



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Rodríguez-Hernández, Rafael; Barrios-Ayala, Aristeo; Flores-López, Hugo Ernesto;
Sánchez-Vásquez, Velia; Ariza-Flores, Rafael
Factibilidad económica de la producción de bioetanol con tres especies de Agave spp. en
regiones productoras de México
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 7, núm. 6, agosto-septiembre, 2016, pp.
1439-1453
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263148193017>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Factibilidad económica de la producción de bioetanol con tres especies de *Agave* spp. en regiones productoras de México*

Economic feasibility of bioethanol production with three species of *Agave* spp. in producing areas from Mexico

Rafael Rodríguez-Hernández^{1§}, Aristeo Barrios-Ayala², Hugo Ernesto Flores-López³, Velia Sánchez-Vásquez¹ y Rafael Ariza-Flores²

¹Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-INIFAP. Calle Melchor Ocampo No. 7, 68200, Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca, México. ²Campo Experimental Iguala-INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Col. Centro, 40000, Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. (barrios.aristeo@inifap.gob.mx; ariza.rafael@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Centro Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera Libre Tepatitlán-Lagos de Moreno km 8, 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. (flores.hugo@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: rodriguez.rafael@inifap.gob.mx.

Resumen

El uso creciente de combustibles fósiles ha provocado el calentamiento global por las emisiones de CO₂ a la atmósfera, lo que ha determinado la necesidad de generar tecnologías para producir combustibles no convencionales. Algunos países han mostrado adelantos tecnológicos para la producción y uso de biocombustibles; sin embargo, se han utilizado cultivos necesarios para la alimentación humana, por lo que se requiere explorar nuevas especies que permitan generar combustibles de bajos costos ambientales y económicos. El género *Agave* es una alternativa para producir bioetanol por sus altos contenidos de azúcares en la piña y las hojas. El objetivo de esta investigación fue determinar la factibilidad económica de producir bioetanol con *Agave tequilana* Weber., *Agave angustifolia* Haw. y *Agave cupreata* Trel. Se generaron indicadores económicos desde un punto de vista integral de la cadena de valor como la relación de costo privado (RCP), tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) y punto de equilibrio (PE). Los resultados indicaron que la producción de bioetanol es factible económicamente para los sectores primario e industrial en Matatlán, Oaxaca y Amatitán, Jalisco, mientras que en Tepatitlán, Jalisco resultó rentable para el sector primario no así para el sector industrial, en Chilapa Guerrero resultó no rentable para el sector

Abstract

The increasing use of fossil fuels has caused global warming by CO₂ emissions to the atmosphere, which has determined the need to develop technologies to produce non conventional fuels. Some countries have shown technological advances in the production and use of biofuels; however, they have been using crops for human consumption, so it is necessary to explore new species that allow to generate fuels with low environmental and economic costs. The genus *Agave* is an alternative to produce bioethanol for its high sugar content in pineapple and leaves. The objective of this research was to determine the economic feasibility to produce bioethanol from *Agave tequilana* Weber., *Agave angustifolia* Haw. and *Agave cupreata* Trel. Economic indicators were generated from a holistic view of the value chain as the private cost ratio (RCP), internal rate of return (TIR), current net value (VAN) and breakeven point (PE). The results indicated that bioethanol production is economically feasible for the primary and industrial sectors in Matatlán, Oaxaca and Amatitán, Jalisco, while in Tepatitlán, Jalisco was profitable for the primary sector but not for the industrial sector, in Chilapa, Guerrero was not profitable for the primary sector but for the industrial sector it was.

* Recibido: febrero de 2016
Aceptado: mayo de 2016

primario pero sí para el sector industrial. La rentabilidad está influenciada por el precio de la materia prima y el precio del bioetanol lo que hace necesario un proceso de negociación de precios entre sectores.

Palabras clave: *Agave tequilana* Weber., *Agave angustifolia* Haw. y *Agave cupreata* Trel., bioetanol, rentabilidad.

Introducción

El crecimiento poblacional y el desarrollo industrial han conducido a un aumento en el consumo de energéticos provenientes del petróleo, cuya demanda ha pasado de 84 millones de barriles en 2005 (Page, 2013) a 91 millones en 2014 (Rudich, 2015). El uso creciente de este tipo de energía ha provocado un grave problema de contaminación ambiental por las altas emisiones de CO₂ a la atmósfera conocido como calentamiento global (IPCC, 2007 citado en Pardo, 2007). Ante esta situación, se ha buscado ampliar y diversificar fuentes de energía capaces de reducir la dependencia del petróleo (Castro *et al.*, 2012) y disminuir las emisiones de gases a la atmósfera.

La bioenergía, que consiste en la producción y uso de energías no convencionales, representa una alternativa a esta problemática, ya que permite abatir los costos ambientales y económicos de los combustibles de origen fósil, cobró importancia a partir de 1997, cuando los países desarrollados se comprometieron a través del protocolo de Kyoto a buscar un equilibrio entre la protección al medio ambiente, el crecimiento económico y la protección social (Gijón, 2005). Actualmente existe un segundo período de compromiso que abarca de 2013 a 2020, en donde se contemplan metas específicas en la reducción de emisiones.

En México en 2008 se promulgó la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, cuyo objetivo es promocionar y fomentar la diversificación energética y el desarrollo sustentable (DOF, 2008); se favorece el establecimiento de cultivos bioenergéticos para producir principalmente biodiesel y bioetanol como una forma de inducir impactos positivos en las áreas agrícolas y rurales de México. Según Zamarripa (2011), la producción de cultivos bioenergéticos implica la obtención de mayores ingresos por la venta de materia prima para la producción de biocombustibles, la generación de empleos en el campo y la industria; pueden, además, inducir la permanencia de los campesinos en su

Profitability is influenced by the price of raw material and bioethanol making necessary a process of price negotiation between sectors.

Keywords: *Agave tequilana* Weber, *Agave angustifolia* Haw. and *Agave cupreata* Trel., bioethanol profitability.

Introduction

Population growth and industrial development have led to an increase in the consumption of fuels from oil, passing from 84 million barrels in 2005 (Page, 2013) to 91 million in 2014 (Rudich, 2015). The increasing use of this type of energy has caused a serious problem of environmental pollution by high CO₂ emissions to the atmosphere known as global warming (IPCC, 2007 cited in Pardo, 2007). In this situation, it has sought to expand and diversify energy sources capable of reducing the dependence on oil (Castro *et al.*, 2012) and reduce gas emissions into the atmosphere.

Bioenergy, involves the production and use of non-conventional energy, representing an alternative to this problem, as it allows to cut down the environmental and economic costs of fossil fuels, it became important after 1997 when developed countries committed through the Kyoto protocol to find a balance between environmental protection, economic growth and social protection (Gijón, 2005). Currently there is a second commitment period covering from 2013 to 2020, where specific goals are envisaged in reducing emissions.

