

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL, PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS
PARA LA PRODUCCIÓN Y USO DE ETANOL EN MÉXICO

ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION, ISSUES AND ALTERNATIVES FOR ETHANOL PRODUCTION
AND USE IN MEXICO

Luis Ramiro García-Chávez¹

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO.
Correo-e: lrgarciachavez@gmail.com

RESUMEN

Mientras que en varios países del mundo la industria de los biocombustibles se desarrolla rápidamente, en México aún no hay claridad sobre la conveniencia de producir y usar etanol y biodiesel como combustible. La volatilidad mundial de los precios del azúcar aunado al elevado costo de los hidrocarburos, justifican la diversificación del aprovechamiento de la caña de azúcar para asegurar la viabilidad económica de la actividad y el desarrollo rural del país. Además, el potencial de los biocombustibles para reducir las emisiones de gases efecto invernadero, contribuye a mejorar la seguridad energética.

En este estudio se analizó la situación actual, la problemática y las alternativas para la producción y el uso del etanol anhidro, con un enfoque principal a las condiciones de México, tomando como referencia la información disponible a nivel internacional. Se analizaron y discutieron los aspectos económicos y de política pública relacionados con la producción de caña de azúcar para la elaboración de etanol anhidro y su incorporación en mezclas con gasolina. Los resultados indicaron que la producción de etanol anhidro en México es económicamente viable y cuenta con un mercado potencial a nivel nacional e internacional. Sin embargo, se requieren acciones concretas para detonar las inversiones en el campo cañero y en los ingenios azucareros. De esta forma se podrá diversificar el aprovechamiento de la caña de azúcar y elevar su productividad y competitividad.

PALABRAS CLAVE: Bioenergéticos, biocombustible, alcoholes, caña de azúcar, ingenio azucarero.

ABSTRACT

While in several countries of the world the biofuels industry is developing rapidly, in Mexico it is still not clear whether it is feasible to produce and use ethanol and biodiesel as fuel. The volatility of world sugar prices coupled with the high cost of hydrocarbons justify the diversification of sugarcane use to ensure the economic viability of the activity and the rural development of the country, plus the potential of biofuels to reduce greenhouse gas emissions helps improve energy security.

In this study the current status, issues and alternatives for the production and use of anhydrous ethanol were analyzed, with the main focus being on the conditions in Mexico, taking as reference information available internationally. Economic and public policy issues related to the production of sugar cane for making anhydrous ethanol and its incorporation into mixtures with gasoline were analyzed and discussed. The results indicated that the production of anhydrous ethanol in Mexico is economically viable and has domestic and international market potential, but it requires concrete actions to stimulate investments in sugarcane fields and sugar mills, diversify the use of sugar cane and increase its productivity and competitiveness.

KEYWORDS: Bioenergy, biofuel, alcohols, sugar cane, sugar mill.

INTRODUCCIÓN

En México, a pesar de la existencia de diversas leyes, programas y estudios como la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (Diario Oficial de la Federación, 01-02-2008), el Programa de Introducción de Bioenergéticos (SENER, 2008), el Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico PROINBIOS 2009-2012 (SAGARPA, 2008), el estudio “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México” (SENER, 2007), además de diversos trabajos sobre el tema, la producción de etanol anhidro es incipiente. En este contexto, sólo dos ingenios azucareros del país contaban con la infraestructura para producir etanol anhidro a finales del 2012 y solo se han construido dos destilerías independientes en el territorio mexicano.

El marco jurídico y regulatorio, así como los lineamientos intersecretariales de política pública son necesarios pero insuficientes para promover y desarrollar la producción y uso de etanol en las gasolinas. Lo anterior se debe principalmente a la falta de acciones concretas como inversiones en infraestructura de riego, caminos y puentes, capacitación de técnicos y productores de caña en temas de preparación de suelos, nutrición y manejo integrado de plagas y enfermedades. Asimismo, es necesario disminuir el costo de producción de la caña, a la vez que se incentiva el desarrollo de variedades para elevar la producción de la misma y la competitividad del sector en su conjunto. Además, los ingenios azucareros necesitan inversiones urgentemente para aumentar y modernizar su capacidad, especialmente para mejorar sus balances energéticos y recuperar más biomasa de la caña.

Por el lado de la demanda, el único organismo facultado para realizar la mezcla de etanol con la gasolina es Petróleos Mexicanos (PEMEX). La paraestatal publicó una licitación en 2009 con el propósito de adquirir etanol anhidro, y mezclarlo con gasolinas, sin embargo, el ganador desistió de la firma del contrato de abastecimiento debido a que el precio ofrecido por PEMEX no era rentable. En 2011, PEMEX lanzó una nueva convocatoria para adquirir etanol y las dos ofertas aceptadas técnicamente, fueron rechazadas en el aspecto económico. El problema en estos fallidos intentos radica fundamentalmente en el precio que PEMEX ha ofrecido pagar por el bioetanol. El precio de compra ofrecido por PEMEX en 2011 fue de \$ 8.20 pesos por litro, un precio por abajo de aquel que estarían dispuestos a vender los oferentes.

Los requerimientos de oxigenantes de PEMEX refinación representan una buena oportunidad para detonar los proyectos de bioetanol en los ingenios azucareros del país, lo cual llevaría a una mayor actividad en el campo cañero, mayores inversiones en las fábricas, más empleo en las zonas rurales y el consecuente ahorro de divisas al dejar de importar metil terbutil éter (MTBE) para la oxigenación de las gasolinas que se distribuyen. Por otra parte, el mer-

INTRODUCTION

In Mexico, despite the existence of various laws, programs and studies such as the Law for the Promotion and Development of Bioenergy (Official Gazette of the Federation, 01-02-2008), the Bioenergy Introduction Program (SENER, 2008), the 2009-2012 Sustainable Production of Inputs for Biofuels and Scientific and Technological Development Program, known as PROINBIOS (SAGARPA, 2008), and the “Potential and Feasibility of Using Bioethanol and Biodiesel for Transportation in Mexico” study (SENER, 2007), as well as several research projects on the subject, the production of anhydrous ethanol is still in its infancy. In this context, only two sugar mills in Mexico had the infrastructure to produce anhydrous ethanol by the end of 2012, and only two independent distilleries had been built.

