

Análisis de las cadenas de suministro de bioetanol y biodiésel en México: Estudios de caso

Analysis of bioethanol and biodiesel supply chains in Mexico: Case Studies

Alfredo Rosas Barajas¹, Andrés Aguilar Ortega¹, Ivette Cornejo Corona¹, Zenón Rizo Fernández¹, Saúl Edén Córdova de la Cruz¹, Luis Gerardo Ramos Frausto¹ y José de Jesús Esparza Claudio¹

Palabras clave: bioetanol; biodiésel; cadenas de suministro; aceites vegetales
Keywords: bioethanol; biodiesel; supply chains; vegetable oils

Recepción: 11-09-2017 / Aceptación: 15-11-2017

Resumen

Introducción: El trabajo identificó y analizó el estado actual de los principales actores que intervienen en las cadenas de suministro de biocombustibles líquidos en el sureste de México con el objetivo de identificar la posibilidad del establecimiento de las cadenas de suministro de biocombustibles en el país. Se incluye la descripción del proceso de producción de: biodiésel, bioetanol y aceite de ricino. El caso A se refiere a una empresa que a partir de aceites vegetales reciclados produce biodiésel, el caso B se refiere a una empresa que utiliza melazas para producir etanol anhidro mediante un tamiz molecular, el caso C describe la gestión de la cadena de suministro, desde la organización de los agricultores hasta el proceso de producción de aceite de ricino y su comercialización para la industria.

Método: Para la investigación de campo se realizó con un equipo de especialistas en el tema que recolectó datos en sitio mediante entrevistas en el sitio y telefónicamente a los proveedores, recolectores, transformadores de aceite vegetal reciclado y a los mejoradores de semillas involucrados en la cadena de suministro. Para el diseño de los esquemas se empleó el modelo Supply Chain Operations Reference (SCOR).

Resultados: Fueron identificados los elementos claves involucrados en las cadenas de suministro de biodiésel y bioetanol de los casos de estudio. Se realizaron cincuenta y siete entrevistas en las que se identificaron los principales elementos en la cadena de suministros en un contexto cercano a los actores principales. Se levantaron ocho entrevistas a productores de bioetanol y biodiésel; veintiuna a generadores de aceites vegetales usados; once a proveedores de insumos agrícolas y semillas y diez y siete a recolectores de aceites. El presente trabajo muestra evidencia de la falta de consolidación de la cadena de suministro de biodiésel, la principal razón es la falta de regulación de los precios y la inconsistencia en la oferta de las materias primas. Por otro lado, la cadena de

suministro de bioetanol se encuentra más consolidada debido al nivel de oferta nacional e internacional.

Discusión o Conclusión: De acuerdo a la información de campo encontramos evidencia de la falta de regulación de precios en las materias primas y así como de los subproductos obtenidos en el proceso de producción de biodiésel. El establecimiento de los precios de materias primas, productos y subproductos dicta la rentabilidad de la cadena de suministro. Los casos de estudios analizados en este trabajo tienen altas posibilidad de entrar en el mercado de los biocombustibles a otra escala. Sin embargo, el potencial de producción de biocombustibles en México aún es incipiente y dista de acercarse a la demanda que habrá que cubrir.

Abstract

Introduction: This paper identified and analyzed the current state of the main actors involved in liquid biofuel supply chains in southeastern Mexico with the goal to identify the possibility establishment of biofuels supply chains in this country. The description of the production process of biodiésel, bioethanol and castor oil is included. Case A refers to a company that produces biodiésel from recycled vegetable oils, Case B refers to a company that uses molasses to produce anhydrous ethanol through a molecular sieve, Case C describes supply chain management, from the organization of farmers to the production process of castor oil and its marketing to industry.

Method: For field research, a team of subject matter specialists collected on-site data through on-site interviews and telephone interviews with suppliers, collectors, recycled vegetable oil processors and seed improvers involved in the supply chain. For schemes designs, the Model Reference for Supply Chain Operations (SCOR) was used.

Results: Key elements involved in the biodiésel and bioethanol supply chains were identified in the case studies. Fifty seven interviews were conducted, identifying the main elements involved in the supply chain. Eight interviews were conducted with bioethanol and biodiésel producers; twenty one with suppliers of recycled vegetable oils; eleven with suppliers of agricultural inputs and seeds; and seventeen with oil collectors. The present work establishes that the biodiésel supply chain is not consolidated, the main reason being the lack of regulation of raw material prices. On the other hand, the bioethanol supply chain is more consolidated due to the level of international commercialization.

