# PRODUCCIÓN DE BIODIESEL DERIVADO DE LA JATROPHA: UN ESTUDIO DE COMPETITIVIDAD EN EL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO

# BIODIESEL PRODUCTION DERIVED FROM JATROPHA: A STUDY OF COMPETITIVENESS IN THE STATE OF CHIAPAS, MEXICO

**Enrique Avila-Soler[1], José Alberto García-Salazar[1]*, Esteban Valtierra-Pacheco[2], Roberto García-Mata[1] y Gabriela Hoyos-Fernández[1]**

Colegio de Postgraduados, [1]Programa de Economía, [2]Programa de Desarrollo Rural, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

**Autor para correspondencia* (jsalazar@colpos.mx)

## RESUMEN

**En el año 2010 se inauguraron dos plantas productoras de biodiesel a partir de jatropha *(Jatropha curcas* L.*)* en el estado de Chiapas, México, las cuales fueron apoyadas por el Programa Estatal de Desarrollo de Biocombustibles. La metodología Matriz de Análisis de Política se aplicó en un horizonte de tiempo de 20 años para determinar si la producción de biodiesel a partir de la jatropha a nivel estado es competitiva y tiene ventajas comparativas. Los resultados indican que la producción de biodiesel sería beneficiosa con una rentabilidad promedio anual de 3,249,387 pesos mexicanos. El costo de los recursos internos fue de 0.25, lo que indica que la agroindustria productora de biodiesel a partir de la jatropha es eficiente y cuenta con ventajas comparativas. La relación beneficio-costo de la inversión resultó 4.08, lo que indica una alta rentabilidad. La producción de biodiesel obtenido a partir de la jatropha en la región de estudio es rentable; por lo tanto, se recomienda la implementación de acciones y estrategias que promuevan el crecimiento de esta actividad en el estado de Chiapas.**

**Palabras clave:** Biodiesel, *Jatropha curcas*, *competitividad, ventaja comparativa, matriz de análisis de política.*

## SUMMARY

**In 2010, two factories for producing biodiesel from jatropha (*Jatropha curcas* L.) were inaugurated in the state of Chiapas, which were supported by the State Biofuel Development Program. The Policy Analysis Matrix methodology was applied in a time horizon of 20 years to determine whether the production of biodiesel from jatropha at the state level is competitive and has comparative advantages. Results indicate that biodiesel production would be beneficial with an average annual profit of 3,249,387 Mexican pesos. The cost of internal resources was 0.25, indicating that the agribusiness producing biodiesel from jatropha is efficient and has comparative advantages. The benefit-cost ratio of the investment was 4.08, which indicates high profitability. Production of biodiesel from jatropha in the study region is profitable; therefore, the implementation of actions and strategies to promote the growth of this activity in the state of Chiapas is recommended.**

**Index words:** Biodiesel, *Jatropha curcas*, competitiveness, comparative advantage, policy analysis matrix.

## INTRODUCCIÓN

En 2004, la producción de petróleo en México alcanzó su máximo con 3.43 millones de barriles por día, y a partir de esta fecha ha disminuido a 1.73 millones de barriles en 2017 (Caballero, 2017). Las causas de la reducción en la extracción de petróleo fueron la disminución en las reservas probadas y la caída de los precios internacionales del crudo, que pasaron de 115 dólares en marzo de 2012 hasta 19 dólares en enero de 2016; el precio en junio de 2018 fue de 64 dólares por barril (BANXICO, 2018). Lo anterior representa una oportunidad para generar fuentes de energía alterna; por ejemplo, los biocombustibles, que contribuyan de manera conjunta con las seis refinerías de Petróleos Mexicanos (PEMEX). Se estima que en 2029 la demanda de diésel para el transporte será de 614.6 miles de barriles de petróleo de crudo equivalente (SENER, 2015).

El uso desmedido de combustibles fósiles trae como consecuencia cambios climáticos como el aumento de la temperatura, sequías e inundaciones, lo cual afecta al sector agrícola de México. En 2005, las pérdidas económicas derivadas de fenómenos climáticos fueron superiores a 200 mil millones de dólares en el mundo (IPCC, 2011). Ante tal contingencia, el gobierno mexicano decretó en febrero de 2008 la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos que promueve la investigación y desarrollo de fuentes alternas de energía (H. Congreso de la Unión, 2008).

La jatropha (*Jatropha curcas* L.), conocida como piñón, es una planta que crece en climas tropicales y semi-tropicales, en altitudes de 5 a 1,500 metros sobre el nivel del mar. Llega a medir de 1 a 8 m de altura en suelos arenosos, y es resistente a la sequía (Lazcano, 2006). Se espera que la jatropha proporcione 19 % del aceite que se requerirá para la producción mundial de biodiesel en 2020 (Urías *et al.*, 2015), lo que significa que 20 millones de toneladas de

**Recibido:** 14 de febrero de 2017
**Aceptado:** 5 de septiembre de 2018

aceite de jatropha deberán ser producidas cada año, lo que requerirá al menos 15 millones de hectáreas.