The legal and regulatory framework and the inter-ministerial public policy guidelines are necessary but insufficient to promote and develop the production and use of ethanol in gasoline. This is mainly due to the lack of concrete actions such as investments in irrigation infrastructure, roads and bridges, and technical training of sugarcane growers on soil preparation, nutrition and integrated pest and disease management aspects. It is also necessary to decrease the cost of sugarcane production, while at the same encouraging the development of sugarcane varieties to increase production and the competitiveness of the sector as a whole. In addition, the sugar mills urgently need investment to increase and upgrade their capacity, particularly to improve their energy balances and recover more biomass from the sugarcane.

On the demand side, the only body authorized to blend ethanol with gasoline is Petróleos Mexicanos (PEMEX). The state-owned company issued a tender in 2009 in order to acquire anhydrous ethanol and mix it with gasoline; however, the winning bidder ended up not signing the supply contract because the price offered by PEMEX was not profitable. In 2011, PEMEX issued a new tender to purchase ethanol. Two offers were technically accepted but rejected on the economic side. The problem in these failed attempts lies mainly in the price PEMEX has offered to pay for bioethanol. The purchase price offered by PEMEX in 2011 was \$ 8.20 pesos per liter, a price below the level at which bidders would be willing to sell.

The oxygenate requirements for PEMEX refining represent a good opportunity to stimulate bioethanol projects in the country's sugar mills, which would lead to increased activity in the sugarcane fields, greater investment in the mills, more jobs in rural areas and the consequent saving of foreign currency by not importing methyl *tert*-butyl ether (MTBE) to oxygenate the gasoline distributed. Moreover, the United States market represents a great opportunity for ethanol produced in Mexico.

For the sugarcane agribusiness in Mexico, the current circumstances in terms of low sugar prices, a surplus of the

cado de los Estados Unidos representa una gran oportunidad para el etanol producido en México.

Para la agroindustria cañera en México, las circunstancias actuales en cuanto a precios bajos del azúcar, el excedente de la misma y la tendencia a la disminución del consumo per cápita del edulcorante, son elementos que obligan a redimensionar la actividad a largo plazo: los excedentes podrían canalizarse para diversificar su aprovechamiento, especialmente para producir etanol combustible.

La modernización tecnológica de la agroindustria de la caña de azúcar en México, implica el cambio de un modelo de aprovechamiento energético tradicional, en donde la eficiencia es de apenas 39 % de la energía contenida en la caña, a un sistema moderno donde la eficiencia se incrementa a 71 % (Cortés-García, 2006).

Para aprovechar esta oportunidad se requiere de una política integral que promueva la producción y uso de etanol en México, en una primera etapa, para sustituir el uso de oxigenantes derivados del petróleo que se importan y una segunda etapa para llevar a cabo mezclas con las gasolinas que sustituyan parte de las importaciones del combustible automotor.

La política integral que se perfile, deberá tomar en cuenta las condiciones particulares de la agroindustria de la caña de azúcar en México, especialmente en lo que se refiere a la producción de esta planta, debido a que la materia prima tiene una participación muy alta en la estructura de costos de la producción del etanol anhidro.

Así, en este trabajo se analiza la situación actual y la problemática de la producción de caña en México, en especial, en lo referente a sus costos de producción y las posibilidades de reducirlos para hacer competitiva esta materia prima como insumo para el etanol. También se analiza la estructura de costos de producción de etanol en Brasil y Estados Unidos de Norteamérica, con la finalidad de tener un referente para las condiciones en las que México se encuentra y finalmente se proponen alternativas para detonar la producción y uso de etanol en México.

SITUACIÓN ACTUAL

Estados Unidos de América (EUA) es el principal productor de etanol en el mundo, para lo cual utiliza como materia prima el maíz, y es también el principal consumidor del biocombustible. Lo anterior le proporciona a México un mercado potencial si los precios relativos son favorables al producto mexicano. Asimismo, Brasil es el referente internacional del precio de etanol a partir de caña de azúcar por su estructura productiva y sus costos de producción.

En México la producción de etanol es incipiente. Se han instalado dos plantas, una dentro del área de influencia del ingenio Adolfo López Mateos en Oaxaca y la otra a

commodity and the downward trend in per capita consumption of the sweetener are elements that require resizing the activity in the long term; the surplus could be channeled to diversify its use, especially to produce ethanol fuel.

Technological modernization of the sugarcane agribusiness in Mexico involves changing from a traditional energy use model, where efficiency is only 39 % of the energy contained in the cane, to a modern system where efficiency increases to 71 % (Cortés-García, 2006).

To take advantage of this opportunity requires a comprehensive policy that promotes ethanol production and use in Mexico. The first step is to replace the use of oil-derived oxygenates that are imported and the second is to blend ethanol with gasoline to reduce imports of automotive fuel.

This comprehensive policy should take into account the particular conditions of the sugarcane agribusiness in Mexico, especially as it relates to the production of this plant, because the raw material accounts for a very high share of the cost of producing anhydrous ethanol.

Thus, this paper analyzes the current situation and issues in sugarcane production in Mexico, particularly in relation to production costs and the potential for reducing them to make this raw material competitive as an input for ethanol. It also analyzes the cost structure of ethanol production in Brazil and the United States, in order to have a reference for the conditions in Mexico. Finally, it proposes alternatives to stimulate ethanol production and use in Mexico.

CURRENT SITUATION

The United States of America (U.S.) is the largest ethanol producer in the world, for which it uses corn as raw material, and it is also the largest consumer of biofuel; for Mexico, then, the U.S. is a potential market if relative prices are favorable to the Mexican product, while Brazil is the international benchmark price of ethanol from sugarcane for its production structure and costs.

In Mexico ethanol production is still in its infancy; two plants, one within the area of influence of the Adolfo López Mateos sugar mill in Oaxaca and the other a few miles from the El Potrero sugar mill in Veracruz, have been built. Two sugar mills are equipped with facilities for dehydrating ethyl alcohol and producing ethanol (La Gloria and Saint Nicolás sugar mills, both in Veracruz). Moreover, there are plans to build three more ethanol plants, one in southern Veracruz in Estación Juanita in the municipality of San Juan Evangelista, the second on the Jalisco coast in the municipality of Tomatlán and the third that is driving the development of 15,000 hectares of sugarcane in the municipality of González, Tamaulipas. There are other projects in development for the production of bioethanol from other inputs such as grain sorghum and agave; in addition, a plant built in Sinaloa

unos pocos kilómetros del ingenio El Potrero, en Veracruz. Solo dos ingenios azucareros cuentan con instalaciones necesarias para producir etanol (Ingenio La Gloria y San Nicolás, ambos en Veracruz). Por otra parte, existen tres proyectos para la instalación de plantas de etanol. El primero se desarrolla al Sur de Veracruz, en el municipio de San Juan Evangelista estación Juanita, el segundo en la Costa de Jalisco, en el municipio de Tomatlán, y el tercero que impulsa el desarrollo de 15 mil hectáreas de caña de azúcar en el municipio de González, Tamaulipas. Existen otros proyectos en desarrollo para la producción de bioetanol a partir de otros insumos como sorgo en grano y agave; además de que en Sinaloa se instaló una planta de etanol a partir de maíz la cual no ha operado debido a que la legislación vigente limita el uso de maíz para la producción de etanol en México (Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, DOF 01-02-2008).