Discussion or Conclusion: According to fieldwork information, we found evidence of the absence of price regulation in raw materials and subproducts obtained in the biodiésel production process. The pricing of raw materials, products and subproducts dictates the feasibility of the supply chain. The case studies analysed in this paper have a high chance of entering the biofuels market on another scale. However, the potential for biofuel production in Mexico is still emerging and far from being matched by the demand to be covered.

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo identificar el “estatus” de las cadenas de suministro de biocombustibles en México, mediante el análisis de caso de tres empresas ubicadas en el sureste de México que actualmente proveen de biocombustible o materia prima para su elaboración. Este trabajo describe además la disposición potencial de áreas para cultivos y la oferta de biomasas para la elaboración del biocombustible.

Actualmente en México existe poca información disponible para la identificación de las cadenas de suministro de los biocombustibles. Hasta el momento y desde el inicio de la investigación no hay suficiente información para construir los indicadores de los eslabones de una cadena de suministro, para iniciar una estandarización y optimización de los procesos de producción necesarios, los trabajos publicados en el tema trazan la cadena de forma hipotética y no potencializan información de campo. Por esta razón, la investigación se llevó a cabo para identificar los elementos clave de tres casos empleando información de campo vigente, los casos analizados cuentan con el establecimiento de cadenas de suministro particulares y únicas en el país.

El caso A es el de una empresa que tiene su propia cadena de suministro, incluye la recolección, procesamiento y consumo de biodiésel en su flota de camiones, la empresa obtiene el biodiésel a partir del aceite vegetal usado que recolecta en la zona restaurantera y hotelera de Cancún Quintana Roo. El caso B se refiere a una empresa que produce etanol anhidro a partir melazas clasificados como biocombustibles de primera generación (García Bustamante, 2016, 11), mediante un proceso de fermentación y destilación produce etanol neutro y mediante un proceso de tamizado molecular produce etanol anhidro (BestChem, 2017). A partir del etanol anhidro se obtiene el bioetanol que se comercializa como mezcla en la gasolina en porcentajes sugeridos por la empresa que pueden llegar hasta el 50%. La empresa referida en el caso B es una de las principales empresas productoras de etanol en México, ubicadas en el estado de Veracruz, la producción de

una de sus plantas supera los 38 millones de litros de etanol al año (SENER-SAGARPA, 2016, 177) en el 2015 tuvo que importar cerca de 2 millones de l de etanol para cubrir su demanda proveniente de Estados Unidos uno de los dos principales productores de etanol en el mundo junto con Brasil (SENER, 2012), y los de mayor flujo en el comercio internacional en la actualidad (ITC, 2017). El caso C describe la forma de operar la cadena de suministro de una empresa dedicada a la producción de aceite de ricino ubicada en el estado de Oaxaca (SENER-SAGARPA, 2016,184). Potencialmente el aceite de ricino extraído de la higuera, podría ser usado en la producción de biodiésel. Otra opción de producción de biodiésel es de los aceites vegetales usados.

A nivel nacional se estima que la producción de biodiésel a partir de los aceites vegetales usados se encuentra entre un 1.5% y un 3.3% en comparación al diésel producido de origen de hidrocarburos y que son usados principalmente por la industria del transporte (Sheinbaum-Pardo, Calderón-Irazoque, & Ramírez-Suárez, 2013, 236).

El consumo de combustibles para aviación en México es de 3,200 millones de litros anuales (González, 2017,581) y el reto es sustituir el 1% de este combustible por bioturbosina durante el año 2017, 10 % para el año 2020 50% para el año 2050 (González, 2017, 579). Lo que deja una demanda estimada de 3,2 millones de litros de bioturbosina para el año 2017.

En la Figura 1 se ilustran las principales etapas de las cadenas de suministros que intervienen en la producción y transformación de biodiésel y bioetanol, comenzando desde los suministros de agroquímicos, la producción de biomasa, los procesos de transformación de los sectores de mayor demanda de biocombustibles en México. El modelo de referencia para cadenas de suministro es un acercamiento del método Supply Chain Operations Reference model SCOR (Salazar, Cavazos, & Martínez, 2012, 52). Las cadenas de suministros de los biocombustibles están enfocadas al negocio y la productividad, en la medida de que estas sean rentables sustituirán a las cadenas establecidas de combustibles de origen de hidrocarburos que son la principal causa de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Aunque el método de cadena de suministro trata de optimizar los recursos y sistematizar los procesos, desde la orden o pedido hasta la eficiencia en el abastecimiento de biocombustibles, la cadena cuenta con etapas que tendrán que cumplir con alguno de los principios de sustentabilidad de la RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials) y en el marco legal establecido en cada país y el aplicable internacionalmente. En México el encargado de regular la cadena es la Secretaría de Energía (SENER).