In 2008 Mexico enacted a Law on Promotion and Development of Bioenergy, which aims to promote and support energy diversification and sustainable development (DOF, 2008); favoring the establishment of energy crops to produce biodiesel and bioethanol as a way to induce positive impacts on agriculture and rural areas from Mexico. According to Zamarripa (2011), the production of energy crops implies obtaining higher revenues from the sale of raw material for biofuel production, job creation in field and industry; this can also induce the permanence of farmers in their place of origin and reduce migration. On their behalf, Castro and Guerrero (2013) indicate that Mexico has high potential for bioenergy development due to its biodiversity, climatic and geographical conditions.

lugar de origen y disminuir la migración. Por su parte, Castro y Guerrero (2013), señalan que México cuenta con alto potencial para el desarrollo de la bioenergía debido a su biodiversidad y sus condiciones climáticas y geográficas.

El bioetanol, es un carburante producto de la fermentación alcohólica de diversos materiales orgánicos a través de la acción de microorganismos (Hernández, 2008), se ha utilizado como combustible o como potenciador de gasolina en países como Brasil y Estados Unidos de América, es completamente renovable, ya que, al quemarlo, el bióxido de carbono que libera es reciclado en forma natural (Chandel y Singh, 2011 citado por Castro *et al.*, 2012).

La utilización de materias primas destinadas a la alimentación humana como la caña de azúcar y granos de maíz (Howard *et al.*, 2003 citados en Castro *et al.*, 2012), ha derivado en conflictos de opinión al tener que priorizar entre alimentación humana o biocombustibles, por lo que el aprovechamiento de fuentes alternativas no contaminantes a partir de la biomasa representan una excelente oportunidad para especies como el Maguey (*Agave* spp.) que presenta alta productividad de biomasa aun en condiciones restrictivas de humedad, temperatura y suelo (Méndez *et al.*, 2011). Representa parte importante del legado histórico y cultural de México y actualmente se traduce en una fuente importante de empleo y de generación de ingresos. Se encuentra desde los 34° latitud norte, hasta 60° latitud sur (García *et al.*, 2010), por lo que puede encontrarse lo mismo en sitios con altitudes de 300 msnm, hasta lugares situados a más de 3 000 msnm (Gentry, 1982 citado en García *et al.*, 2010). Según el SIAP (2014), durante el periodo 2010-2013 se cultivaron en promedio anual 89 063 ha de *Agave tequilana* W., 12 188 ha de *Agave angustifolia* H. y 730 ha de *Agave cupreata* T., cuya producción se destina a la industria del tequila y mezcal.

Derivado del proceso de producción de tequila y mezcal se generan anualmente miles de toneladas de pencas, residuos de hoja, fibras cortas y bagazo, los cuales quedan en la magueyera o son depositados en los alrededores de las desfibradoras y tequileras convirtiéndose en una fuente de contaminación (González *et al.*, 2005 y Coronado *et al.*, 2011).

La producción de etanol a partir de la hoja del maguey ha sido explorada desde inicios del siglo pasado, pero su despegue industrial aun es incipiente (Magdub y Barahona, 2006 citados en Méndez *et al.*, 2011). González *et al.* (2005) y Murillo *et al.* (2014) concluyeron que el bagazo de *Agave tequilana* es un material viable como substrato en

Bioethanol is a product of alcoholic fermentation of various organic materials through the action of microorganisms (Hernández, 2008) it has been used as fuel or gasoline enhancer in countries like Brazil and the United States of America, is completely renewable, since, when burned, released carbon dioxide is recycled naturally (Chandel and Singh, 2011 cited by Castro *et al.*, 2012).

The use of raw materials intended for human consumption like sugar cane and corn kernels (Howard *et al.*, 2003 quoted in Castro *et al.*, 2012), has led to conflicts of opinion by having to prioritize between human consumption or biofuels, so the use of non-polluting alternative sources from biomass represent an excellent opportunity for species such as Maguey (*Agave* spp.) having high biomass productivity even under stringent conditions of humidity, temperature and soil (Méndez *et al.*, 2011). It represents an important part of the historical and cultural heritage of Mexico and currently translates into an important source of employment and income generation. It is found from 34° north latitude to 60° south latitude (García *et al.*, 2010), so it can be found in sites with altitudes of 300 masl, to locations over 3 000 masl (Gentry, 1982 quoted in García *et al.*, 2010). According to SIAP (2014), during the period 2010-2013 were cultured annually 89 063 ha of *Agave tequilana* W., 12 188 ha of *Agave angustifolia* H. and 730 ha of *Agave cupreata* T., whose production is destined to tequila and mezcal industry.

Derived from the production process of tequila and mezcal generate annually thousands of tons of stalks, waste leave, short fiber and bagasse, which are left in maguey or are deposited around shredders and tequileras becoming a source of contamination (González *et al.*, 2005; Coronado *et al.*, 2011).

Ethanol production from maguey leaf has been explored since the beginning of last century, but its industrial boom is still incipient (Magdub and Barahona, 2006 cited in Méndez *et al.*, 2011). González *et al.* (2005) and Murillo *et al.* (2014) concluded that *Agave tequilana* bagasse is a viable material as substrate in fermentation processes to produce bioethanol; so the aim of this study was to determine the economic feasibility of the use of agave or mezcal species to produce bioethanol through the competitiveness and profitability from an integrated perspective of the value chain, agricultural and industrial sectors, thus explore the sensitivity of economic indicators to changes in market prices.

procesos fermentativos para producir bioetanol; por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar la factibilidad económica del aprovechamiento de especies de agave tequilero y/o mezcalero para producir bioetanol a través de la competitividad y rentabilidad desde una perspectiva integrada de la cadena de valor y por sectores agrícola e industrial, así como explorar la sensibilidad de los indicadores económicos ante cambios de precios de mercado.

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en las zonas productoras representativas de agaves cultivados en México. *Agave tequilana* Weber fue estudiado en Amatitán y Tepatitlán, en el estado de Jalisco, el primero es municipio localizado en la región de los Valles, importante por la producción de tequila, el segundo se encuentra en los Altos de Jalisco donde se cuenta con las mejores condiciones para la producción de agave (Luna, 2003). *Agave Cupreata* se evaluó en Chilapa de Álvarez, municipio localizado en la zona centro- este del estado de Guerrero; y el *Agave Angustifolia* Haw se estudió en Santiago Matatlán, población situada en los Valles Centrales del estado de Oaxaca. En la Figura 1, se muestran las entidades federativas donde se realizó el estudio económico.

Se realizaron 50 entrevistas a productores representativos para cuantificar la tecnología de producción a través de coeficientes técnicos (cantidades de insumos, labores y servicios por unidad de superficie) y se elaboró en Excel la matriz de coeficientes técnicos. Posteriormente se investigaron los precios locales de mercado de insumos, labores y servicios que requiere la producción y se elaboró en la misma hoja de Excel la matriz de precios privados. Se multiplicaron las dos matrices y se generó una tercera de presupuesto privado con los indicadores económicos básicos como Ingreso total, costo total, ganancia neta y relación de costo privado (RCP) como indicador de competitividad. Se caracterizó la fase industrial mediante el flujo de procesos y se determinaron los coeficientes técnicos (insumos para transformar materia prima de agave en bioetanol), esta información se obtuvo a través de visitas a empresas tequileras y mezcaleras de las regiones productoras y se revisaron trabajos previos a nivel laboratorio en el Campo Experimental Iguala del INIFAP.

