectivamente, cuyo nivel fue muy superior al costo de oportunidad del capital; esta situación se confirma con el punto de equilibrio que fue de 6.85% y 4.28% para Chiapas y Yucatán respectivamente y el tiempo de recuperación del capital (TRC) fue un poco mayor de dos años. El valor actual neto fue mayor que cero.

En el Cuadro 4 se observa que los indicadores financieros para la fase industrial resultaron en términos generales favorables, aunque en un nivel no tan alto como para la fase agrícola. El costo de producción de un litro de biodiesel con granos de moringa fue de \$8.25 para el caso de Chiapas y prácticamente igual en el caso de Yucatán, mientras que el punto de equilibrio fue de prácticamente 5% para ambos sitios. La tasa interna de retorno fue mejor en Yucatán con 53.33%, mientras que en Chiapas fue de 37.94% con un tiempo de recuperación de capital (TRC) de 3 años en promedio. El valor actual neto fue mayor que cero.

Cuadro 4. Indicadores financieros de la fase industrial de producción de biodiesel con granos de moringa en Chiapas y Yucatán, México.

Indicador	Soconusco, Chiapas	Uxmal, Yucatán
Costo de producción del biodiesel (\$ L ⁻¹)	8.25	8.29
Punto de equilibrio (%)	4.97	5
TIR (%)	37.94	53.33
TRC (años)	3.44	2.58
Valor actual neto (miles \$)	92 322.95	128 684.78

Análisis de sensibilidad de la TIR

Con relación al comportamiento de la TIR tanto para la agricultura como para la industria ante posibles variaciones de los precios de la moringa como materia prima para la producción de biodiesel se observó que existe una relación directa entre la TIR del sector agrícola y el precio de venta del grano; es decir, si los precios de venta del grano de moringa se incrementan, la TIR agrícola también se incrementa y viceversa, por lo tanto a los productores agrícolas les conviene que se incremente el precio de venta del grano ya que se incrementarían sus ganancias y por lo tanto su rentabilidad. En cambio, la TIR del sector industrial presentó una relación inversa con el precio de la moringa; es decir, ante incrementos de precios de la moringa, la TIR en la industria disminuye y viceversa, esto quiere decir que a los industriales que transforman la materia prima de la moringa en biodiesel les conviene que los precios de la moringa sean bajos, porque ello contribuye a sus ganancias y rentabilidad.

Para el caso de la zona de estudio de Soconusco, Chiapas, se observó que la rentabilidad de la fase agrícola soportó posibles bajas del precio obteniéndose tasas de retorno por encima de 100%, en tanto que en la fase industrial se ve altamente favorecida cuando el precio de la materia prima disminuye, pero el aumento de la misma a partir de 15% afecta la rentabilidad de este sector, lo que sitúa a esta fase en una condición de vulnerabilidad. En la Figura 6 se refiere este comportamiento.

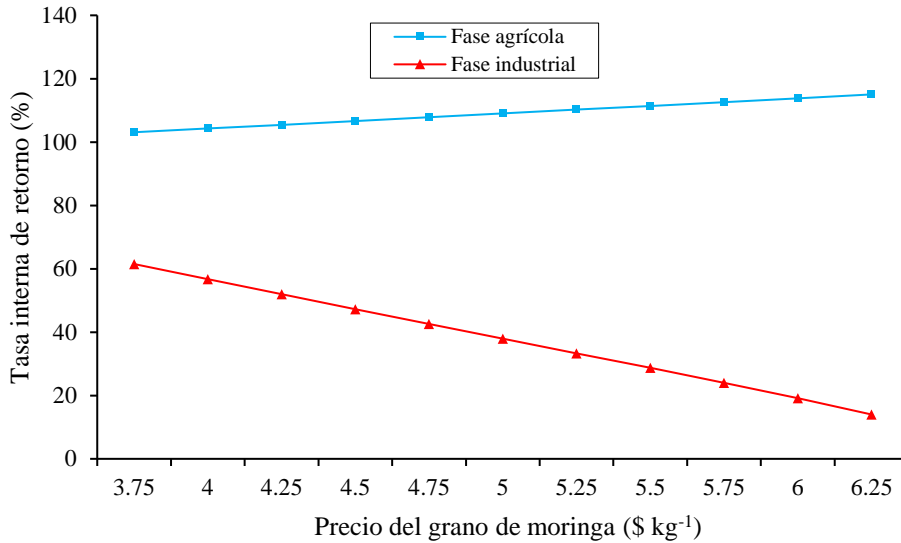


Figura 6. Comportamiento de la tasa interna de retorno agrícola e industrial ante cambios de precio de la materia prima para biodiesel. Caso Chiapas.