En el análisis de costos de producción de etanol en México a partir de caña de azúcar, se utilizó como referente los costos de producción de Brasil (Xavier *et al.*, 2009), y los costos de producción de Estados Unidos (F.O. Licht, 2007), así como los estimados de costos de producción de etanol para las condiciones de México (SEDER, 2009).

2.1 Análisis de la estructura de costos de producción de etanol en Estados Unidos de América, Brasil y México

El costo de la producción del etanol depende fundamentalmente del costo de producción de la materia prima que se use para su elaboración. En EUA se utiliza maíz para la fabricación de etanol, mientras que en Brasil y México se utiliza caña de azúcar. El costo de la materia prima en EUA, representó 38.8 % usando la molienda húmeda y 50.4 % utilizando molienda seca (Shapouri y Salassi, 2006). En Brasil la caña de azúcar participa con 62 % del costo de cada litro de etanol (Xavier *et al.*, 2009). La posición competitiva de una industria como la del etanol depende fundamentalmente del precio de la materia prima (caña o maíz), por tanto, es necesario analizar los costos de producción de esas materias primas para identificar si existen diferencias que podría favorecer alguna de estas industrias.

Las industrias que procesan la caña de azúcar en los países de referencia son muy distintas, no obstante el etanol puede ser comercializado ampliamente en el mercado internacional. En principio, el etanol que se produzca en México deberá competir con el etanol de origen brasileño, pero también podría competir con las gasolinas que se importan desde ese país, así como con el MTBE importado para la oxigenación de las mismas.

La industria del etanol en Estados Unidos tiene un tratamiento preferencial por parte del gobierno federal y estatal desde la Ley de 1978, a través de la cual se aplica un impuesto a la energía del 10 %, exceptuando a las mezclas de gasolina con etanol. Este impuesto se combinó con otro impuesto a la importación de etanol de 54 centavos por galón, el cual estuvo vigente por varios años. Tales

to produce ethanol from corn has not operated because existing legislation limits the use of corn for ethanol production in Mexico (Law for the Promotion and Development of Bioenergy, DOF 01-02-2008).

In the cost analysis of ethanol production from sugarcane in Mexico, production costs in Brazil (Xavier *et al.*, 2009) and the United States (F.O. Licht, 2007), as well as the estimated cost of ethanol production for the conditions of Mexico (SEDER, 2009), are used as benchmarks.

2.1 Analysis of the cost structure of ethanol production in the United States, Brazil and Mexico

The cost of ethanol production mainly depends on the cost of producing the raw material used to make it. The U.S. uses corn to make ethanol, while Brazil and Mexico use sugarcane. The cost of raw material in the U.S. was 38.8 % using wet milling and 50.4 % with dry milling (Shapouri and Salassi, 2006). In Brazil, sugarcane accounts for 62 % of the cost of each liter of ethanol (Xavier *et al.*, 2009). The competitive position of an industry like that of ethanol mainly depends on the price of the raw material (sugarcane or corn); it is therefore necessary to analyze the production costs of these raw materials to identify whether there are any differences that might favor one of these industries.

Industries that process sugarcane in the reference countries are very different; however, ethanol, like sugar, could become widely traded in the international market. In principle, the ethanol produced in Mexico will have to compete with ethanol from Brazil, but it could also compete with the gasoline imported from this country, as well as with the MTBE imported to oxygenate it.

The ethanol industry in the United States has received preferential treatment from federal and state governments since the Act of 1978, through which a 10 % tax is levied on energy, except for gasoline mixtures with ethanol. This tax was combined with another imposed on imported ethanol of 54 cents per gallon, which remained in effect for several years. Such exemptions and import tariffs were designed to provide incentives for the establishment and development of the ethanol industry in the United States (Tyner, 2008). The emergence of MTBE reduced the market for ethanol as a gasoline oxygenate; however, when MTBE was declared a groundwater contaminant, incorporating it into gasoline was banned, thereby favoring ethanol demand.

In Brazil, ethanol production began in 1975 when the "Proálcool" program was started as a response to the 1973 oil crisis. The program included the following elements:

- A guaranteed alcohol price.
- Distribution of ethanol through a state-owned company.
- Incentives for the construction of distilleries.
- By the mid-1980s, many cars were equipped to use 100 % hydrated alcohol.

exenciones y tarifas de importación fueron diseñadas para proveer de incentivos para el establecimiento y desarrollo de la industria del etanol en EUA (Tyner, 2008). La aparición del MTBE le restó mercado al etanol como oxigenante de gasolinas, sin embargo, cuando el MTBE fue declarado como un contaminante de las aguas del subsuelo, su incorporación a las gasolinas se prohibió y favoreció la demanda de etanol.

En Brasil la producción de etanol comenzó en 1975 cuando inició el programa “Proálcool” en respuesta a la crisis petrolera de 1973. El programa comprendió los siguientes elementos:

- Un precio de garantía del etanol.
- Distribución del etanol a través de una compañía del Estado.
- Incentivos para la construcción de destilerías.
- Para mediados de los años ochenta, muchos automóviles fueron acondicionados para usar 100 % de etanol hidratado.
- En 2003 se introdujeron los vehículos flexibles en el uso de combustible debido a un precio muy competitivo del etanol frente a las gasolinas.

Actualmente en Brasil no existen subsidios directos actualmente en la producción de etanol, sin embargo, hay otros mecanismos que ayudan indirectamente a las destilerías: En principio, hay una mezcla obligatoria impuesta sobre las compañías petroleras, las cuales tienen que adicionar entre 20 y 25 % de alcohol a las gasolinas. En segundo lugar, el impuesto al valor agregado de las gasolinas es el doble al impuesto aplicado al etanol. Los costos de producción de Brasil son del orden de los 340 dólares estadounidenses por metro cúbico (m³), y con base en la curva de aprendizaje la tendencia para el 2020 se estima entre 200 y 260 dólares estadounidenses por metro cúbico (Van Den Wall Bake *et al.*, 2009), Cuadro 1.