Existen plantaciones de jatropha en Chiapas, Puebla, Sinaloa, Yucatán, Veracruz, Morelos y Oaxaca. Chiapas inició la producción de jatropha en 2007 y la industrialización de ésta en 2010 con una planta de extracción de aceite y dos plantas productoras de biodiesel adquiridas con apoyo del Programa Estatal Piloto de Desarrollo de Biocombustibles (Caballero, 2013, Com. Pers.)[1]. El propósito de la transformación era obtener biodiesel para contribuir a aliviar el déficit de diésel para el transporte público.

Las estimaciones sobre la superficie potencial para el cultivo de jatropha varían; Aguilar *et al.* (2014) indican que en Chiapas existen de 1.27 a 1.53 millones de hectáreas de tierras aptas para sembrar jatropha, el Gobierno del estado de Chiapas (INER, 2014) señala que el potencial es de 1.2 millones de hectáreas; en cambio, el investigador líder del INIFAP en el estudio de jatropha en Chiapas considera que el potencial es de 230 mil hectáreas (Zamarripa *et al.*, 2009).

Existen dos tipos de jatropha*,* la no tóxica y la tóxica, y se diferencian por el contenido de esteres de forbol. La primera se utiliza en la elaboración de alimentos y la segunda se utiliza para cercos vivos o como veneno por su contenido de esteres de forbol (Makkar *et al.*, 1998). Los análisis realizados validan la toxicidad de la jatropha (Zamarripa *et al.*, 2009) y se señala que las toxinas encontradas limitan el consumo animal y humano (Auven-Guette *et al.*, 1997). Knothe (2010) señala que los derivados de la jatropha son glicerina, torta, metanol y biodiesel.

El rendimiento de semilla seca por hectárea en la región de estudio es de 5 t $ha^{-1}$ en el quinto año de producción, y Ramírez (2008) señala que éste podría llegar hasta 12.5 t $ha^{-1}$. La transformación de jatropha en Chiapas se realiza en el Instituto de Energías Alternas del Estado (INER-Chiapas), por la empresa Biodiesel Chiapas, propiedad del gobierno del estado. El proceso de producción consta de tres etapas. En la etapa 1 se realiza la extracción de aceite de la semilla de jatropha; de una tonelada de semilla se obtienen 374 kg de pulpa y desperdicios (torta). Gowda *et al.* (2009) y Jiménez *et al.* (2012) estiman que esta última contiene entre 20 y 50 % de proteína. La etapa 2 es la transesterificación y por una tonelada de biodiesel se generan 160 L de metanol residual y 210 de glicerina. La etapa 3 es la producción del biodiesel, donde se ha obtenido, en un proyecto piloto en el estado de Morelos, un rendimiento de 500 L de aceite por tonelada de semilla y de los cuales se obtienen 487 L de biodiesel (Martínez, 2007). Sánchez (2015; Com. Pers.)[2] informa que los rendimientos de biodiesel pueden variar entre 0.4 y 0.6 L de biodiesel de un kilogramo de semilla. También se obtiene una torta de residuos que representan el 50 % del peso de la semilla y puede utilizarse para alimentación del ganado.

El biodiesel tiene las siguientes ventajas con respecto al diésel de petróleo: no altera el equipo de mantenimiento, no es tóxico, reduce los contaminantes de escape, elimina la irritabilidad en piel y ojos, no se necesitan convertidores, no altera el torque, mejora la lubricación, no contiene azufre, es biodegradable, reduce las emisiones de $CO_2$ y el rendimiento es similar (Ugolini, 2000).

Las normas de calidad aplicadas al biodiesel de Chiapas se establecen en la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, la Aclaración a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-590-SCFI-2009 (SE, 2009) y también son aplicables los estándares internacionales como la norma europea EN 14214/07, la estadounidense ASTM D-6751-08 y la ISO 1215, enfocadas a la preparación de mezclas y aditivos petrolíferos. El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y PEMEX Refinación (PR) validaron el cumplimiento de la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 con resultados positivos (Zamarripa, 2011).

El negocio de jatropha está siendo impulsado por la industria aeronáutica. Airbus señala que la bioturbosina de jatropha reduce entre 50 y 80 % las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con la turbosina derivada del petróleo; la empresa prevé que 15 % de toda la turbosina sea bioturbosina hacia 2020 (Smilovitz, 2012; Com. Pers.)[3].