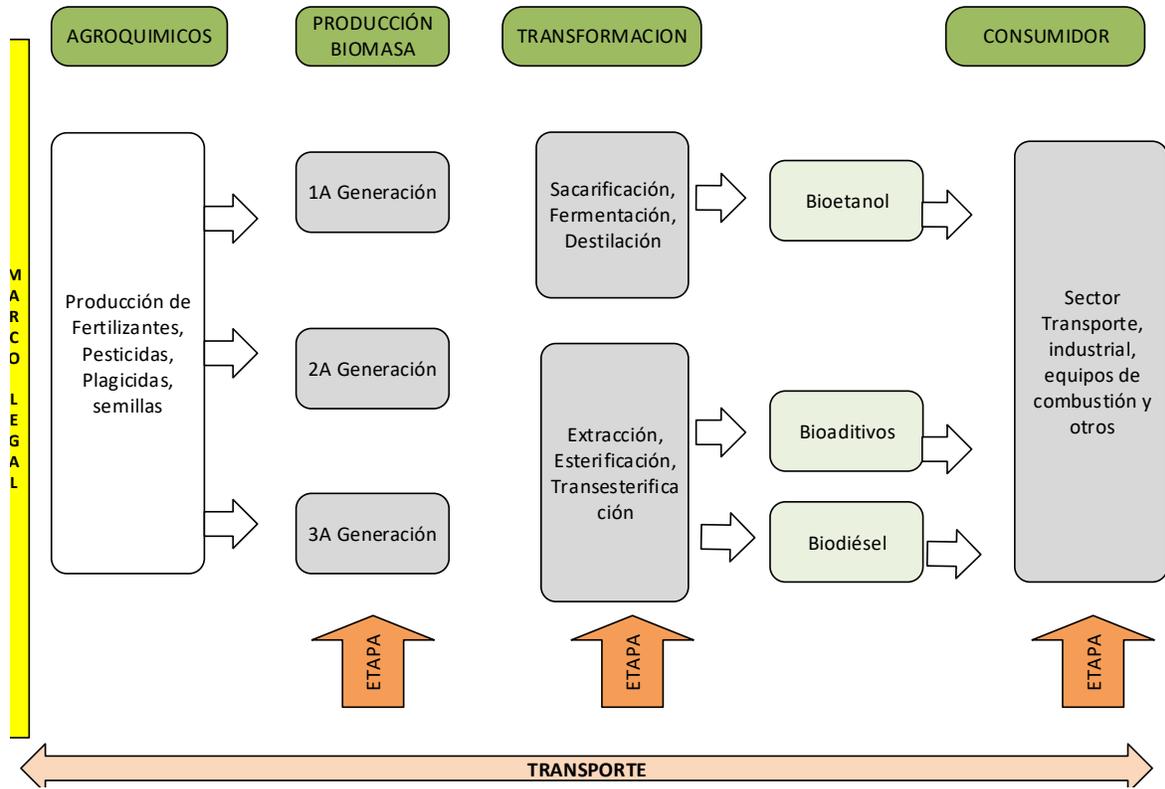


Figura 1. Cadena de suministro teórica de biocombustibles.

Para la viabilidad de la cadena de suministros es preponderante el análisis de precios del material vegetal, para el abastecimiento de materias primas (aceites para el caso de los biodiésel o azúcares para el caso del bioetanol). La variabilidad en los precios deja en un nivel de incertidumbre la optimización de los costos en la cadena de suministros (Santibañez Aguilar *et al.*, 2016,1061).

Por otro lado la *Jatropha curcas*, conocida en México como piñón mexicano, es estudiada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por su capacidad productora de aceite, con alto potencial como materia prima para la producción de biocombustibles. INIFAP está trabajando en el desarrollo y evaluación de los genotipos de *Jatropha* en diferentes ambientes (Sepúlveda González, 2012, 583).

Las cadenas de suministro, están invariablemente ligadas a los negocios globales, las cadenas de suministro de biocombustibles en México y en América Latina aún no están tan consolidadas como en los países desarrollados donde los flujos de los biocombustibles son a una escala mayor (Young & Esqueda, 2005, 69). México y América Latina están sujetas a la variabilidad de los volúmenes de biomasa para su producción, sin embargo, cada país y cada rama

industrial para la producción de biomásas usadas en la transformación de biocombustibles tienen sus propias particularidades.

Los volúmenes de bioetanol ofrecidos por las empresas en México es marginal y en ocasiones han recurrido a la importación para satisfacer la demanda local, lo que constituye una restricción al manejar los precios, con las nuevas regulaciones por parte de la Comisión de Energía, han autorizado solo el uso del 10% en las mezclas para las gasolinas en el resto del país y lo han prohibido en las tres principales ciudades en la República Mexicana; Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey (CRE, 2017). Por otro lado, los precios de los productores de bioetanol oscilan en 14.00 MN\$/L, resultado de un sondeo en varias estaciones ubicadas en Veracruz y Oaxaca, que es un precio 20% por debajo del precio de las gasolinas ofrecidos por compañías como PEMEX (CRE, 2017).