- In 2003 vehicles flexible in the use of fuel were introduced due to a very competitive price of alcohol compared to gasoline.

According to official sources, Brazil currently provides no direct subsidies to aid ethanol production; however, there are other mechanisms that indirectly help distilleries. In principle, there is a mandatory mixture imposed on oil companies, which have to add between 20 and 25 % alcohol to gasoline. Secondly, the value-added tax for gasoline is twice that applied to ethanol. Production costs in Brazil are on the order of USD 340 per cubic meter (m³), and based on the learning curve the trend for 2020 is estimated at between USD 200 and 260 per cubic meter (Van Den Wall Bake *et al.*, 2009). Table 1.

Sugarcane production costs are key factors for determining the competitive level of ethanol. Sugarcane production costs in Brazil, the U.S. and Mexico are presented in Table 2.

Sugarcane production costs are the lowest in Brazil, where the cost of ethanol production is also the lowest. There are several factors that make the difference, but the most important is related to the scale of production. For example, in San Pablo, Brazil, over 60 % of independent sugarcane suppliers have about 20 cultivated hectares (Ripoli and Ripoli, 2009). Similarly, U.S. sugarcane producers have on average about 200 hectares, while more than 90 % of Mexican sugarcane growers have less than 4 hectares.

2.2 Ethanol production costs

The leading countries in biofuel production are those that manage to produce raw materials or inputs sustainably and with attractive prices, so that even with oil costs below \$ 50 U.S. a barrel, bioenergy is competitive.

CUADRO 1. Características de la agroindustria cañera de los países de referencia (2009).

TABLE 1. Characteristics of the sugarcane agribusiness in the reference countries (2009).

Concepto / Item	E.U.A / U.S.	Brasil / Brazil	México
Superficie cultivada caña (miles ha) / Cultivated sugarcane area (thousands ha)	350.6	7,700	700
Rendimiento en campo (t·ha ⁻¹) / Yield in the field (t·ha ⁻¹)	78.7	85	64
Rendimiento en fábrica (%) / Yield in the mill (%)	12.8	12.0	11.0
Producción de azúcar (miles·t ⁻¹) / Sugar production (thousands·t ⁻¹)	6,833	31,622	4,962
Número de productores de caña / Number of sugarcane producers	950	72,000	176,000
Número de ingenios/destilerías / Number of mills/distilleries	16/170	410	54/16
Exportaciones de azúcar (miles·t ⁻¹) / Sugar exports (thousands·t ⁻¹)	123	20,000	1,367
Importaciones de azúcar (miles·t ⁻¹) / Sugar imports (thousands·t ⁻¹)	2,796	0	160
Producción de alcohol (miles·m ⁻³) / Alcohol production (thousands·m ⁻³)	10,938	27,526	14.5

Fuente: Brasil: (Unión de la Industria de la Caña de Azúcar de Brasil, 2013).

EUA: F.O. Licht, 2007.

México (Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera, 2013).

Source: Brazil: (Unión de la Industria de la Caña de Azúcar de Brasil, 2013).

U.S.: F.O. Licht, 2007.

Mexico (Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera, 2013).

.....

Los costos de producción de caña son determinantes para posicionar el nivel competitivo del etanol. En el Cuadro 2, se presentan los costos de producción de caña de azúcar para Brasil, EUA y México.

Los costos de producción de caña más bajos se tienen en Brasil y es en ese país en donde el costo de producción de etanol es también el más bajo. Son varios los factores que hacen la diferencia, pero el más importante está relacionado con la escala de producción. Por ejemplo, en San Pablo, Brasil, más del 60 % de los abastecedores de caña independientes poseen cerca de 20 hectáreas cultivadas (Ripoli y Ripoli, 2009). Asimismo, en Estados Unidos los productores de caña tienen en promedio unas 200 hectáreas, mientras que en México, más del 90 % de los productores de caña tienen menos de 4 hectáreas.

2.2 Costos de producción de etanol

Los países que destacan en la producción de biocombustibles son aquellos que logran producir materias primas o

There are three basic elements that affect bioethanol production costs:

1. Raw material costs, which account for between 40 and 60 % of the total production cost of ethanol fuel.
2. Other variable operating costs, including the cost of energy, water, yeast and enzymes, among others.
3. Investment costs, including machinery and equipment, land, ancillary services (treatment plant and effluent handling, steam generation and power production) and transportation, among others.

Due to the above, production costs change rapidly with technological development, the incorporation of new raw materials and market forces themselves, which were the factors with the greatest impact on changes observed between 2006 and 2009 (Table 3).

In the case of Mexico, from the financial model developed for the "Ethanol Plant for Tomatlán Jalisco" project (SEDER, 2009), and considering different sugarcane price

CUADRO 2. Costo de la producción de caña en 2009.

TABLE 2. Sugarcane production costs in 2009.

	Unidades / Units	BRASIL / BRAZIL	EUA / U.S.	MÉXICO	
		Sao Pablo	Louisiana	Riego / Irrigated	Temporal / Rain-fed
INGRESOS / INCOME					
Productividad / Productivity	t·ha ⁻¹	86	80	85	60
Precio de la caña / Sugarcane price	\$.t ⁻¹	355	417	467	449
INGRESO TOTAL / TOTAL INCOME	\$.ha ⁻¹	30,459	33,360	39,695	26,940
COSTOS / COSTS					
Depreciación de la plantación / Plantation depreciation	\$.ha ⁻¹	4,657	4,740		
Operaciones mecánicas / Mechanical operations	\$.ha ⁻¹	10,200	4,537	6,099	4,657
Operaciones manuales / Manual operations	\$.ha ⁻¹	339	2,131	4,144	3,235
Insumos / Inputs	\$.ha ⁻¹	4,198	7,807	7,336	5,338
Administración / Administration	\$.ha ⁻¹	2,853	10,978	8,512	5,479
COSTO DE LA CAÑA PUESTA EN EL INGENIO / COST OF THE SUGARCANE DELIVERED TO THE MILL	\$.ha ⁻¹	22,247	30,194	26,091	18,709
	\$.t ⁻¹	259	377	307	312
MÁRGEN DE UTILIDAD / PROFIT MARGIN	\$.t ⁻¹	96	40	160	137
	\$.ha ⁻¹	8,212	3,166	13,604	8,231

Fuente: BRASIL: Agra FNP, 2010. / Source: BRAZIL: Agra FNP, 2010.