Se señala que la jatropha tiene potencial para la producción de biodiesel en México por lo siguiente: a) se adapta a las condiciones del sur-sureste del país, b) no es usada de manera amplia para consumo humano (Zamarripa *et al.*, 2009) y, c) todas las partes de la jatropha se pueden usar con fines energéticos: el aceite y biodiesel en el motor de combustión interna, la cáscara en la generación de energía térmica, la torta en la producción de biogás y las cenizas como abono (Singh *et al.*, 2008).

[1]**Caballero M. E. A. (2013) P**royectos de Biocombustibles a Pequeña Escala: Caso Colombia. Presentación. Instituto de Energías Renovables del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. https://docplayer.es/735016-Proyectos-de-biocombustibles-a-pequena-escala-caso-colombia.html (Junio 2016).

[2]**Sánchez V. (2015)** Obtienen Biodiesel a partir del Piñón Mexicano. Entrevista a Agencia Informativa CONACYT. 10 de febrero de 2015. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D. F. http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/biotecnologia/797-biodisel-jatropha-curcas (Noviembre 2018).

[3]**Smilovitz E. (2012)** México y los Biocombustibles, ¿qué está haciendo? Alto Nivel. México, D.F. https://www.altonivel.com.mx/empresas/responsabilidad-social/24985-biocombustibles-una-alternativa-al-petroleo/ (Noviembre 2015).

Huerta *et al.* (2010) señalan que la extracción de aceite es rentable y que la utilización de los desechos de la semilla de jatropha sería una fuente adicional de ingresos. Rucoba *et al.* (2013) sostienen que es necesario el aprovechamiento integral de los agro-biocombustibles, y se debe reflexionar sobre la factibilidad social, ambiental y económica de usar espacios sin uso agrícola.

Por la importancia de la producción de biodiesel en México, este estudio tuvo como objetivo medir la rentabilidad y las ventajas comparativas en la agroindustria de la jatropha a 5, 15 y 20 años. Se busca comprobar que la agroindustria de jatropha en Chiapas es rentable con y sin los apoyos del gobierno, y es pertinente porque permitirá determinar la conveniencia de la inversión de los sectores privado y público en proyectos de producción de biodiesel a parir de este cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se usó la matriz de análisis de política (MAP) desarrollada por Monke and Pearson (1989) para medir el impacto de políticas sobre la rentabilidad y uso de los recursos.

### Estructura de la MAP

La MAP está formada por tres filas: 1) presupuesto a precios privados, aquéllos que existen en el mercado; 2) presupuesto a precios económicos, llamados precios sombra, y 3) divergencias que miden los efectos de política. Los precios económicos existirían en caso de no haber políticas de gobierno y permiten calcular la rentabilidad que recibiría el productor de no existir intervención gubernamental. Las columnas cuantifican: a) ingresos (rendimiento × precio), b) costos de los insumos comerciables que se pueden vender entre países, c) costos de los factores internos que no se pueden comercializar entre países; y d) ganancia (Cuadro 1).

De la MAP se pueden derivar los siguientes indicadores: a) el costo de los recursos internos [CRI = G/(E-F)] que es un indicador de eficiencia; b) los coeficientes de protección nominal del producto, de los insumos y de protección efectiva [CPNP = A/E, CPNI = B/F y CPE = (A-B)/(E-F)] que son indicadores de protección del producto, de los insumos y de forma conjunta; c) el subsidio equivalente al productor [ESP = L/A] que mide la intervención del gobierno a través de subsidios; d) la rentabilidad privada [D = A - C] y la relación del costo privado [RCP = C/(A-B)] que son los indicadores de competitividad; e) el valor agregado a precios privados y económicos [VAP = (A-B) y VAE = (E-F)]; f) el consumo intermedio en el ingreso total [RCIP = B/A]; y g) el ingreso agregado en el ingreso total [RVAP = (A-B)/A] (Salcedo, 2007).

También se puede calcular la relación beneficio-costo:

$$RBC = \frac{\sum_{t=1}^{T} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^t}} \qquad 1)$$

donde para el periodo *t:* *RBC* es la relación beneficio-costo; $B_t$ es el beneficio bruto; $C_t$ son los costos y *r* es la tasa de descuento.

### Datos

La MAP requiere información desagregada sobre coeficientes técnicos y precios del producto e insumos. En noviembre de 2015 se aplicó una encuesta a los siguientes expertos en jatropha: representante de INER-Chiapas, responsables de las plantas productoras y extractoras de aceite en Tuxtla Gutiérrez y Tapachula, y presidente de la Unión de Sociedades de Bioenergéticos. La información de campo se procesó en Excel y se elaboraron los siguientes cuadros: coeficientes técnicos, precios de mercado, presupuesto privado, presupuesto económico y precios económicos (Naylor y Gostsch, 2007). La MAP fue construida tomando como base el año 2014.