Método

Para la investigación de campo se contó con un equipo de trabajo especialistas en los temas, que realizaron un levantamiento de datos a proveedores, recolectores, transformadores de aceite vegetal usado, mediante instrumentos prediseñados.

Las bases de datos utilizadas fueron de dependencias oficiales de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), INIFAP, los Directorios Estadísticos de Unidades Económicas (DENUE), dependencias de Ecología de los Estados de Jalisco y Guanajuato. Por otro lado los datos de comercio internacional fueron tomados de las bases de datos del International Trade Centre (ITC, 2017).

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron: entrevistas respondidas en los sitios mediante cuestionarios o guías de “tópicos”, además de encuestas telefónicas en base a directorios de las dependencias oficiales. La construcción sobre la cadena de suministro se basó especialmente en el modelo SCOR similar al mostrado en (Salazar et al., 2012, 49).

La elaboración de los mapas de ubicación de las instituciones y empresas entrevistadas, se realizaron con el software ArcGIS Versión 10.5, el software para editar fue CorelDraw Versión 2017.

Resultados y discusión

Fueron analizados e identificados los elementos claves en las cadenas de suministro de biodiésel y bioetanol en tres casos de estudio en el sureste de México, se toman los datos proporcionados de forma verbal y mediante encuestas en campo acerca del estado actual de los elementos de las cadenas de suministro. En la tabla 1 se muestra un resumen del giro de empresas que fueron entrevistadas, para realizar el establecimiento de las cadenas de suministro presentadas en este trabajo.

Tabla 1. Entrevistados por giro.

TABLA GENERAL DE ENTREVISTADOS	
GIRO	Empresa-Institución
Productores de biodiésel o bioetanol	8
Generadores y proveedores de aceite	21
Proveedores de insumos agrícolas	11
Recolectores y transportistas de aceite	17
Total general	57

Logramos identificar factores positivos del mercado dentro de la cadena de suministros para los productores de bioetanol debido a los grandes volúmenes de producción de bioetanol en México y no así para los productores de biodiésel. Nuestra observación indica que la demanda internacional de bioetanol es la causa de que exista una mayor producción comparada con la del biodiésel.

Casos de estudio

CASO A. Empresa productora de biodiésel de autoconsumo a partir de aceite vegetal reciclado. En la Figura 2 se muestra el esquema de la cadena de producción de biodiésel el cual se compone de 15 etapas principales y se obtiene como subproducto principal la glicerina. Las etapas son: 1. recolección; 2. primer almacenamiento; 3. primera decantación; 4. entrega; 5. recepción; 6. segundo almacenamiento; 7. segunda decantación; 8. primera filtración; 9a. precalentamiento; 9b. mezclado (preparación de metóxido); 10. esterificación; 11. transesterificación; 12BD. segunda filtración (biodiésel); 12GL. trasvase de glicerina (coproducto); 13BD. almacenamiento de biodiésel; 13GL. almacenamiento de glicerina; 14BD. entrega de biodiésel (producto terminado);

14GL. entrega de glicerina (coproducto terminado); 15BD. usuario final del biodiésel; 15GL. usuario final de la glicerina.