EUA.: Pimentel y Patzek, 2008. / U.S.: Pimentel and Patzek, 2008.

México: (Comité Nacional de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, 2010)

insumos de manera sostenible y con precios atractivos, de tal manera que aún con costos de petróleo por debajo de \$ 50 dólares estadounidenses el barril, los bioenergéticos sean competitivos.

Hay tres elementos básicos que afectan los costos de producción de bioetanol:

1. Los costos de las materias primas. La materia prima representa entre el 40 y 60 % del costo total de producción del etanol combustible.
2. Otros costos variables de operación. Incluyen el costo de la energía, agua, la levadura y enzimas, entre otros.
3. Los costos de la inversión. Engloba la maquinaria y el equipo, el terreno, los servicios auxiliares (planta de tratamiento y manejo de afluentes, generación de vapor y producción de energía eléctrica), el transporte, entre otros.

Debido a lo anterior, los costos de producción cambian rápidamente con el desarrollo tecnológico, la incorporación de nuevas materias primas y las propias fuerzas del mercado, los cuales fueron los factores con mayor incidencia en los cambios observados entre 2006 y 2009 (Cuadro 3).

En México, a partir del Modelo Financiero desarrollado para el proyecto “Planta de Etanol para Tomatlán Jalisco” (SEDER, 2009), y considerando diferentes escenarios de precio de la caña, los costos de producción y distribución de etanol mostrados en el Cuadro 4 constituyen la referencia para evaluar la viabilidad de la producción de etanol en México elaborado a partir de caña de azúcar bajo diferentes escenarios de precio de la materia prima y precios de venta del etanol (Figura 1).

scenarios, the ethanol production and distribution costs shown in Table 4 serve as the reference for assessing the viability of ethanol production in Mexico made from sugarcane under different raw material price scenarios and ethanol selling prices (Figure 1).

2.3 Ethanol prices

International ethanol prices are closely related to the price behavior of corn, sugar cane, sorghum and other raw materials, so the price usually fluctuates depending on the price based on its availability; however, there are other factors that indirectly affect biofuel prices such as the international price of oil, gasoline, natural gas, and other fossil fuels.

Figure 2 shows that prices could fall between 0.5 and 0.6 dollars per liter in the coming years, which is equivalent to a price between 6.5 and 7.8 pesos per liter (exchange rate of 13 pesos per U.S. dollar). This means that the price of sugarcane should be no more than \$ 425 a ton to achieve a competitive ethanol production cost.

OUTLOOK

High sugarcane production costs in Mexico have limited ethanol production from this raw material. The structure of production, characterized by small farms, limits mechanization and harvest work. It also imposes a high administrative cost, which accounts for about 30% of the cost of the sugarcane delivered to the mill.

The high prices paid for sugarcane during the 2009-2012 harvests made ethanol production unviable; however, demand is evident in the tenders issued by PEMEX to acquire anhydrous ethanol to oxygenate gasoline. A new

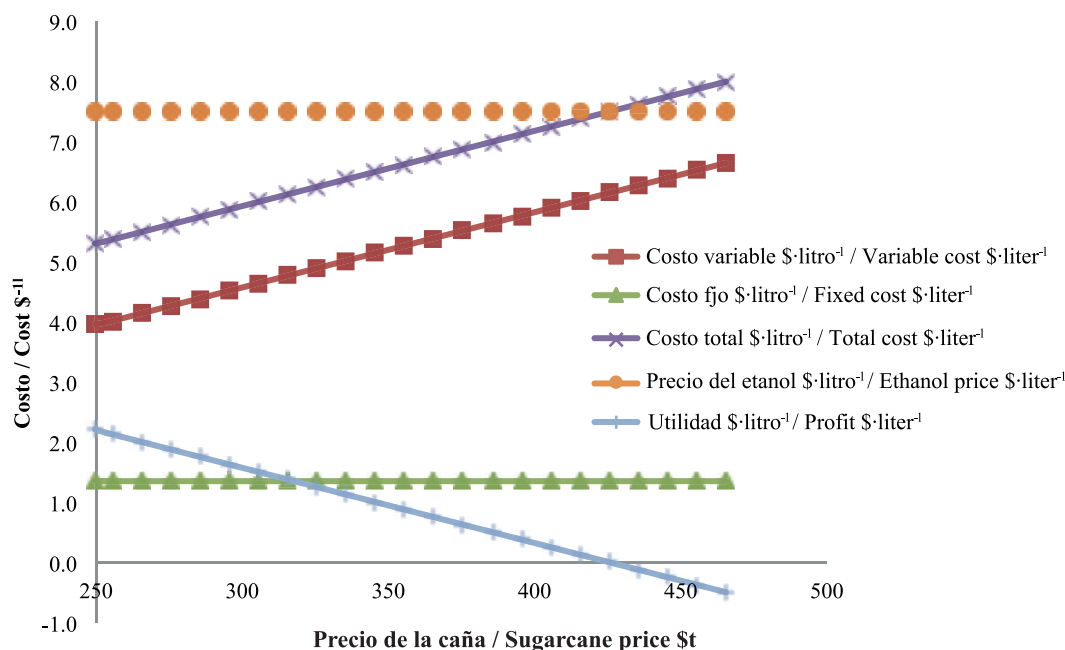


FIGURA 1. Costos de producción, precio de venta de etanol y precio de la caña de azúcar en pesos (2009).
 FIGURE 1. Production costs, ethanol selling price and sugarcane price in pesos (2009).

CUADRO 3. Costos de producción de etanol de países seleccionados.

TABLE 3. Ethanol production costs of selected countries.