De la encuesta se obtuvo la siguiente información: coeficientes técnicos (rendimiento y cantidad de insumos por unidad de producto), precios de mercado del producto e insumos comerciables (insumos químicos, equipo y maquinaria), precio de los factores (infraestructura, mantenimiento, administración, mano de obra, transporte y servicios), control y descripción de procesos, derivados de jatropha y demás insumos. El presupuesto privado/

**Cuadro 1. Estructura de la MAP.**

| Concepto | Ingreso | Costos de producción | | Ganancia |
|---|---|---|---|---|
| | | Insumos comerciables | Factores internos | |
| Precios privados | A | B | C | D = A - B - C |
| Precios económicos | E | F | G | H = E - F - G |
| Efectos de política | I = A - E | J = B - F | K = C - G | L = D - H |

económico se obtuvo al multiplicar los coeficientes técnicos por el precio de mercado/económico.

Los precios de los insumos químicos (metano, hidróxido de potasio, ácido fosfórico, material absorbente de remoción) se obtuvieron de Certified Lye (2016), Methanex Corporation (2016), Quiminet (2016) y CODESIN (2013). Algunas cantidades de insumos químicos se obtuvieron de la entrevista y los faltantes de Aguilar *et al.* (2014) y CODESIN (2013).

Los precios privados de agua, gas, electricidad, biodiesel, glicerina, torta, aceite de jatropha y metanol residual se obtuvieron de las entrevistas y de Aguilar *et al.* (2014). Los precios económicos de los insumos mencionados fueron estimados de acuerdo con los procedimientos que contempla la metodología. La inversión inicial de maquinaria y equipo y la información sobre factores internos (infraestructura, administración, mantenimiento, mano de obra, transporte, servicios contratados y otros servicios) se obtuvo de las encuestas y entrevistas de campo.

El costo de transporte y seguro del punto de internación en México a la zona industrial en Chiapas provino de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT, 2016). La conversión dólar-peso utilizó un tipo de cambio de 19.00 pesos mexicanos por dólar, y se consideró una subvaluación de 15 % (BANXICO, 2016). La tasa real del descuento aplicada fue del 5 % a los dos presupuestos.

Para analizar la rentabilidad a corto, mediano y largo plazo se construyeron tres matrices que consideran horizontes de planeación a 5, 15 y 20 años. La elaboración de tres matrices se justifica porque la jatropha es un cultivo perenne con diferente rendimiento en el tiempo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rentabilidad privada y económica

La ganancia promedio anual fue de 717, 2219 y 3249 miles de pesos para la producción de 5, 15 y 20 años (Cuadro 2), lo cual indica que los ingresos cubrieron los costos totales de producción; es decir, la actividad es rentable y competitiva. En el escenario 1 se obtuvo un ingreso menor, en relación con los escenarios 2 y 3, ya que en éste se tuvo que realizar la inversión inicial en la planta. El aumento de la rentabilidad se debe a que la producción alcanza un mayor rendimiento y la inversión inicial se amortiza en un periodo mayor.

La rentabilidad a precios económicos mide la eficiencia del proceso de producción, si es positiva mide las ganancias que obtendría el productor de no existir intervención gubernamental, si es negativa indica que los recursos están siendo utilizados de manera ineficiente. La ganancia económica promedio anual fue 351, 985 y 1,429 miles de pesos cuando la producción es a 5, 15 y 20 años (Cuadro 2). Las condiciones del precio internacional del producto e insumos comerciales y la volatilidad del tipo de cambio, explican la variación en la ganancia. El ingreso incluyó los derivados de jatropha como la glicerina (Charpantier y Mora, 1999) y los resultados son similares a los de Crispin *et al.* (2010) quiénes reportan para Perú una rentabilidad mayor cuando se considera el ingreso de productos derivados.

La tercera fila de la MAP cuantifica las transferencias que los productores realizan con el resto de la economía. Si son positivas/negativas en la columna de ingresos indica que el productor recibió/transfirió recursos a la economía a través del precio del producto. Si son positivos/negativos en la columna de costos de insumos comerciables indica que el productor transfirió/recibió recursos a través del precio de pagado por estos insumos. Las transferencias a través de los ingresos fueron 920,1539 y 2218 miles de pesos, en los escenarios 1, 2 y 3, lo que indica que los productores recibieron subsidios a través del precio del producto.

Los resultados obtenidos en el presente estudio no concuerdan con los de otros autores (Amador y Arjona, 2009; IICA, 2010; Riegelhaupt *et al.*, 2016) que consideran que la producción de biocombustibles sólo puede ser competitiva con los subsidios otorgados por programas gubernamentales al precio final. Los resultados aquí presentados muestran que la producción de biodiesel derivado de la jatropha en Chiapas podría ser competitiva, aun sin el subsidio gubernamental. Esto en parte puede deberse al nivel de productividad en esa entidad, al nivel de precios de los combustibles fósiles, a las diferencias de tiempo analizado y al valor de los subproductos, como la torta resultante después de extraído el aceite (Crispin *et al.*, 2010), incluso la competitividad de la producción de biodiesel de jatropha debe considerar la competencia de la producción de biodiesel a partir de otros aceites como el de soya (*Glycine max*), higuerilla (*Ricinus communis*) y palma de aceite (E*laeis guineensis*).