Se analizó económicamente la producción de etanol desde la perspectiva de cadena de valor (fase primaria y fase industrial) y se realizó un análisis de sensibilidad de la

Material and methods

The study was conducted in representative growing areas of agaves cultivated in Mexico. *Agave tequilana* Weber was studied in Amatitán and Tepatitlán, in the state of Jalisco, the first is a municipality located in the region los Valles, important for the production of tequila, the second is located in the highlands of Jalisco which counts with the best conditions for the production of agave (Luna, 2003). *Agave cupreata* was evaluated in Chilapa de Álvarez municipality located in the center-east side of the state of Guerrero; and *Agave angustifolia* Haw was studied in Santiago Matatlán, town located in the Valles Centrales de Oaxaca. Figure 1 shows the states where the economic study was performed.



Figura 1. Localización de las entidades donde se realizó el estudio económico.

Figure 1. Location of the municipalities where the economic study was performed.

50 interviews were conducted to representative producers to quantify production technology through technical coefficients (quantities of inputs, labor and services per unit area) and on Excell was developed the matrix of technical coefficients. Later local market prices of inputs, labor and services that production requires and on the same Excel sheet private prices matrix was elaborated. The two matrices multiplied and generated a third of private budget with the basic economic indicators such as total income, total cost, net profit and private cost ratio (RCP) as an indicator of competitiveness. Industrial phase was characterized through the flow of processes and technical coefficients were determined (inputs to transform raw agave into bioethanol), this information was obtained through visits to tequila and mezcal companies from producing regions and reviewed previous studies at laboratory level in the Experimental field Iguala from INIFAP.

rentabilidad ante posibles cambios de precios de la materia prima y del bioetanol. El método utilizado para determinar la competitividad del cultivo de agave fue planteado por Monke y Pearson (1989), retomado para estudios en México por Padilla (1992); Puente (1995); Salcedo (2007); Rodríguez *et al.* (2013), consiste en un sistema contable de ingresos y costos del sistema agrícola para obtener indicadores de competitividad, rentabilidad y efectos de políticas (Figura 2).

Los indicadores financieros preliminares fueron:

Ingreso total (IT), conocido como 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), fue el resultado de la diferencia aritmética entre ingreso total y costo total (Naylor y Gotsch, 2005).

$$GN = IT - CT$$

Relación beneficio costo (RBC), es 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.

$$RBC = IT/CT$$

De acuerdo con Morris (1990) y Padilla (1992), el valor agregado (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; X_i = cantidad producida en toneladas por hectárea; Y_k = cantidad de insumos comerciables aplicados por hectárea; P_i = precio de venta del producto por el productor; P_k = precio de los insumos comerciables adquiridos por el productor.

Ethanol production was economically analyzed from the perspective of value chain (primary phase and industrial phase) and a sensitivity analysis of profitability to possible changes of prices of raw materials and bioethanol was performed. The method used to determine the competitiveness of agave crop was raised by Monke and Pearson (1989), retaken for studies in Mexico by Padilla (1992); Puente (1995); Salcedo (2007); Rodríguez *et al.* (2013), consist in an accounting system of revenue and cost of the agricultural system to obtain competitiveness, profitability and policy effects indicators (Figure 2).



Figura 2. Proceso de estructuración de las matrices de datos.
Figure 2. Structuring process of data matrices.

The preliminary financial indicators were:

Total Revenue (IT), known as value of production, was the result of multiplying yield obtained at plot level (X_i) by producer selling price (P_i).

$$IT = P_i X_i$$

The total cost (CT), which was the result of the sum of costs of inputs and internal factors, given by the price of the input (P_j) multiplied by the amount of input (Y_j).

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

Net income (GN), was the result of the arithmetic difference between total revenue and total cost (Naylor and Gotsch, 2005).

$$GN = IT - CT$$

Cost benefit ratio (RBC) is the result of dividing total income over total cost, their interpretation is that for every peso invested in the activity how many pesos are obtained.

$$RBC = IT/CT$$

According to Morris (1990) and Padilla (1992), value added (VA) is the difference between the price of a product unit minus the value of traded inputs required to produce that

Para definir la RCP, primero fue necesario definir el costo de los factores internos (CFI), este indicador expresa la parte de los costos que se refieren 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 mide qué tan competitivo es un cultivo o sistema productivo con relación al uso de los recursos disponibles. 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:

$$RCP = \frac{\sum_{r=1}^n p_r z_r}{p_i x_i - \sum_{k=1}^n p_k y_k} = \frac{CFI}{VA}$$

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

Para el análisis integral de la cadena incluyendo las fases agrícola e industrial, se utilizó el software para Windows, sistema biodiesel/FAO (Da Silva *et al.*, 2009), el cual fue adaptado a proyectos de bioetanol como una contribución de este estudio (Figura 3); este software permite a través de cálculos matemáticos obtener indicadores sociales y financieros tanto de la producción agrícola como de la industrial.

De la información obtenida en campo, se estimó el rendimiento por hectárea de biomasa sólida considerando que 65% del peso total corresponde a las hojas y 35% a las piñas. Es importante resaltar que las hojas tienen un valor por su contenido de azúcares reductores totales que oscila entre 3.3 a 16.1% en peso fresco (Montañez *et al.*, 2011) que generalmente se quedan tiradas en el terreno después de cosechar las piñas. Se utilizó un coeficiente

product unit, or said otherwise, it is the difference between production value and costs of tradable inputs, and is given by the following expression:

$$VA = p_i x_i - \sum_{k=1}^n p_k y_k$$

Where: VA= value added; Xi= quantity produced in tons per hectare; Yk= amount of tradable inputs applied per hectare; Pi= selling price of the product by the producer; Pk= price of tradable inputs acquired by the producer.

To define RCP, first it was necessary to define the cost of internal factors (CFI), this indicator expresses the part of the costs relating to the payment of the factors that do not have a defined external market or that can not be exported or imported as easily as labor and land, among others. CFI is given by the following expression:

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

Where: CFI= cost of internal factors; Zr= amount of internal factors applied per hectare; Pr= price of internal factors used by the producer.

RCP measures how competitive is a crop or production system regarding the use of available resources. Producers prefer to make profits in excess, which can be obtained if CFI is lower than VA to private prices; indicates the proportion from VA that is intended to cover CFI. Therefore, it is advisable for an agricultural system to remain competitive is to try to minimize RCP, keeping low the costs of tradable inputs and internal factors and obtain a VA as high as possible (Puente, 1995). RCP is given by the following expression:

$$RCP = \frac{\sum_{r=1}^n p_r z_r}{p_i x_i - \sum_{k=1}^n p_k y_k} = \frac{CFI}{VA}$$

Where: RCP= private cost ratio; FI= cost of internal factors; VA= value added.