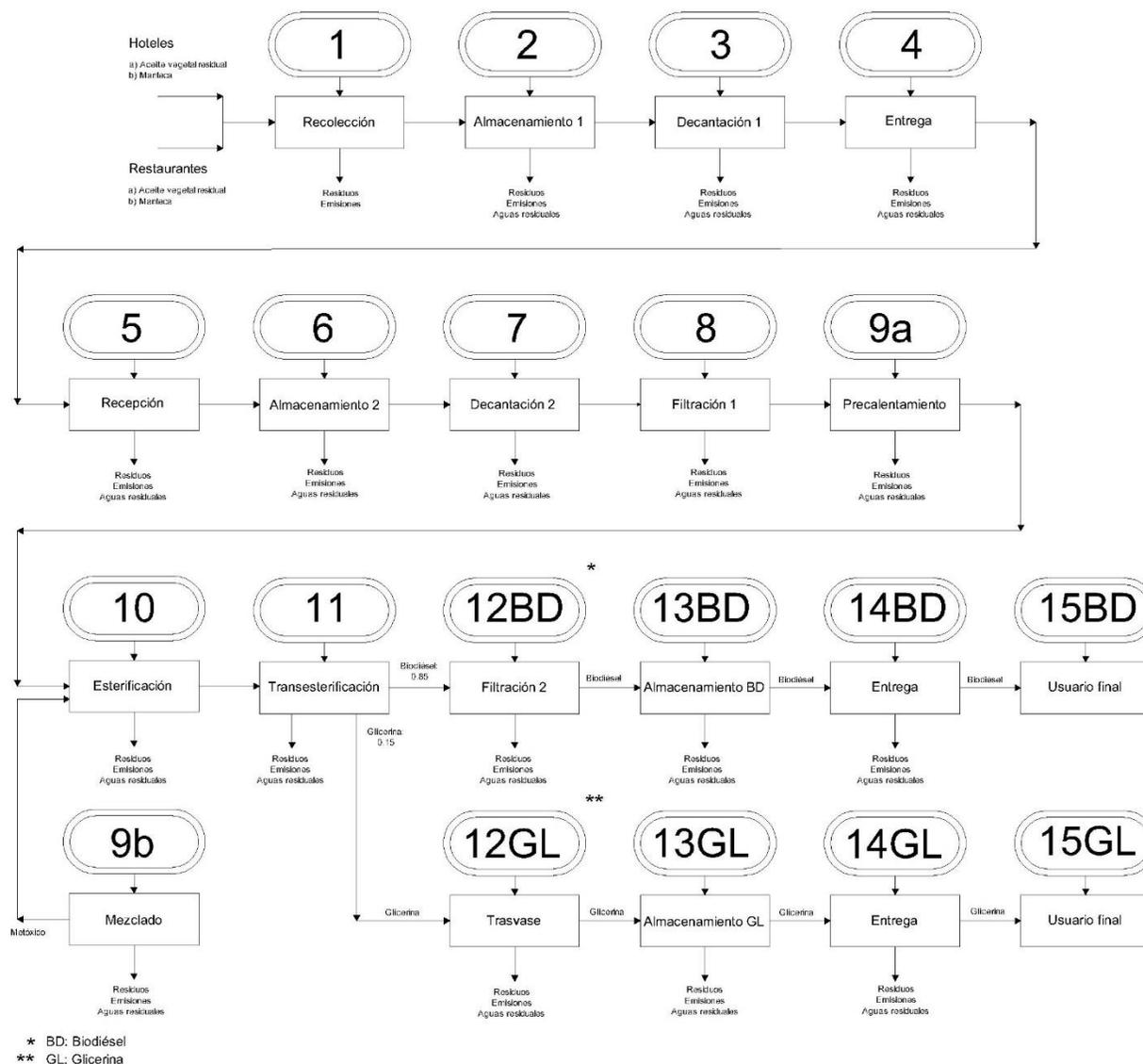


Figura 2. Distribución de la cadena de suministros Caso A (biodiésel).

CASO B. Empresa productora de Bioetanol grado alimenticio a partir de vinazas. La Figura 3 muestra el proceso de producción el cual se compone de 10 etapas principales. Las etapas son: 1. recepción de melaza; 2. almacenamiento de melaza; 3. fermentación; 4. tanque de mosto; 5. destilación; 6E. almacenamiento de etanol grado alimenticio (coproducto terminado); 7E. usuario final (industria vinícola); 6. destilación con malla molecular; 7EA. almacenamiento de etanol

anhídrido (producto terminado) ; 8EA. transporte de producto terminado; 9EA1, 9EA2, 9EA3, 9EA4. estaciones de servicio; 10EA. usuario final (flotillas de taxis y transportistas en general). El bioetanol anhídrido se usa en mezclas del 50% a un precio de venta de entre 13,00 y 14,00 MN\$/L.