CONCEPTO / COST ITEM	BRASIL ^{1/} / BRAZIL ^{1/}		ESTADOS UNIDOS / UNITED STATES				MÉXICO ^{4/}	
	CAÑA / SUGARCANE		MAÍZ MOLIENDA SECA / CORN DRY MILLING		MAÍZ MOLIENDA HÚMEDA / CORN WET MILLING		MIELES B / B HONEYS	JUGO DIRECTO / DIRECT JUICE
ZAFRA / HARVEST	2006/07	2008/09	2006/07	2008/09	2006/07	2008/09	2008/09	
Tipo de cambio / Exchange rate	2.10	2.00					13.50	13.50
MIELES B (US \$·t ⁻¹) / B HONEYS (US \$·t ⁻¹)							140.0(2)	
MAÍZ (US \$·t ⁻¹) / CORN (US \$·t ⁻¹)			131.89	162.40	131.89	162.40		
CAÑA (US \$·t ⁻¹) / SUGARCANE (US \$·t ⁻¹)	21.36	20.67						34.92
CAÑA (US \$·m ³) / SUGARCANE (US \$·m ³)	250.56	242.60						408.83
MIELES B (US \$·m ³) / B HONEYS (US \$·m ³)							482.78	
MAÍZ (US \$·m ³) / CORN (US \$·m ³)			321.68	396.10	333.90	410.10		
Costo total de operación US \$·m ³ / Total operating cost US \$·m ³	57.00	57.00	170.04	170.04	204.39	204.39	36.70	57.00
Costo bruto de producción US \$·m ³ / Gross production cost US \$·m ³	307.65	299.60	491.72	566.14	538.29	614.49	519.48	465.83
Crédito por subproductos US \$·m ³ / By-product credits US \$·m ³	7.46	7.46	236.48	290.00	190.95	234.86		7.46
Costo de producción US \$·m ³ / Production cost US \$·m ³	300.19	292.14	406.52	460.04	395.34	438.96	519.48	458.37
Costo de inversión US \$·m ³ / Investment cost US \$·m ³	15.90	15.90	39.72	39.72	24.74	24.74	21.82	28.57
Costo de producción total US \$·m ³ / Total production cost US \$·m ³	316.09	308.04	446.24	499.76	420.08	463.37	541.30	486.94

(1) Precio de la zafra 2008/09. UNICA. / (1) Price of the 2008/09 sugarcane harvest. UNICA.

(2) Precio de las melazas México, 2009. / (2) Price of Mexican molasses, 2009.

(3) Las inversiones se amortizan en 10 años. / (3) Investments amortized over 10 years.

(4) Para México los costos de producción de etanol anhidro se calcularon tomando como referencia los costos de producción de Brasil (jugo directo) y de Colombia (mieles intermedia) considerando para ello, el precio de la materia prima (caña de azúcar) en México de la zafra 2008/09. / (4) For Mexico, anhydrous ethanol production costs were calculated by taking as a reference the production costs in Brazil (direct juice) and Colombia (medium honey), and considering for this purpose the price of the raw material (sugarcane) of the 2008-09 harvest in Mexico.

Fuente: (F.O. Licht, 2007). / Source: (F.O. Licht, 2007).

CUADRO 4. México: Escenarios del costo de producción y distribución de etanol con diferentes precios de la caña.

TABLE 4. Mexico: Ethanol production and distribution cost scenarios under different sugarcane prices.

Costos de Operación / Operating Costs	Escenario base 2009 / 2009 Base scenario		Mex \$-litro ⁻¹ / Mex \$-liter ⁻¹	Pesos-tonelada de caña ⁻¹ / Pesos-ton of sugarcane ⁻¹			Costo Brasil / Brazil Cost
	US \$-galón ⁻¹ / US \$-gallon ⁻¹	US \$-litro ⁻¹ / US \$-liter ⁻¹	256 t-caña ⁻¹ / 256 t-sugarcane ⁻¹	460	400	300	Mex\$-litro ⁻¹ / Mex\$-liter ⁻¹
Caña de azúcar (\$-litro ⁻¹) / Sugarcane (\$-liter ⁻¹)	0.93	0.246	3.194	5.75	5.00	3.75	3.71
Desnaturalizante / Denaturant	0.04	0.011	0.137	0.137	0.137	0.137	
Otros insumos / Other inputs	0.08	0.021	0.275	0.275	0.275	0.275	0.18
Agua / Water	0.02	0.005	0.069	0.069	0.069	0.069	
Combustibles y lubricantes / Fuels and lubricants	0.02	0.005	0.069	0.069	0.069	0.069	
Mano de obra, Mantenimiento / Labor, Maintenance	0.15	0.040	0.515	0.515	0.515	0.515	0.64
Depreciación / Depreciation	0.05	0.013	0.172	0.172	0.172	0.172	0.26
Costo de producción / Cost of production	1.29	0.341	4.430	6.986	6.236	4.986	4.790
Gastos de Distribución / Distribution Expenses			0.2726	0.2726	0.2726	0.2726	0.27
Gastos de Administración / Administration Expenses			0.0646	0.0646	0.0646	0.0646	0.66
Costo Integral de Financiamiento / Comprehensive Financing Cost			0.6011	0.6011	0.6011	0.6011	0.47
Subtotal Gastos y Costos / Subtotal of Expenses and Costs			0.9383	0.9383	0.9383	0.9383	1.4026
Total costo de producción y distribución por litro / Total cost of production and distribution per liter			5.3684	7.9246	7.1746	5.9246	6.193

*/Tipo de cambio 13 pesos por dólar / */Exchange rate: 13 pesos per dollar

Nota: Costos de operación para la producción de etanol de caña de azúcar, 170.34354 millones de litros por año / Note: Operating costs for ethanol production from sugar cane, 170.34354 million liters per year

Fuente: SEDER (2009); Tao y Aden (2009) / Source: SEDER (2009); Tao and Aden (2009)

2.3 Los precios del etanol

Los precios internacionales del etanol están estrechamente relacionados con el comportamiento de los precios y la disponibilidad del maíz, la caña de azúcar, el sorgo y otras materias primas, por lo que generalmente el precio fluctúa dependiendo del precio según su disponibilidad, sin embargo, existen otros factores que afectan indirectamente los precios de los biocombustibles como el precio internacional del petróleo, gasolinaz, gas natural, y otros combustibles fósiles.

La Figura 2, muestra que los precios de etanol pueden ubicarse entre 0.5 y 0.6 dólares por litro en los próximos años, lo que equivale a un precio entre 6.5 y 7.8 pesos por litro (tipo de cambio de 13 pesos por dólar). Lo anterior significa que el precio de la caña debería ubicarse en un máximo de \$ 425 la tonelada para lograr un costo de producción de etanol competitivo.

tender in the form of an Open Contract subject to price adjustment is in process (SENER, 2013); however, it is still not clear whether there will be bidders who can provide the amounts required by the state-owned company and, on the other hand, if the price offered for the biofuel will be viable for companies.

A scenario of low sugarcane prices would allow for competitive ethanol production. According to the analysis of production costs presented, a sugarcane price of 400 pesos per ton would make it possible to obtain ethanol at a cost of 7 pesos per liter. If a cost of 50 cents per liter for PEMEX to transport the mixed ethanol, from the production plant to the terminals, and distribute it is considered, the state-owned company could buy the ethanol for 8.20 pesos per liter to ensure a 10 % profit margin over the production cost for the producer.