For an integral analysis of the chain including agricultural and industrial phases, the software for Windows, biodiesel / FAO system (Da Silva *et al.*, 2009) was used, which was adapted to bioethanol projects as a contribution of this study (Figure 3), this software allows through mathematical calculations to obtain social and financial indicators from both agricultural and industrial production.

de procesamiento de 9.3 kg de biomasa sólida de agave para obtener un litro de bioetanol, obtenido en pruebas experimentales de laboratorio. Se determinó el precio de venta de la materia prima como biomasa sólida (planta completa) partiendo del precio actual de la piña para tequila, asignándole una proporción de ese precio a las hojas, por lo tanto, el precio ajustado para la biomasa resultó inferior al precio únicamente de la piña. Para alimentar al sistema de evaluación se consideraron en forma previa diversos datos productivos, los cuales se especifican en el Cuadro 1.

Los indicadores económicos fueron:

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. También 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:

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

Donde: VPN (i)= valor presente neto a una tasa de interés i; Bt= beneficios totales en el año t; Ct= 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).

Cuadro 1. Datos generales utilizados para la elaboración de los proyectos de bioetanol.
Table 1. General data used in the elaboration of bioethanol projects.

Municipio/estado	Precio de materia prima (\$ kg ⁻¹)		Rendimiento de biomasa (kg ha ⁻¹)	Ciclo de producción (años)
	Solo piñas	Piñas y hojas		
Amatitán, Jalisco	5.2	1.8	342 857	7
Tepatitlán, Jalisco	6.2	2.17	457 142	6
Santiago Matatlán, Oaxaca	4	1.39	277 875	9
Chilapa de Álvarez, Guerrero	1.13	0.39	100 000	9

Valor presente neto (VPN): es el valor actual de los flujos de efectivo netos de una propuesta, 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; Ruíz, 2010). A través del VPN es posible determinar si el proyecto es una inversión aceptable o no. Se calculó mediante la siguiente expresión:

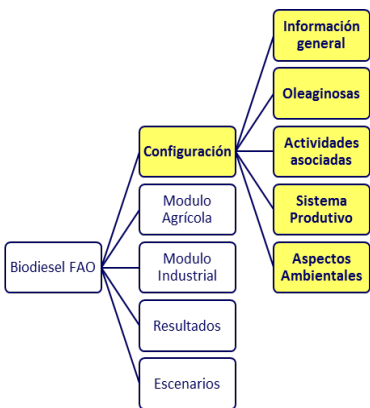


Figura 3. Estructuración de los módulos y submódulos del sistema biodiesel FAO.
Figure 3. Structuring modules and sub-modules of biofuels system FAO.

From the information obtained in field, yield per hectare of solid biomass was estimated considering that 65% of the total weight corresponds to leaves and 35% to pineapples. Importantly, the leaves have a value for its total reducing sugars content ranging from 3.3 to 16.1% on fresh weight (Montañez *et al.*, 2011) that are usually left lying on the ground after harvesting the pineapples. A processing coefficient of 9.3 kg of solid biomass of agave was used to obtain one liter of bioethanol, obtained in experimental test from laboratory. The selling price of the raw material as solid biomass (whole plant) were determined based on the current price of pineapple for tequila, assigning a proportion of that price to the leaves, therefore, the price set for biomass was less than pineapple price only. To feed the evaluation system considered various production data, which are specified in Table 1.

Economic indicators were:

Internal rate of return (TIR): mathematically defined as the interest rate that cause in the floyw of funds from one project than revenues in equivalent values in time are equal to expenditures also in equivalent terms in time. It is also defined as the discount rate reducing to zero the current value

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

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).

Resultados

Indicadores económicos de la matriz de análisis de política

La mayor ganancia neta del productor se obtuvo en Tepatitlán, Jalisco, con \$ 160 060.00 ha en promedio por año con una RBC promedio de 6.47. La situación menos rentable se dio con *A. cupreata* en Guerrero ya que solamente reportó una ganancia neta promedio de \$ 2 275.56/ha, con una RBC de 2.07. Respecto a la RCP, la producción actual de agave, resultó competitiva para las especies estudiadas ya que el indicador fue menor a uno, destacando *A. tequilana* en Tepatitlán, Jalisco cuyo indicador fue de 0.08. La menor competitividad se presentó con *A. cupreata* en Guerrero con 0.37 (Cuadro 2).

of the sum of a series of income and expenses (FIRA, 1993). Therefore, for an investment proposal, TIR is the interest rate i^* that satisfies the following equation:

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

Where: VPN (i)= current net value at an interest rate i; B_t= total benefits in year t; C_t= total costs in year t; t= time in years, takes values ranging from t= 0 to t= n (number of periods of economic life from the project).

Current net value (VPN): is the current value of net cash flows of a proposal, defined as net cash flows, the difference between current value of cash receipts of a project and the current value of the outputs (FIRA, 1993; Ruíz, 2010). Through VPN it is possible to determine whether the project is an acceptable investment or not. It was calculated by the following expression:

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

Where: B_t= total benefits in year t; C_t= total costs in year t; t= time in years, takes values ranging from t= 0 to t= n (number of periods of economic life of the project); i= discount rate that represents the minimum rate of return required; $\frac{1}{(1+i)^t}$ = current value factor single payment.

Breakeven point (PE): is the level of production in percentage or production units that exist when costs and revenues are equivalent; at this point the company does not experience losses nor profits (Martínez *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Resumen de los indicadores económicos de la producción primaria de Agave en Jalisco, Oaxaca y Guerrero (valores promedio anuales).

Table 2. Summary of economic indicators from primary production of agave in Jalisco, Oaxaca and Guerrero (annual average values).

Indicador	<i>A. tequilana</i> Amatitán, Jal.	<i>A. tequilana</i> Tepatitlán, Jal.	<i>A. angustifolia</i> Oaxaca	<i>A. cupreata</i> Guerrero
Ingreso Total (\$ ha)	95 571.00	189 333.00	44 444.00	4 394.44
Costo Total (\$ ha)	30 060.00	29 273.00	3 341.00	2 118.89
Ganancia Neta (\$ ha)	65 511.00	160 060.00	41 103.00	2 275.56
RBC	3.18	6.47	13.30	2.07
RCP	0.19	0.08	0.03	0.37

Caracterización y coeficientes técnicos para la fase industrial

El proceso de producción del etanol se ilustra en la Figura 4. La actividad previa del proceso consiste en el pretratamiento mecánico del material, como limpieza y trituración, es decir, reducción del tamaño de partículas para favorecer a la destrucción celular o hacerla más sensible a los procesos químicos (Sosa *et al.*, 2011). Posteriormente se realiza la primera etapa consistente en la cocción del material, para este procedimiento se ocupó un equipo de laboratorio llamado autoclave que permitió controlar la temperatura y la presión necesarias para el cocimiento del agave. En seguida se lleva a cabo la extracción del jugo por medios mecánicos utilizando una prensa mecánica en “V” que presiona los trozos de la materia prima y extrae el jugo. Como tercera fase se realiza la fermentación a través de la incorporación de levadura *Saccharomyces cerevisiae* y por último se lleva a cabo la destilación. Para el caso del bagazo se procedió llevar a cabo una primera hidrólisis con cloro y una segunda con ácido sulfúrico, para posteriormente llevar a cabo a una fermentación con hidróxido de potasio y por último la destilación.