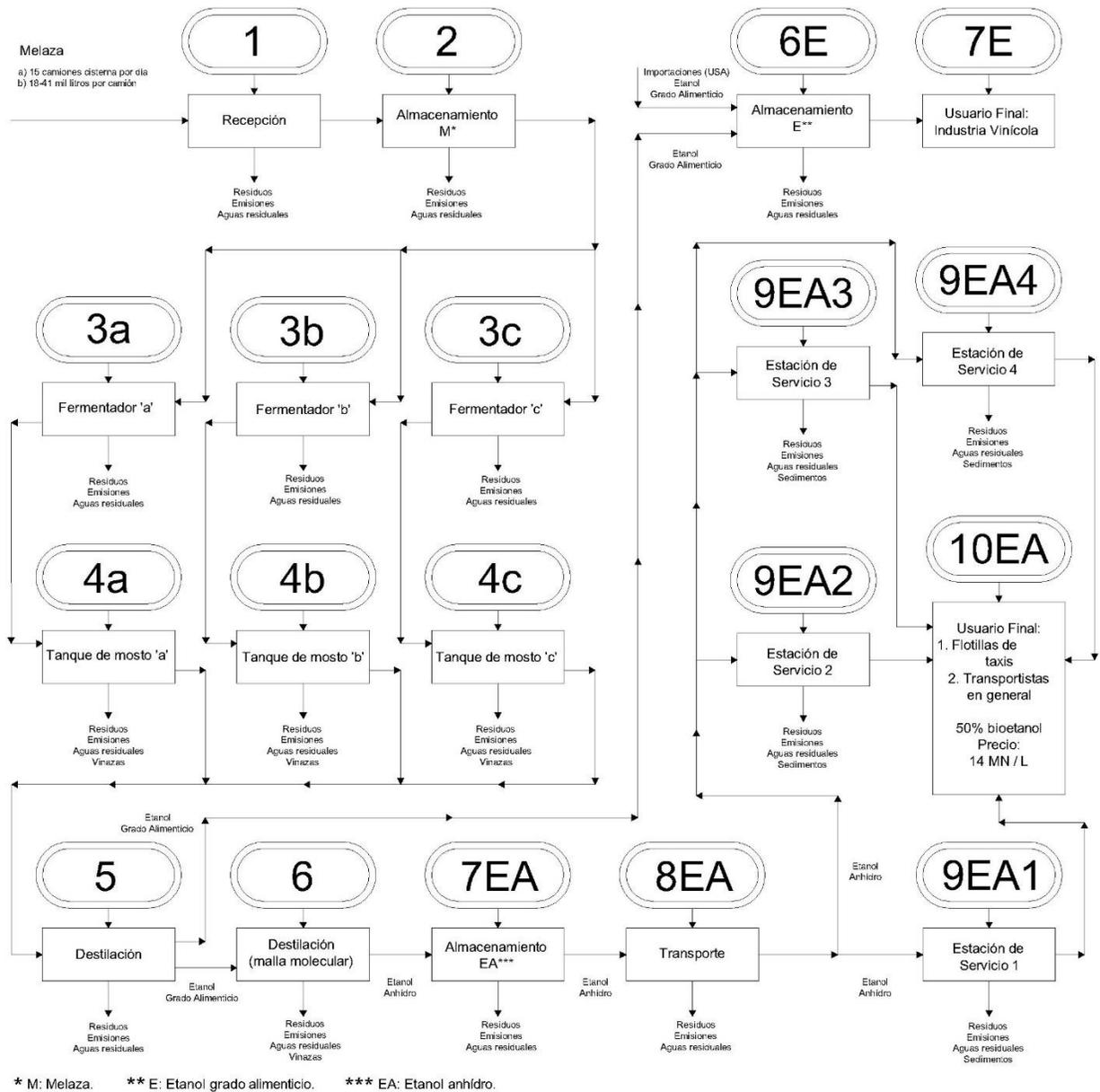


Figura 3. Distribución de la cadena de suministros Caso B (bioetanol).

CASO C. Planta procesadora de semillas de Higuerrilla para la extracción y venta de aceite. En la Figura 4 se muestra el diagrama de la cadena de suministros. El proceso de producción de aceite de ricino se compone de 11 etapas y la producción de pasta como subproducto para el complemento

de alimento para ganado o materia para formación de composta. Las etapas son: la producción o cultivo de higuerilla; 2. Almacén 1 de semilla; 3. Descascarado de la semilla; 4. Molienda; 5. Extracción primaria; 6. Extracción del residuo; 7. Almacén de pasta; 8. Filtración; 9. Clarificación; 10. Almacén final; 11. Envasado en totes de 1000 L o pipas de entre 15,000 L y 30,000 L; 12 Transporte a los centros de transformación de la industria cosmética o farmacéutica. La planta tiene una capacidad instalada para procesar 100 t/día de semilla de higuerilla.



Figura 4. Distribución de la cadena de suministros Caso C (aceite de ricino).

Los precios que se paga a los agricultores de las zonas de cultivo de la higuerilla de Oaxaca es de 8 MN\$/kg, sin embargo, aún están sujetos a la oferta y la demanda. Aunque existe una superficie sembrada de alrededor de 3,000 ha. Esta empresa tiene una mayor demanda de producto y la posibilidad de crecer su producción, sin embargo la materia prima para ellos se encuentra escasa, motivo por el cual la empresa trabaja en colaboración con SAGARPA para incorporar otras 1,600

ha de área sembrada dentro de los 58 municipios para el ciclo 2017-2018. La empresa promueve entre los agricultores el cultivo de Higuierilla y en coordinación con técnicos de SAGARPA ofrece de forma subsidiada fertilizantes y asesoría técnica para el cultivo y cuidado.