Por la compra de insumos comerciables los productores transfirieron 523, 255 y 364 miles de pesos (escenarios 1, 2 y 3). Las transferencias totales se cuantifican en la columna de ganancias y fueron positivas por 365, 1234 y 1821 miles de pesos (Cuadro 2), lo que indica que la producción de biodiesel tiene resultados positivos, tanto a precios privados como a precios económicos.

**Cuadro 2. MAP de la producción de biodiesel en Chiapas. Cifras promedio en pesos mexicanos por año.**

| Concepto | Ingreso Total | Costo de producción | | Ganancia |
|---|---|---|---|---|
| | | Insumos comerciables | Factores internos | |
| Escenario 1. Producción a 5 años | | | | |
| Precios privados | 1,878,580 | 674,160 | 487,824 | 716,595 |
| Precios económicos | 957,713 | 150,773 | 455,954 | 350,985 |
| Efectos de política | 920,867 | 523,387 | 31,870 | 365,611 |
| Escenario 2. Producción a 15 años | | | | |
| Precios privados | 3,212,461 | 473,500 | 519,844 | 2,219,116 |
| Precios económicos | 1,673,743 | 218,246 | 470,207 | 985,291 |
| Efectos de política | 1,538,717 | 255,254 | 49,637 | 1,233,826 |
| Escenario 3. Producción a 20 años | | | | |
| Precios privados | 4,311,416 | 555,226 | 506,803 | 3,249,387 |
| Precios económicos | 2,093,445 | 191,153 | 464,402 | 1,428,689 |
| Efectos de política | 2,217,972 | 364,073 | 33,201 | 1,820,697 |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la MAP.

### Competitividad y ventajas comparativas

La relación de costo privado (RCP) indica el grado de eficiencia o ineficiencia que se tiene al producir un bien bajo las condiciones de mercado. Este indicador fue de 0.41, 0.19 y 0.13 en los escenarios 1, 2 y 3, respectivamente, lo que indica que la producción de biodiesel es una actividad eficiente.

El costo de los recursos internos (CRI) es un indicador de ventaja comparativa. Un valor menor/mayor a 1 indica que el costo de los factores internos a precios económicos es menor/mayor a la cantidad de divisas que el país tendría que invertir si decidiera importar el producto generado con recursos internos. Un valor menor a 1.00 indica ventajas comparativas y el país debe optar por producir el producto; en cambio, un valor mayor a 1.00 indica que el producto no tiene ventajas comparativas y se debe importar. Los valores fueron 0.57, 0.32 y 0.25 lo que indica que la actividad cuenta con ventajas comparativas y los recursos usados en la producción del bien son inferiores a las divisas que se gastarían por importar el producto. El valor señala un uso óptimo de los recursos internos.

Los resultados anteriores indican que, a pesar del poco tiempo de estar en producción, la transformación de jatropha en biodiesel se puede obtener a costos bajos en el estado de Chiapas; esto se debe en gran medida a que la jatropha es un cultivo que se produce a bajos costos cuando se combina con maíz (*Zea mays* L.) y cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). El IICA (2010) señala que Argentina tiene un alto potencial para producir biodiesel porque este país produce oleaginosas a costos bajos.

### Coeficientes de protección y subsidios

Los coeficientes de protección (del producto, de los insumos y efectiva) miden el grado de protección y desprotección que recibe el productor vía precios (del producto, insumos comerciales y ambos). El coeficiente de protección nominal del producto (CPNP) superior a la unidad (1.96, 7.92 y 2.06) indica protección, el productor recibió un precio de venta más alto por su producto comparado con el precio internacional. Esto pudo deberse, en parte, a las transferencias de los programas gubernamentales al precio final para fomentar el consumo de biocombustibles. El coeficiente de protección nominal de los insumos (CPNI) mayor a la unidad (4.47, 2.17 y 2.9) indica desprotección, el productor pagó un precio más alto por los insumos, en relación con el precio internacional de éstos. El coeficiente de protección efectiva (CPE) mide de manera conjunta la protección, y un valor mayor a 1.00 indica protección. Esto es lógico porque el subsidio a los insumos implica mecanismos más complejos. Obviamente, hay subsidios que benefician a la agroindustria como el que se otorga a la electricidad, pero tienen un peso bajo en el costo total.