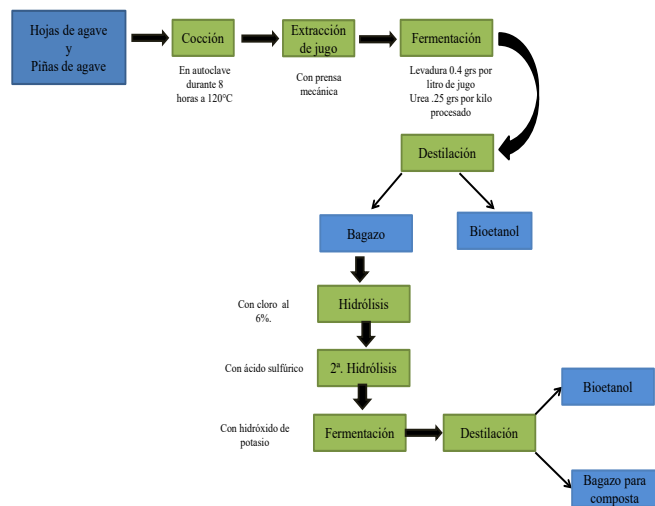


Figura 4. Proceso de obtención de bioetanol en base a hojas y piñas de agave.

Figure 4. Process to obtain bioethanol based on agave leaves and agave pineapples.

En el Cuadro 3 se presentan los coeficientes técnicos de los insumos requeridos para producir un litro de etanol.

Análisis integral de la rentabilidad

Desde una perspectiva integral de evaluación tanto de la producción de materia prima como su transformación en bioetanol, los resultados obtenidos fueron en general

Results

Economic indicators of policy analysis matrix

The highest net profit of the producer was obtained in Tepatitlán, Jalisco, with \$ 160 060.00 ha on average per year with an average RBC of 6.47. The least profitable situation occurred with *A. cupreata* in Guerrero since only reported an average net profit of \$ 2 275.56 / ha, with an RBC of 2.07. Regarding the RCP, the current production of agave, was competitive for the studied species as the indicator was less than one, highlighting *A. tequilana* in Tepatitlán, Jalisco whose indicator was 0.08. The lowest competitiveness was with *A. cupreata* in Guerrero with 0.37 (Table 2).

Characterization and technical coefficients for the industrial phase

The process of ethanol production is illustrated in Figure 4. Previous activity to the process consist in mechanical pretreatment of the material, such as cleaning and grinding, that is, reduction of particle size to favor cell destruction or make it more sensitive to chemical processes (Sosa *et al.*, 2011). Subsequently the first stage consist of cooking the material, for this procedure required an equipment called autoclave allowing to control temperature and pressure required to cook agave. Followed by mechanical juicing using a mechanical press in "V" which presses the pieces of raw material and extract the juice. As a third phase the fermentation is carried through the incorporation of yeast *Saccharomyces cerevisiae* and finally distillation. In the case of bagasse it proceeded to conduct a first hydrolysis with bleach and a second with sulfuric acid, to subsequently carry out a fermentation with potassium hydroxide and finally distillation.

Table 3 shows the technical coefficients of inputs required to produce one liter of ethanol.

Cuadro 3. Coeficientes de insumos requeridos para la industria de bioetanol.

Table 3. Coefficients of inputs required for bioethanol industry.

Insumos	Unidad	Coefficiente
Urea	gr/l	2.0124
Levadura	gr/l	1.73
Cloro	l/l	0.1554
Ácido sulfúrico	l/l	0.2324
Hidróxido de potasio	gr/l	2.3296

satisfactorios en cuanto rentabilidad para la fase agrícola, ya que la TIR resultó de 91.28% para la zona de Tepatitlán, Jalisco como la más alta, hecho debido a mayor productividad en esta zona aunado a un menor tiempo de producción de piñas, la alta rentabilidad también se debe a los mejores precios pagados al productor por las tequileras ya que el mercado del tequila sigue en expansión. La más baja rentabilidad de la producción primaria se presentó en Chilapa de Álvarez, Guerrero con una TIR de 7.85% lo cual se debe a la baja productividad del sistema de producción y al bajo nivel tecnológico. Para implementar un proyecto de producción de bioetanol es necesario un proceso de negociación del precio del agave para que sea más atractivo para los productores. En los casos de Amatitán, Jalisco y Santiago Matatlán, Oaxaca la TIR obtenida fue bastante adecuada, ya que los productores obtienen ingresos y ganancias positivas. El punto de equilibrio fue bajo en los tres primeros casos, alrededor de 2% debido a la alta rentabilidad, no así en el caso de Guerrero que requiere de una cuarta parte de la producción para lograr el punto de equilibrio, mientras que el VPN más elevado se obtuvo en Tepatitlán, Jalisco y el menor en Chilapa Guerrero (Cuadro 4).

Comprehensive analysis of profitability

From a comprehensive perspective evaluation of both production of raw material as for its transformation into bioethanol, the results were generally satisfactory in terms of profitability for the agricultural phase, since TIR was 91.28% for Tepatitlán, Jalisco as the highest, due to greater productivity in this area added to a shorter pineapple production, high profitability is also due to higher prices paid to producers by tequila companies since the tequila market continues to expand. The lowest profitability of primary production was for Chilapa de Álvarez, Guerrero with a TIR of 7.85% which is due to the low productivity of the production system and the low technological level. To implement a bioethanol production Project is necessary a negotiating process of agave price to make it more attractive to producers. For Amatitán, Jalisco and Santiago Matatlán, Oaxaca the TIR obtained was quite adequate, since producers earned income and positive earnings. The breakeven point was low in the first three cases, about 2% due to high profitability, not being like that in Guerrero that requires of a forth stage of production to achieve breakeven point, while the highest VPN was obtained in Tepatitlán, Jalisco and the lowest in Guerrero Chilapa (Table 4).

Cuadro 4. Indicadores financieros de la fase agrícola en un proyecto integral de Bioetanol para cuatro regiones de México*.
Table 4. Financial indicators of the agricultural phase in a comprehensive bioethanol project for four regions of Mexico*.

Indicador	Amatitán, Jalisco	Tepatitlán, Jalisco	Santiago Matatlán, Oaxaca	Chilapa de Álvarez, Guerrero
Punto de equilibrio	1.84	1.01	3.38	24.81
TIR	38.03	91.28	34.57	7.85
VPN (miles de \$)	31 751.49	63 232.08	24 754.49	-1 145.91
Superficie destinada (ha)	163	122	201	558

*/producción de 20 000 litros de bioetanol diarios.