Con las visitas en campo se detectó la falta de regulaciones en los precios, por lo cual son establecidos por los involucrados de manera arbitraria por ejemplo: la semilla de Higuierilla tiene un precio de 8.00 MN\$/kg pesos por kg, el aceite de ricino tiene un precio de venta de entre 25.00 MN\$/L pesos y 35.00 MN\$/L; con un rendimiento aproximado del 42% de aceite con relación al peso de la semilla. Bajo este panorama, se vuelve más atractivo ofertar el aceite a empresas de la industria cosmética o fabricantes de jabones que lo demanda a ese precio, ya que para la producción de biodiésel no resulta costeable para la producción del biodiésel (Datos obtenidos en entrevista).

Análisis y establecimientos de cadenas de suministro en México

A partir del análisis de información de los actores involucrados en las cadenas de suministro de los casos particulares evaluados en este trabajo, se encontró que una opción para hacer viable la cadena del biodiésel es el reciclado de los aceites vegetales usados como materia prima. Los principales proveedores de aceite vegetal usado en México son los restaurantes de comida rápida los cuales en promedio desechan entre 70 L y 100 L de aceite cada 15 días por establecimiento, la muestra de restaurantes encuestados de las franquicias de McDonalds, Burger King, Carl's Jr., KFC, Wings Army, que en su conjunto suman más de 1,200 restaurantes en México (INEGI, 2014), con estos datos se estima un promedio de más de 10,000 L de aceite usado generados diariamente. Se requiere un análisis más detallado de la disposición de residuos de estos restaurantes y algunas otras franquicias ya que la información no se encuentra disponible y es compartida por los encargados de manera estimada, lo que hace complicado establecer el volumen real de oferta de aceite usado. En la Figura 4 se muestra los actores involucrados en la cadena de suministro del aceite vegetal usado en México, entre ellos los recolectores de aceite, transportistas y los productores de biodiésel. Es importante notar como los productores se encuentran en la zona centro sur del país a pesar de que el aceite usado se genera a lo largo de todo el territorio nacional, esto implica una movilidad de materia prima que genera consumo de combustibles, haciendo notoria la necesidad de establecer una cadena de suministro sustentable.

La oferta de aceite vegetal usado potencialmente cubre una parte importante de la demanda, pero la logística de recolección aún no se sistematiza, debido a que no está cuantificada la generación promedio de aceite vegetal usado en los negocios de México.

Los costos de producción del biodiésel pueden variar sensiblemente, dependiendo de la demanda, el aceite recolectado tiene un costo de entre 2.00 MN\$/L y 3.00 MN\$/L, los precios de venta del biodiésel obtenido a partir de estos aceites están entre 13.00 MN\$/L y 14.00 MN\$/L, a este precio el biodiésel compite con los combustibles de origen fósil cuyo precio oscila entre 16.50 MN\$/L y 16.75 MN\$/L, en el territorio nacional. Sin embargo, la ausencia de regulación por falta de información afecta los costos y precios de venta en todas las etapas de las cadenas de suministro analizadas en este trabajo, poniendo en riesgo inminente la rentabilidad y consolidación del suministro por el factor “precio” de los insumos en las cadenas productivas.

Por otro lado, la principal razón por la que no se encuentren consolidadas las cadenas de suministro en México es porque no están regulados los precios de los suministros en caso de las semillas productoras de aceite. De acuerdo a nuestras observaciones el productor de semilla vende al precio fijado por el comprador, en ocasiones para el agricultor la venta de semillas de Higuierilla representa un ingreso extra ya que se produce en la misma parcela donde cultivan maíz o frijol; sin embargo, esta práctica incumple con uno de los principios de sustentabilidad. Esta práctica podría ser evitada al aumentar la demanda de la semilla en los próximos años, destinado parcelas exclusivas en tierras no aptas para alimentos.