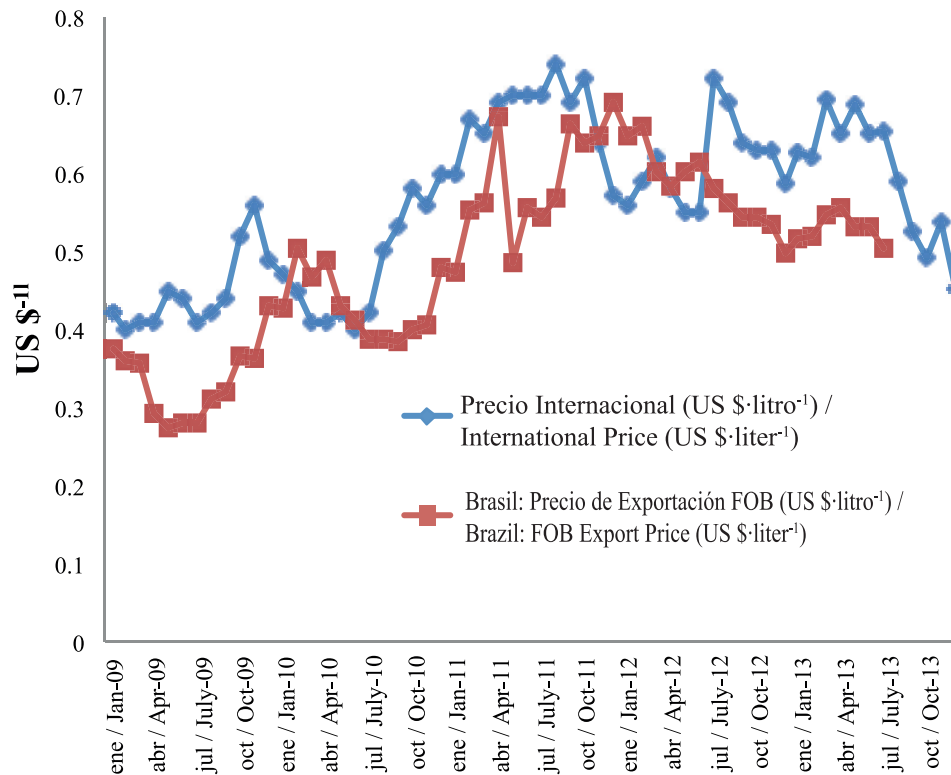


FIGURA 2. Precio internacional del etanol y precio de exportación de Brasil (US \$-litro⁻¹).

FIGURE 2. International ethanol price and Brazil export price (US \$-liter⁻¹).

PERSPECTIVAS

Los altos costos de producción de caña en México han limitado la producción de etanol a partir de esta materia prima. Su estructura, caracterizada por el minifundio, limita la mecanización y las labores de cosecha. Además se le impone un alto costo administrativo que representa alrededor del 30 % del costo de la caña puesta en el ingenio.

Los precios elevados pagados por la caña durante las zafas de 2009 a 2012 hicieron inviable la producción de etanol, no obstante, la demanda queda manifiesta en las licitaciones publicadas por PEMEX para adquirir etanol anhidro y oxigenar sus gasolinas. Una nueva licitación bajo la modalidad de Contrato Abierto sujeto a un ajuste de precios se encuentra en proceso (SENER, 2013), sin embargo, aún no existe claridad sobre la presencia de oferentes que cumplan los requisitos solicitados por la paraestatal y, por otra parte, es necesario que el precio ofrecido por el biocombustible sea viable para las compañías productoras de etanol.

Un escenario de precios bajos de la caña de azúcar propiciaría una producción de etanol competitiva. De acuerdo con el análisis de los costos de producción presentados, un precio de la caña de 400 pesos por tonelada, permitirá obtener etanol a un costo de 7 pesos por litro. Si se considera un costo de transporte del etanol mezclado, de la planta productora a las terminales y distribución de PEMEX de 50 centavos por litro, la paraestatal podría pagar el etanol a un precio de 8.20 pesos por litro para asegurar un margen de utilidad del 10 % sobre el costo de producción para el productor.

Si el etanol producido en México tiene como destino el mercado de EUA, el análisis comparativo realizado en este trabajo muestra que México está por arriba del costo de producción en Brasil. No obstante, México presenta dos ventajas importantes: a) la cercanía con el mercado norteamericano y b) un costo de producción más bajo al mostrado por EUA, lo que le permite a México competir con el etanol que se produce en ese país a partir del maíz.

Si la producción de etanol en México, se canaliza para oxigenar gasolinas, puede contribuir a la sustitución del MTBE que se importa actualmente y reducir la cantidad de gasolina que llega del exterior. Además, se favorecería la diversificación de las fuentes de energía y por consiguiente, el fortalecimiento de la seguridad energética nacional.

En ninguno de los tres países estudiados la producción y usos de etanol para combustible se ha desarrollado en ausencia de un conjunto de políticas de apoyo para la producción y uso de los biocombustibles. Por ello, es importante señalar que la legislación vigente para la promoción de la producción y usos de biocombustibles como el etanol es insuficiente, debido a que no se han considerado lineamientos jurídicos como los aplicados en los países de referencia, como los que a continuación se mencionan:

If the ethanol produced in Mexico is destined for the U.S. market, the comparative analysis performed in this study shows that Mexico would be above the Brazil cost. However, Mexico has two important advantages: a) its proximity to the North American market, and b) a lower production cost than the U.S., which enables Mexico to compete with the ethanol produced in that country from corn.

Ethanol production in Mexico, if channeled to oxygenate gasoline, can help replace the MTBE currently imported and reduce the amount of gasoline coming from the outside. In addition, it would favor the diversification of energy sources and thus strengthen national energy security.

In none of the three countries studied has the production and use of ethanol for fuel been developed in the absence of a set of support policies for the production and use of biofuels. Therefore, it is important to note that the existing legislation to promote the production and use of biofuels such as ethanol is insufficient, because it does not include legal guidelines like those applied in the reference countries, such as those mentioned below:

- i) Mandatory use of mixture percentages.
- ii) Support to both raw material and anhydrous ethanol producers to stimulate the production and use of bioethanol.
- iii) A sound fiscal policy for the promotion and development of bioenergy.
- iv) A plan to expand and technologically improve crops such as sugar cane for bioenergy production.