Con respecto a la fase industrial, se encontró que el costo de producción del bioetanol es afectado por los costos de los insumos sobre todo de las sustancias químicas, cuyo monto representó más de 50% del costo total por litro. Por otro lado, la rentabilidad del proceso industrial fue favorecida por los productos secundarios también llamados coproductos como la inulina y el xilitol principalmente, los cuales tienen diversos usos tanto en medicina como en alimentos (Vargas, 2009), llegando a representar hasta 70% de los ingresos totales, mientras que el bioetanol representa 25% del ingreso y el bagazo que se pueden utilizar como composta solo representó 5% de los ingresos.

Regarding the industrial stage, it was found that the production cost of bioethanol is affected by input costs especially from chemicals, which amount represented more than 50% of the total cost per liter. On the other hand, the profitability of the industrial process was favored by byproducts also called co-products such as inulin and xylitol mainly, which have many uses in both medicine and food (Vargas, 2009), accounting for up to 70% of total revenues, while bioethanol represents 25% of income and bagasse can be used as compost represented only 5% of the revenue.

El mejor panorama para la producción de bioetanol en la fase industrial se encontró en Guerrero con una TIR de 34.06% esto por el bajo costo de la materia prima que se registró en esta zona; la menor rentabilidad financiera se dio para Tepatitlán, Jalisco con una TIR negativa debido al alto costo de la materia prima registrado en esta zona; sin embargo, para este caso cabría la posibilidad de negociación del precio de la materia prima ya que presenta una alta rentabilidad para el sector agrícola al precio considerado, de lo contrario resulta más rentable destinar el agave a la producción de tequila que al bioetanol. Para los casos de Amatitán y Matatlán, la TIR fue aceptable significando ganancias para los dos sectores. El punto de equilibrio se presentó desde el más bajo en Guerrero con 0.31% hasta el más elevado en Tepatitlán, Jalisco con 14.15%. El VPN más elevado se obtuvo con *A. cupreata* en Guerrero (Cuadro 5).

The best outlook for bioethanol production in the industrial phase was found in Guerrero with a TIR of 34.06% this for the low cost of the raw material that was recorded in this area; the lower financial profitability was given for Tepatitlán, Jalisco with a negative TIR due to the high cost of raw materials registered in this area; however, in this case it would be the possibility of negotiating the price of the raw material as it presents high profitability for the agricultural sector for the considered price, otherwise it is more profitable to allocate agave for tequila production than bioethanol. For Amatitán and Matatlán, the TIR was acceptable meaning profits for the two sectors. The breakeven point presented from the lowest in Guerrero with 0.31% to the highest in Tepatitlán, Jalisco with 14.15%. The highest VPN was obtained with *A. cupreata* in Guerrero (Table 5).

Cuadro 5. Indicadores financieros de la fase industrial en un proyecto integral de bioetanol para cuatro regiones de México*.
Table 5. Financial indicators of the industrial phase in a comprehensive bioethanol project for four regions of Mexico*.

Indicador	Amatitán, Jalisco	Tepatitlán, Jalisco	Santiago Matatlán, Oaxaca	Chilapa de Álvarez, Guerrero
Punto de equilibrio	1.37	14.15	0.67	0.31
TIR	12.64	-48.36	19.08	34.06
VPN (miles de \$)	634.45	-4 461.9	4 015.55	16 468.6

*/producción de 20 000 litros de bioetanol diarios.

Análisis de sensibilidad de la TIR

Se observó relación directa entre la TIR del sector agrícola y el precio de venta del agave; es decir, si los precios de venta del agave se incrementan, la TIR agrícola también se incrementa y viceversa, por lo tanto a los productores de agave les conviene que se incremente el precio de venta del agave ya que aumentan sus ganancias y su rentabilidad. En cambio, la TIR del sector industrial presentó relación inversa; es decir, ante incrementos de precios del agave, la TIR disminuye y viceversa, esto quiere decir que a los industriales que transforman la materia prima del agave en bioetanol les conviene precios bajos del agave. Por lo tanto, existen intereses antagónicos entre los agricultores y los industriales, mientras los primeros desean precios altos por su agave, los segundos desean lo contrario.

En el caso particular de Tepatitlán, Jalisco, la situación base consideró un precio de \$2.17/kg de agave, el sector agrícola registró una TIR de 91.28% y la industria de -48.40%, el proyecto es rentable para el sector agrícola, pero es inviable para el industrial, por el elevado costo de la materia prima.

Sensitivity analysis of TIR

A direct relationship between TIR from the agricultural sector and selling price of agave was observed; that is, if sale prices of agave increase, agricultural TIR also increases and vice versa, thus to agave producers suits them that the selling price of agave increases as they increase their profits and profitability. Instead, the TIR of the industrial sector showed inverse relationship; ie to price increases of agave, TIR decreases and vice versa, this means that industrialists that transform raw materials from agave into bioethanol suits them low prices of agave. Therefore, there are conflicting interests between farmers and industrialists, while the former want higher prices for their agave, the latter want the opposite.

In the particular case of Tepatitlán, Jalisco, the base situation considered a price of \$ 2.17/kg of agave, the agricultural sector recorded a TIR of 91.28% and the industry of -48.40%, the project is profitable for the agricultural sector, but it is unviable for industrial, due to the high cost of raw materials. Agriculture appropriate earnings and industry incurred

La agricultura se apropia de las ganancias y la industria incurre en pérdidas. Existe un margen de negociación de precios para favorecer más a la industria sin que se afecten considerablemente las ganancias del sector agrícola, aquí es conveniente revisar hasta qué punto los productores pueden ceder a bajar su precio de \$2.17/kg a \$1.63/kg para que la industria obtenga una TIR de 30% y la agricultura de 80%; sin embargo debido a que la industria tequilera ofrece el precio de \$2.17/kg, esta situación sería muy difícil que se diera ya que los agricultores difícilmente estarían dispuestos a ceder ganancias y seguramente preferirán vender su agave a la industria del tequila. La industria del bioetanol no podría competir con la industria del tequila por el precio del agave, salvo que se implemente un esquema de subsidio a la industria vía precio de la materia prima o al precio de venta del bioetanol.

En el caso particular de Amatitán, Jalisco, la situación base consideró un precio de \$1.8/kg de agave, el sector agrícola registró una TIR de 38.06% y la industria de 12.60%, el proyecto es rentable para ambos pero la agricultura se apropia de las mayores ganancias. Existe un margen de negociación de precios para favorecer a la industria, aquí es conveniente revisar hasta qué punto los productores pueden ceder a bajar su precio. El punto de equilibrio donde ambos sectores tendrían una TIR de 30% es con un precio de agave de \$1.40/kg aproximadamente.

En el caso particular de Santiago Matatlán, Oaxaca, la situación base consideró un precio de \$1.37/kg de agave, el sector agrícola registró una TIR de 34.57% y la industria de 19.01%, el proyecto es rentable para ambos, pero la agricultura se apropia de mayores ganancias. Existe margen de negociación de precios para favorecer a la industria, aquí es conveniente revisar hasta qué punto los productores están dispuestos a bajar su precio. El punto de equilibrio donde ambos sectores tendrían una TIR entre 25 y 30% es con un precio de agave de \$1 kg aproximadamente.