El subsidio equivalente al productor (ESP) mide el nivel de transferencias que recibe el productor al producir un bien. Los resultados indican que 19, 38 y 42 % de los ingresos totales bajo cada tecnología de producción fueron apoyos gubernamentales federales y estatales.

### Relación beneficio-costo (RBC)

El criterio de selección a través de la RBC es aceptar todos los proyectos cuyos resultados sean iguales o mayores que 1.00. Se observan valores de 1.61, 3.21 y 4.08 para los escenarios 1, 2 y 3 que indican que por cada peso invertido el productor obtiene una ganancia de 0.61, 2.21 y 3.08 pesos (Cuadro 3). Estos valores indican que los beneficios son mayores a los costos en los plazos analizados, lo cual significa que la inversión en la industrialización de jatropha para biodiesel puede competir contra otras opciones, lo que resulta atractivo para inversionistas potenciales.

Estos resultados contrastan con los de Huerta *et al*. (2010) que calcularon una RBC de 1.04 en una planta de biodiesel en Chiapas. La diferencia pudo deberse a que este último estudio separó la rentabilidad de las plantas extractora y productora de biodiesel, o bien, a que los estudios se realizaron en años diferentes. A pesar de la baja RBC, Huerta *et al.* (2010) concluyen que la producción de biodiesel trae beneficios para la cadena productiva que aumentarán con una mayor demanda del biodiesel. Los resultados coinciden con los obtenidos por López (2014; Com. Pers.)[4], quien reporta una RBC de 2.17 para la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Cisneros (2016; Com. Pers.)[5] señala que una biorefinería de bioetanol de segunda generación, a partir de desperdicios de caña de azúcar sería factible en México bajo ciertas condiciones.

### Valor agregado

El valor agregado es la contribución de la actividad agroindustrial al ingreso del sector y se obtiene de descontar el consumo intermedio del ingreso total. Una actividad contribuye más al crecimiento de una región cuando más valor agregado genera. A precios privados, el escenario 3 contribuye más a la actividad agroindustrial de la región con 3,756 miles de pesos promedio por año, seguido del escenario 2 con 2,739 mil pesos (Cuadro 3). A precios económicos el escenario 3 genera más valor agregado con 1,902 miles de pesos por año por ser la tecnología más eficiente.

La participación del valor agregado privado en el ingreso total fue de 64, 85 y 87 % en los escenarios 1, 2 y 3, lo que indica que los dos últimos contribuyen más al valor de la producción en la región. El valor agregado es mayor en los dos últimos escenarios debido a que los egresos al inicio del proyecto implican desembolsos mayores para pagar la inversión inicial y van disminuyendo con el tiempo. Esta situación es un cambio significativo con respecto a la transformación de otros productos.

## CONCLUSIONES

Los resultados de una MAP para la producción de biodiesel con horizontes de tiempo de 5, 15 y 20 años permitieron determinar diferencias en los costos de producción

[4] **López Z. G. (2014)** Evaluación con Opciones Reales para la Instalación de una Planta de Bioetanol. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 98 p.

[5] **Cisneros L. M. Á. (2016)** Evaluación Económica con Opciones Reales: Biorefinería de Etanol Combustible de Segunda Generación en Veracruz, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 92 p.

**Cuadro 3. Indicadores derivados de una MAP.**

| Indicador | Producción en años | | |
|---|---|---|---|
| | 5 | 15 | 20 |
| Relación de costo privado (RCP) | 0.41 | 0.19 | 0.13 |
| Costo de los recursos internos (CRI) | 0.57 | 0.32 | 0.25 |
| Coef. de protección nominal del producto (CPNP) | 1.96 | 1.92 | 2.06 |
| Coef. de protección efectiva (CPE) | 1.49 | 1.88 | 1.97 |
| Coef. de protección nominal de los insumos (CPNI) | 4.47 | 2.17 | 2.90 |
| Subsidio equivalente al productor (ESP) | 0.19 | 0.38 | 0.42 |
| Relación beneficio costo (RBC) | 1.61 | 3.21 | 4.08 |
| Valor agregado a precios privados ($) | 1,204,420 | 2,738,960 | 3,756,189 |
| Valor agregado a precios económicos ($) | 806,939 | 1,455,497 | 1,902,291 |
| Valor agregado en el ingreso total (%) | 64 | 85 | 87 |
| Consumo intermedio (%) | 36 | 15 | 13 |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la MAP