Para el caso de la zona de estudio Uxmal, Yucatán, se observó que, debido a las buenas condiciones agroecológicas para la producción de granos de moringa, el proyecto puede soportar disminuciones considerables en el precio de venta de la materia prima, lo cual sitúa a los productores agrícolas en una situación favorable para poder negociar con el sector industrial el precio de venta. Aunque el precio de venta disminuya 25% la TIR sigue siendo favorable. Situación contraria se observó en el sector industrial, ya que la TIR es muy sensible al cambio de precios del grano de moringa. Si el precio aumenta 25% la TIR disminuye a niveles por debajo de 20%, por lo que se puede decir que la rentabilidad de fase industrial es más vulnerable ante posibles aumentos del precio de la materia prima y los industriales tendrían que negociar con los agricultores precios acordes de tal manera que los dos sectores obtengan ganancias. En la Figura 7 se observa el comportamiento de estos indicadores.

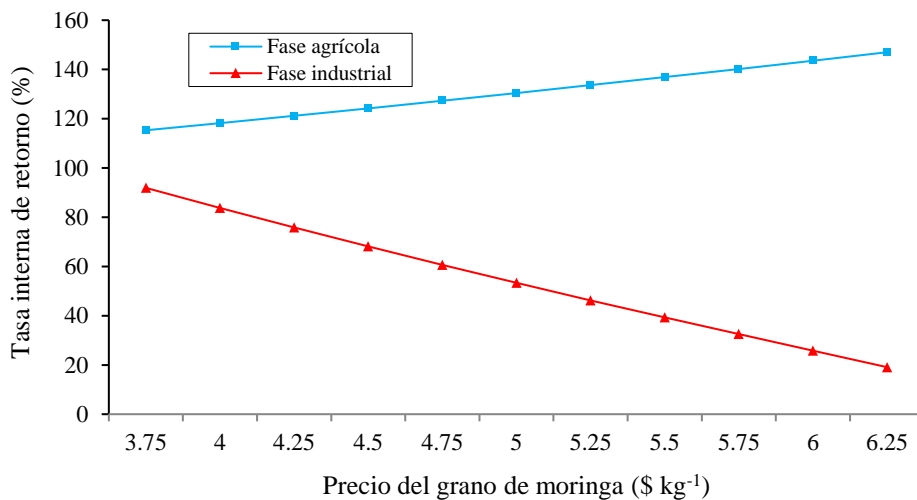


Figura 7. Comportamiento de la tasa interna de retorno agrícola e industrial ante cambios de precio de la materia prima para biodiesel. Caso Yucatán.

Conclusiones

De acuerdo con este estudio, el cultivo de moringa en los estados de Chiapas y Yucatán resultó una actividad rentable y competitiva para el productor primario, esto debido a que es potencialmente generadora de valor agregado, lo que implica que podría desencadenar derrama económica en el sector rural y por consiguiente con aportación significativa al producto interno bruto agrícola, además de implicar ganancias netas para el productor. En Yucatán las condiciones agroecológicas permitieron obtener mejores resultados de producción y por lo tanto económicos, lo que implicó mayor beneficio para el productor a través de sus ingresos con relación a Chiapas. La mayor proporción del ingreso monetario por el cultivo de moringa proviene del aprovechamiento del follaje debido al alto precio por sus propiedades alimenticias, se prevé un potencial de mercado importante de este coproducto.

La fase industrial que consiste en transformar los granos de moringa en biodiesel resultó rentable, pero se situó en una condición de vulnerabilidad ante posibles aumentos del precio de la materia prima; es decir, los industriales no estarían en condiciones de soportar aumentos en el precio del grano. Se requiere un proceso de negociación del precio de venta de la materia prima para que ambos sectores obtengan ganancias. El costo de producción de biodiesel resultó 41% menor que el precio actual al consumidor del diésel convencional. Bajo los parámetros técnicos y económicos considerados en este estudio, para abastecer una planta con capacidad de 20 000 litros de biodiesel por día, se requiere una superficie de 7 830 ha plantadas con Moringa en Yucatán y 13 500 ha en Chiapas.

Literatura citada

- Collymore, R. A.; Arencibia, J. R.; Blanco, G. A. y Araujo, R. J. 2008. Producción científica mundial sobre biodiesel La Habana. Rev. Cubana de Información en Ciencias de la Salud. 18(5):19-29.
- Da Silva, J. A.; Pérez, R.; Chávez, B. M.; Carvalho, E. J. y Schuetz, G. 2009. Sistema biodiesel-FAO. Manual de ayuda. Software para Windows. Universidad Federal de Viscosa, Brasil y Coordinación FAO/Oficina Regional de Chile. 129 p.
- FIRA. 1993. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Banco de México criterios actuales en el análisis financiero. Boletín informativo XXV. Núm. 249.
- Gamboa, C. 2009. Biocombustibles. Estudio teórico conceptual, iniciativas presentadas en la LX Legislatura, derecho comparado y opiniones especializadas. Dirección de servicios de investigación y análisis. Subdirección de política interior. 60 p.
- García, A. G.; Martínez, R. K. y Rodríguez, I. A. 2013. Evaluación de los usos potenciales del Teberinto (*Moringa oleifera*) como generador de materia prima para la industria química. Tesis de Ingeniería Química. Universidad De El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos. 204 p.
- Gómez D. 2007. Alternativas para la medición de impactos de los desastres naturales. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. Rev. Territorios núm. 16-17. 33 p.
- Hazell, P. y Pachauri, R. K. 2006. Bioenergía y agricultura: promesas y retos. Instituto Internacional de Investigación sobre políticas alimentarias. 28 p.
- Huerta, R. D.; Garza, B. L.; Vega, V. D. y Omaña, S. J. 2010. La producción de biodiesel en el estado de Chiapas. Rev. Mex. Econ. Agríc. Rec. Nat. 3(2):20-32.