These elements are not established in the national regulatory framework, which, from a legal point of view, makes the promotion and development of bioenergy in Mexico inefficient.

Finally, if PEMEX does not define an appropriate strategy to incorporate ethanol as a gasoline oxygenate, thus replacing the MTBE currently used, any tender like those that have been previously issued for the purchase of ethanol will end in failure.

CONCLUSIONS

Anhydrous ethanol production in Mexico would be competitive if the price of sugarcane were less than \$400.00 per ton. In order for the price paid for sugarcane to ethanol plant suppliers to be profitable, the production costs of this raw material need to be lowered, especially in regard to harvesting and transportation.

The competitive position of Mexico in ethanol production depends on having a production cost equal to or lower than that obtained in Brazil and the proximity to the North American market.

The production of anhydrous ethanol from sugarcane opens up the possibility of diversifying the use of this raw

- i) La obligatoriedad en el uso de porcentajes de mezclas.
- ii) Apoyos a los productores de materia prima y a los productores de etanol anhidro para detonar la producción y usos del bioetanol.
- iii) Una política fiscal adecuada a la promoción y desarrollo de bioenergéticos.
- iv) Planeación de la expansión y mejora tecnológica de los cultivos como el de la caña de azúcar para la producción de bioenergéticos.

Estos elementos no se encuentran establecidos en el marco regulatorio nacional, lo que hace ineficiente, desde el punto de vista jurídico, la promoción y desarrollo de los bioenergéticos en México.

Finalmente, si PEMEX no define una estrategia adecuada para incorporar el etanol como oxigenante de gasolinas, sustituyendo el MTBE que usa actualmente, cualquier licitación como las que ha emitido con anterioridad para la compra de etanol no prosperará.

CONCLUSIONES

La producción de etanol anhidro en México sería competitiva si el precio de la caña fuera menor a \$ 400.00 por tonelada. Para que el precio pagado por la caña de azúcar a los abastecedores de las plantas de etanol sea rentable, es necesario bajar los costos de producción de esa materia prima, especialmente en lo que respecta a los costos de cosecha y transporte.

La posición competitiva de México en la producción de etanol depende de un costo de producción igual o menor que el que se obtiene en Brasil y de la cercanía con el mercado norteamericano.

La producción de etanol anhidro a partir de caña abre la posibilidad de diversificar el uso de esta materia prima, con lo que se podría reducir la vulnerabilidad de su precio ante las variaciones del precio del azúcar. Ello implica una reconversión productiva de los ingenios azucareros para obtener etanol además de azúcar, con lo cual se podrá mejorar la rentabilidad e incorporar mejoras tecnológicas en esta agroindustria.

LITERATURA CITADA

Agra FNP. 2010. *Agrianual 2010: Anuario da Agricultura Brasileira*. São Paulo, Brasil. 520 p.

Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólera. 2013. *Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar, zafras 2000/2001-2010/2011* (Décimo Novena Edición). México D.F., CNIAA.

Comité Nacional de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. 2010. *Diagnóstico de la Agroindustria Cañera de México Campo y Fábrica*. México, D.F., CONADESUC.A.

Cortés-García, R. 2006. "Caña de azúcar: energía del futuro". Conferencia Magistral. Primer Foro Nacional de Etanol. Universidad Veracruzana. Centro Virtual de Investigación Multidisciplinaria. México, 2006.

material, which could reduce the vulnerability of its price to fluctuations in the price of sugar. This implies converting sugar mills to obtain ethanol in addition to sugar, which can improve profitability and incorporate technological improvements in this agribusiness.

End of English Version

Diario Oficial de la Federación. 2008. *Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos*. México: DOF. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5094933&fecha=18/06/2009

F. O. Licht. 2007. *Ethanol Production Costs: A Worldwide Survey*. Agra Informa, United Kingdom. 222p. Disponible en: www.nhienlieusinhoc.com.vn/SharedFiles/Download.aspx?fileid=469

Pimentel, D.; Patzek, T. W. 2008. *Ethanol production: energy and economic issues related to US and Brazilian sugarcane*. In *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. Pimentel, D (eds.). Springer Netherlands. pp. 357-371.

Ripoli, T. C. C.; Ripoli, M. L. C. 2009. *Biomassa de cana de açúcar: Colheita, energia e ambiente*. Percicaba, Sao Paulo, Brasil. 302p.

SAGARPA. 2008. *Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico PROINBIOS*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. Disponible en: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/descargas/Programa-Produccion-Sustentable-Bioenergeticos-PROINBIOS.pdf>

SENER. 2007. *Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México*. Secretaria de Energía, México. Disponible en: http://www.sener.gob.mx%2Fres%2FPE_y_DT%2Fpub%2FBiocombustibles_en_Mexico_Estudio_Completo.pdf

SENER. 2008. *Programa de Introducción de Bioenergéticos*. Secretaria de Energía, México. Disponible en: <http://www.energia.gob.mx/res/0/Prog%20Intro%20Bioen.pdf>

SEDER. 2009. *Modelo Financiero: Planta de Etanol Tomatlán Jalisco*. Secretaría de Desarrollo Rural. México.

Shapouri, H.; Salassi, M. 2006. *The economic feasibility of ethanol production from sugar in the United States*. USDA (OEPNU/OCE) and Louisiana State University. Disponible en: <http://www.usda.gov/oce/EthanolSugarFeasibilityReport3.pdf>.

Tao, L.; Aden, A. (2009). *The economics of current and future biofuels*. In *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 45(3), 199-217. DOI: 10.1007/s11627-009-9216-8.

Tyner, W. E. 2008. *The US ethanol and biofuels boom: Its origins, current status, and future prospects*. *BioScience*, 58(7), 646-653. DOI: 10.1641/B580718

Unión de la Industria de la Caña de Azúcar de Brasil. 2013. <http://unica.com.br>. Consultado el 20 de noviembre de 2013.

Van Den Wall Bake, J. D.; Junginger, M., Faaij, A., Poot, T.; Walter, A. 2009. *Explaining the experience curve: Cost reductions of Brazilian ethanol from sugarcane*. *Biomass and Bioenergy*, 33(4), 644-658. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.10.006

Xavier, C. E.; Zilio L. B.; Sonoda, D. Y.; Marques, P. V. 2009. *Production Costs for Sugarcane, Sugar and Ethanol in Brazil: 2008/2009 Crop; Report for the National Confederation of Agriculture: Piracicaba, Brazil*. Disponible en: http://canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/relatorio_Custos_Prod_Cana_2011_12.pdf