En el caso particular de Chilapa, Guerrero, en donde la situación base consideró un precio de \$0.40 kg de agave, el sector agrícola registró una TIR de 7.85% y la industria de 34.10%, el proyecto es rentable claramente para la industria pero para la agricultura no lo es ya que la TIR es muy baja; en este caso es la industria la que participa de las mayores ganancias. Existe un margen de negociación de precios, para favorecer a la agricultura, es conveniente revisar hasta qué punto los industriales pueden ceder aumentando el precio de compra de la materia prima; si la industria

losses. There is room for price negotiation to favor more the industry without affecting considerably the gains from the agricultural sector, to this point is appropriate to review the extent to which producers can yield to lower their price from \$ 2.17/kg to \$ 1.63/kg for the industry obtain a TIR of 30% and agriculture of 80%; however due to the tequila industry offers the price of \$ 2.17/kg, this situation would be very difficult to become real as farmers hardly would be willing to give up profits and certainly prefer to sell their agave to tequila industry. The bioethanol industry could not compete with tequila industry for the price of agave, unless a subsidy scheme to the industry via raw material price or selling price of bioethanol is implemented.

In the particular case of Amatitán, Jalisco, the base situation considered a price of \$ 1.8 / kg of agave, the agricultural sector recorded a TIR of 38.06% and the industry of 12.60%, the project is profitable for both but agriculture appropriates the biggest gains. There is room for price negotiation to favor industry, here it is appropriate to review the extent to which producers can yield to lower its price. The breakeven point where both sectors would have a TIR of 30% is with an agave price of \$ 1.40/ kg approximately.

In the particular case of Santiago Matatlán, Oaxaca, the base situation considered a price of \$ 1.37/ kg of agave, the agricultural sector recorded a TIR of 34.57% and the industry of 19.01%, the project is profitable for both, but agriculture appropriates higher profits. There is room for price negotiation to favor industry, here it is appropriate to review the extent to which producers are willing to lower their price. The breakeven point where both sectors would have a TIR between 25 and 30% is with an agave price of \$ 1 kg approximately.

In the particular case of Chilapa, Guerrero, where the base situation considered a price \$ 0.40 kg of agave, the agricultural sector recorded a TIR of 7.85% and industry of 34.10%, the project is clearly profitable for the industry but for the agriculture is not because TIR is very low; in this case is the industry that participates in the highest gains. There is room for price negotiation to favor agriculture, to this point is appropriate to review the extent to which industry can yield increasing the purchase price of raw material; if mezcal industry offers the price of \$ 0.40 kg, this situation would be very likely since to farmers suits best higher prices. Bioethanol industry competes with mezcal industry. The breakeven point where both sectors would have an equal TIR is with an agave price above \$ 0.50 kg approximately.

del mezcal ofrece el precio de \$0.40 kg, esta situación sería muy factible que se diera ya que a los agricultores les convienen precios más altos de su agave. La industria del bioetanol si compite con la industria del mezcal. El punto de equilibrio donde ambos sectores tendrían una TIR igual es con un precio de agave por arriba de \$0.50 kg aproximadamente.

Respecto a los efectos de posibles cambios de precios de venta del bioetanol en la rentabilidad de los proyectos, en la Figura 5 se observa una relación directa entre ambas variables; es decir, a mayor precio de venta del bioetanol, mayor será la TIR para el sector industrial. El precio base que se utilizó para el estudio fue de \$9.00/l, si este precio disminuye se ve afectada la TIR en diversas proporciones de acuerdo al caso en particular, siendo el caso de Chilapa de Álvarez, Guerrero el que destaca por su mayor fortaleza para soportar precios bajos del biocarburante (una disminución de 25% del precio reporta una TIR de 31.3%). El caso menos deseable es Tepatitlán, Jalisco ya que se requiere incremento de precio del bioetanol por encima de los \$11.3/l para que la industria pueda lograr rentabilidad más atractiva.

Conclusiones

La producción de agave bajo el sistema de unicultivo resultó rentable y competitiva ya que reporta ganancias netas positivas, siendo la zona de Tepatitlán, Jalisco con *Agave tequilana* la más eficiente y rentable, mientras que la zona de Chilapa, Guerrero con *Agave cupreata* resultó la menos rentable. La producción de bioetanol bajo las condiciones actuales de productividad de biomasa sólida (piñas y hojas) y bajo las condiciones del flujo del proceso industrial todavía no desarrollado en forma comercial, es factible en Santiago Matatlán, Oaxaca y Amatitán, Jalisco con TIR positiva para los sectores agrícola e industrial. La producción de bioetanol en Tepatitlán no resultó factible para el sector industrial debido al alto costo de la materia prima, por lo que es necesario que el precio de venta del bioetanol sea más elevado o en su caso que el precio de la materia prima sea menor al registrado actualmente, situación que ubica a la industria del bioetanol como no competitiva ante la industria del tequila.

La producción de bioetanol en la zona de Chilapa, Guerrero con *Agave cupreata* no resultó factible desde el punto de vista de la agricultura, pero si para el sector industrial, lo

Regarding the effects of possible changes in sale prices of bioethanol in the profitability of projects, in Figure 5 can be seen a direct relationship between the two variables; that is, at higher sale price of bioethanol, the higher the TIR for the industrial sector. The base price that was used for the study was \$9.00/l, if this price decreases TIS is affected in varying proportions according to the particular case, being the case of Chilapa de Álvarez, Guerrero highlighting for its higher strength to withstand low prices of the biofuel (a decrease of 25% reports a TIR of 31.3%). The least desirable case is Tepatitlán, Jalisco as it requires an increase of bioethanol price above \$ 11.3 / l for the industry to achieve more attractive returns.

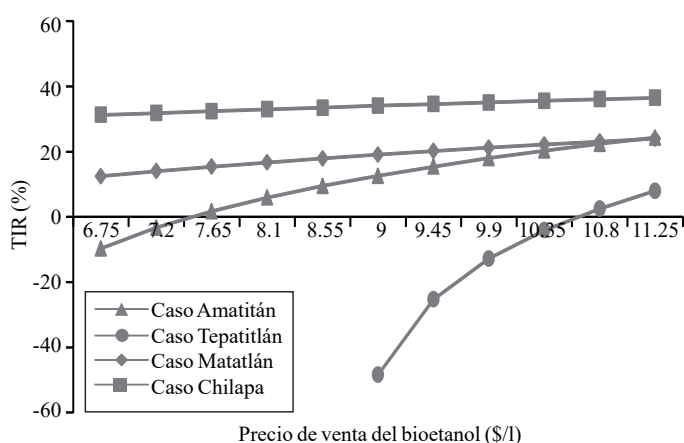


Figura 5. Comportamiento de la TIR industrial ante cambios del precio de venta del bioetanol.

Figure 5. Behavior of industrial TIR to changes in the sales price of bioethanol.