- Islas, S. J. y Martínez, J. A. 2009. La bioenergía: oportunidades y retos tecnológicos. Coordinación de planeación estratégica. Departamento de sistemas energéticos. Instituto de Energías Renovables. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ideas CONCYTEG. 4(54):13- 24.
- Madrigal, H. L y Avalos, T. C. 2015. *Moringa oleifera*. Diario digital italiano en Santo Domingo, Recuperado en www.corrierecaraibi.com/pdf/estudios-sobre-la-moringa-oleifera.pdf.
- Martín, C.; Martín, G.; García, A.; Fernández, T.; Hernández, E. y Puls, J. 2013. Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. Rev. Pastos y Forrajes. 36(2):137-149.
- Martínez, M. I.; Val, A. D.; Tzintzun, R. R.; Conejo, N. J. y Tena, M. M. 2015. Competitividad privada, costos de producción y análisis del punto de equilibrio de unidades representativas de producción porcina. Rev. Mex. Cienc. Pec. 6(2):193-205.
- Monke, E. A. and Pearson, S. R. 1989. The policy analysis matrix for agricultural development. Baltimore:Johns Hopkins University Press. 50 p.
- Morris, M. L. 1990. Determinación de la ventaja comparativa mediante el análisis del CRI: pautas establecidas a partir de la experiencia del CIMMYT. Monografía en economía. núm. 1, México, DF. 43p.
- Muñoz, B. P. 2013. Estudio técnico económico de una planta de producción de Biodiesel. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Departamento de Sistemas Energéticos, Madrid, España. 7 p.
- Olson, M. y Fahey, J. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. Rev. Mex. Biod. 82(4):1071-1082.
- Padilla, B. L. E. 1992. Evaluación de los efectos de la política económica y análisis de las ventajas comparativas del sector agrícola en Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Economía- Colegio de Posgraduados, Montecillo Estado de México. 35-60 p.
- Pardo, M. 2007. El impacto social del cambio climático. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ciencia Política y Sociología. 15 p.
- Pérez, A. R.; De la Cruz, B. J. O.; Vázquez, G. E. y Obregón, J. F. 2010. *Moringa oleifera*, una alternativa forrajera para Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa. 29 p.
- Pérez, A.; Sánchez, T.; Armengol, N. y Reyes, F. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. Rev. Pastos y Forrajes. 33(4):16-23.
- Posada, J. A. y Cardona, C. A. 2010. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel. Universidad Bogotá. Rev. Ing. 9-27 p.
- Puente, G. A. 1995. Indicadores económicos de la producción de trigo en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México, DF. Publicación especial núm. 7. 39 p.
- Ramos, A. J.; Cortés, G. J. y Cabrales, M. N. 2010. Biodiesel a partir de bioetanol y aceite de palma. Estudio tecnoeconómico. Revista de Ingeniería DYNA. Medellín. 77(164):264-273.
- Rico, P. H.; Tapia, V. L.; Teniente, O. R.; González, A. A.; Hernández, M. M.; Solís, B. J. y Zamarripa C. A. 2011. Guía para cultivar higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Campo Experimental Valle de Apatzingán, México. Folleto técnico núm. 1. 43 p.
- Rodríguez, H. R.; Cadena, I. P.; Morales, G. M.; Jácome, M. S.; Góngora, G. S.; Bravo, M. E. y Contreras, I. J. R. 2013. Competitividad de las unidades de producción rural en Santo Domingo Teojomulco y San Jacinto Tlacotepec, Sierra Sur, Oaxaca, México. Rev. Agric. Soc. Des. 10(1):11-126.

- Salcedo, B. S. 2007. Competitividad de la agricultura en América Latina, matriz de análisis de política. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 98 p.
- Sepúlveda, I. 2012. Bioturbosina. Producción de cultivos energéticos para la aviación comercial. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3(3):579-594.
- Zamarripa, C. A.; Ruíz, C. P.; Solís, B. J.; Martínez, H. J.; Olivera, A. y Martínez, V. B. 2009. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Tuxtla Chico. Folleto técnico núm. 12. 27 p.