e ingreso en términos privados y económicos. Los costos de producción a corto plazo fueron más altos que a mediano y largo plazo porque en la etapa inicial los insumos y factores tienen un costo más elevado por la inversión inicial y el poco tiempo de amortización. A corto plazo el ingreso fue bajo y los productores fueron compensados por los subsidios otorgados a través del precio del producto. En el mediano y largo plazo los ingresos se incrementaron porque la producción se estabilizó y la inversión inicial se amortizó en un mayor número de años. La medición de la rentabilidad en la agroindustria de jatropha bajo diferentes horizontes de tiempo señala que actualmente esta actividad es rentable en Chiapas, lo que indica que el sector privado puede obtener ganancias si considera los apoyos que actualmente proporcionan los gobiernos estatal y federal. Aún en el escenario a corto plazo, los ingresos a precios económicos fueron mayores al costo total y se incrementan a mediano y largo plazo, lo que indica que la actividad es eficiente en usar los recursos internos; aún sin subsidios, la producción de biodiesel derivado de jatropha sería rentable. El costo de los recursos internos resultó menor a la unidad, lo que indica la existencia de ventajas comparativas; es decir, los costos de los recursos internos son menores a las divisas que se gastarían en caso de importar el biodiesel. En el mediano y largo plazo las inversiones en la agroindustria de la jatropha garantizan el retorno del capital invertido más un margen de ganancia. La relación beneficio-costo resultó mayor a 1.00 aún en el escenario a 5 años; esto es un factor que puede ser atractivo para los inversionistas, ya que la agroindustria de biodiesel derivado de la jatropha puede competir con otras alternativas de negocio. Se recomienda que los gobiernos federal y estatal brinden apoyo a la agroindustria de biodiesel derivado de jatropha, cuidando que los apoyos no lleguen a distorsionar significativamente los precios de mercado.

## BIBLIOGRAFÍA


**Aguilar L. E., J. C. Vidal y M. A. Trejo (2014)** Estudio de Pre-factibilidad para el Diseño, Construcción y Puesta en Funcionamiento de una Planta para la Producción Sustentable de Bioqueroseno en el Estado de Chiapas. Aeropuertos y Servicios Auxiliares, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Instituto de Energías Renovables del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 269 p.

**Amador H. L. y J. M. Arjona F. (2009)** Biocombustibles: oportunidades y riesgos de su aplicación. *Revista de Fomento Social* 64:755-791.

**Auven-Guette C., C. Baraguey, A. Blond, J. L. Pousset and B. Bodo (1997)** Cyclogossine B, a cyclic octapeptide from *Jatropha gossypifolia*. *Journal of Natural Products* 60:1155-1157, doi: 10.1021/np970197h

**BANXICO, Banco de México (2016)** Mercado Cambiario (Tipos de Cambio). Banco de México. México, D. F. www.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/index.html (Enero 2016).

**BANXICO, Banco de México (2018)** Precios de la Mezcla Mexicana de Petróleo. Banco de México. Ciudad de México. http://www.banxico.org.mx/politica-monetaria-e-inflacion/estadisticas/graficas-de-coyuntura/produccion-ventas-y-precios/precios-spot-del-petroleo.html (Junio 2018).

**Caballero J. L. (2017)** Producción Petrolera Mexicana, Menguante. El Economista. Ciudad de México. https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Produccion-petrolera-mexicana-menguante-20171114-0036.html (Junio 2018)

**Certified Lye (2016)** High-quality Sodium Hydroxide (NaOH) and Potassium hydroxide (KOH) for making soap. Certified Lye T. M. Spring Valley, CA, USA. http://www.certified-lye.com/ (Enero 2016).

**Charpantier F. y E. Mora (1999)** Aplicación de la metodología matriz de análisis de política (MAP): el caso de la cebolla amarilla en Costa Rica. *In*: Memorias del XI Congreso Nacional Agronómico. Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. San José, Costa Rica. pp:471-481.

**CODESIN, Consejo para el Desarrollo de Sinaloa (2013)** Compendio de Paquetes Tecnológicos para el Establecimiento de la Cadena Agroindustrial de *Jatropha curcas* en el Noroeste de México. Culiacán, Sinaloa. 279 p.

**Crispin M., E. Felix y J. A. Quintero (2010)** Análisis de costos de producción de biocombustible en Perú: una dimensión social. *In*: Bioenergía y Seguridad Alimentaria "BEFS". El Análisis de BEFS para el Perú. Compendio Técnico, Volumen I, Resultados y Conclusiones. E. Felix y C. Rosell (eds.). Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp:97-115.

**Gowda N. K. S., D. T. Pal, S. R. Bellur, U. Bharadwaj, M. Sridhar, M. L. Satyanarayana, C. S. Prasad, K. S. Ramachandra and K. T. Sampath (2009)** Evaluation of castor (*Ricinus communis*) seed cake in the total mixed ration for sheep. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89:216-220, doi: 10.1002/jsfa.3427

**H. Congreso de la Unión (2008)** Ley de promoción y desarrollo de bioenergéticos. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 1 de febrero de 2008.

**Huerta R. D., L. E. Garza B., D. D. Vega V. y J. M. Omaña S. (2010)** La producción de biodiesel en el estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales* 3:77-96.

**IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2010)** Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas: II Biodiesel. Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 346 p.

**INER, Instituto de Energías de Renovables del Estado de Chiapas (2014)** Programa Especial para el Desarrollo de las Energías Renovables del Estado de Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 65 p.

**IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2011)** Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 1075 p.

**Jiménez O. R., R. Cervantes M., J. A. Vallejo V., R. Rosales S. y J. C. Ríos S. (2012)** Perfil de aminoácidos de pastas residuales de piñón tropical (*Jatropha curcas*) e higuerilla (*Ricinus communis*). *Agrofaz* 12:173-176.

**Knothe G. (2010)** Biodiesel and renewable diesel: a comparison. *Progress in Energy and Combustion Science* 36:364-373, doi: 10.1016/j.pecs.2009.11.004

**Lazcano M. I. (2006)** Agricultural aspects and sources for biodiesel production. *In*: Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México. Secretaria de Energía, Banco Interamericano de Desarrollo, Agencia Alemana de Cooperación Técnica. México, D. F. pp:463-483.

**Makkar H. P. S., A. O. Aderibigbe and K. Becker (1998)** Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food Chemistry* 62:207-215, doi: 10.1016/S0308-8146(97)00183-0

**Martínez H. J. (2007)** El Piñón Mexicano: una Alternativa Bioenergética para México. Revista Digital Universitaria 8:1-10. http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art88/dic_art88.pdf (Noviembre 2018).

**Methanex Corporation (2016)** Methanol price. Methanex Corporation. Vancouver, Canada. https://www.methanex.com/ (Enero 2016)

**Monke E. A. and S. R. Pearson (1989)** The Policy Analysis Matrix for Agricultural Development. Cornell University Press. Ithaca, N.Y., USA. 201 p.

**Naylor, R. y C. Gotsch (2007)** Matriz de Análisis de Políticas (MAP): Ejercicios de Computo MS-Excel. Traducido del inglés por S. Salcedo B. San José, Costa Rica. 65 p.

**Quiminet (2016)** Precios de Ácido Fosfórico. QuimiNet.com. Ciudad de México. http://www.quiminet.com/productos/acidofosforico-87160383/precios.htm (Enero 2016).

**Ramírez M. Á. (2008)** Cultivos para la Producción Sostenible de Biocombustibles. Una Alternativa para la Generación de Empleos e Ingresos. Módulo I: Piñón. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV. Tegucigalpa, Honduras. 24 p.

**Riegelhaupt E., J. Odenthal y L. Janeiro (2016)** Diagnóstico de la Situación Actual del Biodiesel en México y Escenarios para su Aprovechamiento. Red Mexicana de Bioenergía. ECOFYS. Utrecht, Netherlands. 122 p.

**Rucoba G. A., A. Munguía G. y F. Sarmiento F. (2013)** Entre la jatropha y la pobreza: reflexiones sobre la producción de agrocombustibles en tierras de temporal en Yucatán. *Estudios Sociales* 21:115-141, doi: 10.24836/es.v21i41.76

**Salcedo B. S. (2007)** Competitividad de la Agricultura en América Latina y el Caribe. Matriz de Análisis de Política: Ejercicios de Cómputo. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 99 p.

**SCT, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2016)** Catálogo de Tarifas. Área Transportes Ferroviarios y Multimodal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Ciudad de México. http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGTFM/CIS/Catalogo_Tarifas.pdf (Noviembre 2018).

**SE, Secretaría de Economía (2009)** Aclaración a la Norma Mexicana NMX-F-590-SCFI-2009. Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Aceite de Jatrofa - Especificaciones. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 7 de diciembre de 2009.

**SENER, Secretaría de Energía (2015)** Perspectivas de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015- 2029. Secretaría de Energía. México, D. F. 198 p.

**Singh R. N., D. K. Vyas, N. S. L. Srivastava and M. Narra (2008)** SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* fruit for energy. *Renewable Energy* 33:1868-1873, doi: 10.1016/j.renene.2007.10.007

**Ugolini J. (2000)** Biodiesel. Estudio para Determinar la Factibilidad Técnica y Económica del Desarrollo del Biodiesel. Vicegobernación de la Provincia de Santa Fe. Santa Fe, Argentina. 25 p.

**Urías U. R. E., J. M. Mendoza G. y E. Meza R. (2015)** La Soberanía Alimentaria de Sinaloa, México y la Apuesta por Jatropha Curcas. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, Nayarit, México. 171 p.

**Zamarripa C. A., P. A. Ruíz C., J. L. Solís B., J. Martínez H., A. Olivera S. y B. Martínez V. (2009)** Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico Núm. 12. Campo Experimental Rosario Izapa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 46 p.

**Zamarripa C. A. (2011)** Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en México. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Tuxtla Chico, Chiapas. México. 39 p.