Conclusions

Agave production under a monoculture system was profitable and competitive as it reports positive net income, being Tepatitlán, Jalisco with *Agave tequilana* the most efficient and profitable, while Chilapa, Guerrero with *Agave cupreata* was the least profitable. Bioethanol production under current conditions of solid biomass productivity (pineapple and leaves) and under the conditions of the industrial flow process still not developed commercially, is feasible in Santiago Matatlán, Oaxaca and Amatitán, Jalisco with positive TIR for the agricultural and industrial sectors. Bioethanol production in Tepatitlán was not feasible for the industrial sector due to high cost of raw materials, so it is necessary that the selling price of ethanol increases or to lower the price of raw material lower than the currently registered, situation placing the bioethanol industry as non competitive to tequila industry.

que demanda una negociación de precios de la materia prima para favorecer a los agricultores. Los sectores agrícola e industrial mostraron intereses antagónicos, ya que mientras a los agricultores les favorece precios elevados del agave como materia prima para bioetanol, a los industriales no les favorecen precios altos, esto hace necesario un proceso de negociación de precios de materia prima. Existe una relación directa entre precio de venta de agave y TIR agrícola, lo que quiere decir que a mayor precio de venta del agave, mayor será la TIR; mientras que esta relación es inversa para el sector industrial, a mayores precios de agave menor es la rentabilidad. Existe una relación directa entre precio de venta del bioetanol de agave y la TIR industrial; es decir, a mayores precios de venta del biocarburante, mayor será la TIR.

The production of bioethanol in the area of Chilapa, Guerrero with *Agave cupreata* was not feasible from the point of view of agriculture, but feasible for the industrial sector, situation demanding a negotiation in price of raw materials to favor farmers. The agricultural and industrial sectors showed conflicting interests, because while farmers are favored with high prices of agave as raw material for bioethanol, industrial are not favored by high prices, this makes necessary a process of price negotiating for raw materials. There is a direct relationship between the selling price of agave and agricultural TIR, which means that at higher selling price of agave, the higher will be TIR; while this relationship is inverse for the industrial sector, at higher prices of agave the profitability is lower. There is a direct relationship between selling price from bioethanol and industrial TIR; ie to higher selling prices of biofuel, the greater the TIR.

Literatura citada

End of the English version



- Castro, C.; Beltrán, L. y Ortiz, J. 2012. Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética? *Rev. Soc. Cult. Des. Ximhai*. 8(3):93-110.
- Castro A., Guerrero. J. 2013. El agave y sus productos. Temas selectos de ingeniería en alimentos. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas Puebla. 53-61 pp.
- Coronado, V. C.; Quintana, H. P.; Tiscareño, L. F.; Jiménez, G. A. y Escamilla, S. E. 2011. 3^{er} reporte del proyecto: desarrollo y puesta en marcha de tecnología de producción de etanol a partir del aprovechamiento integral del jugo y biomasa sólida de Agave Tequilero y mezcalero. 80 p.
- 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.
- DOF. 2008. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (DOF-01-02-2008). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México. 12 p.
- FIRA. 1993. Criterios actuales en el análisis financiero. Boletín informativo. 249(25):35.
- García, J.; Méndez, S. y Talavera, D. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. In: VIII Simposium-Taller Nacional y 1^{er}. Internacional Producción y aprovechamiento del nopal. Revista de Salud pública y nutrición. 5:109-129.
- Gijón, R. 2005. Efectos del protocolo de Kyoto y de la directiva de comercio emisiones sobre el sector productivo Español. *Rev. Inf. Com. Española*. 822:79-89.
- González, G.; González, R. y Nungaray, A. 2005. Potencial del bagazo del agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *E-gnosis on line*. (3):14-19.
- González, H. J.; Álvarez, N. M.; Ornelas, H. L. y Zamudio, J. M. 2011. Producción y aplicaciones biotecnológicas del Xilitol. *Biotechnología*. 15(2):26.
- Hernández, M. 2008. Tendencias actuales en la producción de bioetanol. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Landívar. Boletín electrónico. 8:17.
- Luna, R. P. 2003. Explotación actual y potencial del cultivo de *Agave Tequilana* Weber Azul en el estado de Guanajuato. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAN) México, D. F., 25 p.
- 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.
- Méndez, S.; Amante, A.; Talavera, D.; García, J. y Velez, A. 2011. Biocombustibles a base de nopal y maguey. In: IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional de producción del nopal y maguey. Ed. Esp. Núm. 5. 12 p.
- Montañez, L. J.; Victoria, C. J.; Flores, R. y Vivar, A. M. 2011. Fermentación de los fructanos del *Agave tequilana* Weber Azul por *Zymomonas mobilis* y *Saccharomyces cerevisiae* en la producción de bioetanol. *Información tecnológica*. 22(6):3-14.
- Morris, M. L. 1990. Determinación de la ventaja comparativa mediante el análisis del CRI, pautas a partir de la experiencia del CIMMYT. Monografías en Economía. CIMMYT. México. 25 p.
- Monke, E. A. and Pearson, S. R. 1989. The policy analysis matrix for agricultural development. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 50 p.
- Murillo, A. P.; Santibañez, A. J.; Ponce, O. J.; Castro, M. A.; Serna, G. M. and Hakwagu, M. M. 2014. Optimization of the supply chain associated to the production of bioethanol from residues of agave from the Tequila process in Mexico. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. Am. Chem. Soc. 5524-5538 pp.
- Naylor, R. y Gotsch, C. 2005. Matriz de análisis de política (MAP), ejercicios de cómputo MS-Excel. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)- SEPSA. Costa Rica. 66 p.

- 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 Postgraduados, Montecillo, Estados de México. 56-86 pp.
- Page, D. 2013. Un mundo con sed de petróleo: el consumo se triplica en 50 años. Expansión.com. Madrid.
- Pardo, M. 2007. El impacto social del cambio climático. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ciencia Política y Sociología. 15 p.
- Puente, G. A. 1995. Indicadores económicos de la producción de trigo en México. Publicación especial Núm. 7. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México D. F. 39 p.
- Rodríguez, H. R.; Cadena, I. P.; Morales, G. M.; Jácome, M. S.; Góngora, G. S.; Bravo, M. E. y Contreras, H. 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(01):111-126.
- Rudich, W. 2015. La OPEP prevé consumo récord de crudo en 2016, impulsando por precios bajos. Agencia EFE. España. 14 p.
- Ruiz, R. 2010. Planeación y evaluación financiera. Biblioteca del Instituto Tecnológico de Sonora. http://biblioteca.itson.mx/oa/contaduria_finanzas/oal/planeacion_evaliacion_financiera/index.htm.
- SIAP. 2014. Agricultura-producción-anual, 2010-2013: <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>.
- 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.
- Sosa, N. E.; Saucedo, L. J.; Salcedo, E. L. y Castro, M. A. 2011. Proceso de producción del bioetanol: Simulación en Aspen Plus. 24 p.
- Vargas, V. C. 2009. Obtención de insumos de interés industrial a partir de las fructanas del agave mezcalero potosino (*Agave salmiana*). Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. CIIDIR-IPN-Michoacán. 123 p.
- Zamarripa, A. 2011. Estado del arte y novedades de la bioenergía en México. Oficina Regional para América Latina y el Caribe - RLC. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). 39 p.