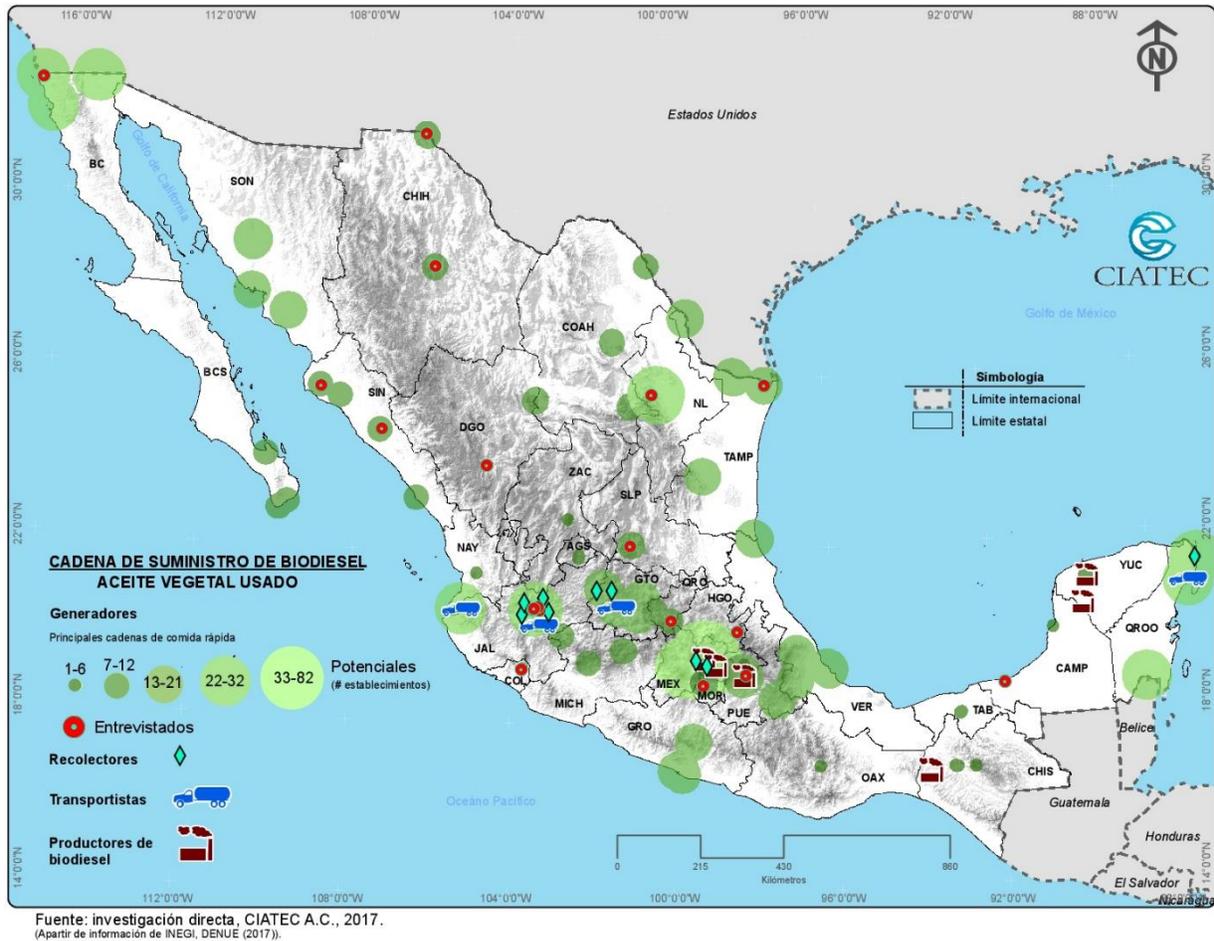


Figura 5. Cadena de suministro: Aceite vegetal usado.

La oferta de semilla de *Jatropha* e *Higuerilla* en este momento no es suficiente para la producción de aceite necesaria para el abastecimiento como materia prima para la generación del 1% de biocombustible que se planteó para este año (Borja Bravo, Reyes Muro, Espinosa Garcia, & Vélez Izquierdo, 2016, 451). Además, los precios de aceites de *Jatropha* e *Higuerilla* para la producción de biocombustibles no son atractivos debido a que la industria cosmética y farmacéutica demandan una cantidad importante del aceite pagando un precio superior al costo actual de cualquier combustible.

La información que encontramos nos permitió ubicar a los INIFAP del país que están involucrados en proyectos relacionados con los bioenergéticos, así como las empresas privadas que están involucradas en la producción y procesamiento de la *Jatropha*. En la Figura 6 se observa la distribución de los principales fabricantes de agroquímicos, los transformadores de biodiésel o

bioaditivo a partir de *Jatropha*. Uno de las empresas transformadoras utiliza el biodiésel para su propio consumo.

La poca cantidad de empresas transformadoras representa un hallazgo importante ya que demuestra que México actualmente no cuenta con tecnología suficiente para transformar la cantidad de aceite que se requiere para abastecer la demanda de biocombustibles.

El mapa mostrado en la Figura 6 identifica zonas de alto a bajo potencial para el desarrollo de *Jatropha* en gradiente de color que van del verde al rojo. De acuerdo a las características agroecológicas la zona en color verde indica un alto potencial y en el bajo potencial en color rojo, se puede observar que actualmente la siembra de la *Jatropha* se ubica principalmente en los estados de Chiapas, Michoacán, Morelos, Guerrero, Oaxaca, Sinaloa, Tamaulipas y Yucatán, y no coincide necesariamente con las zonas identificadas como alto potencial agroecológico.

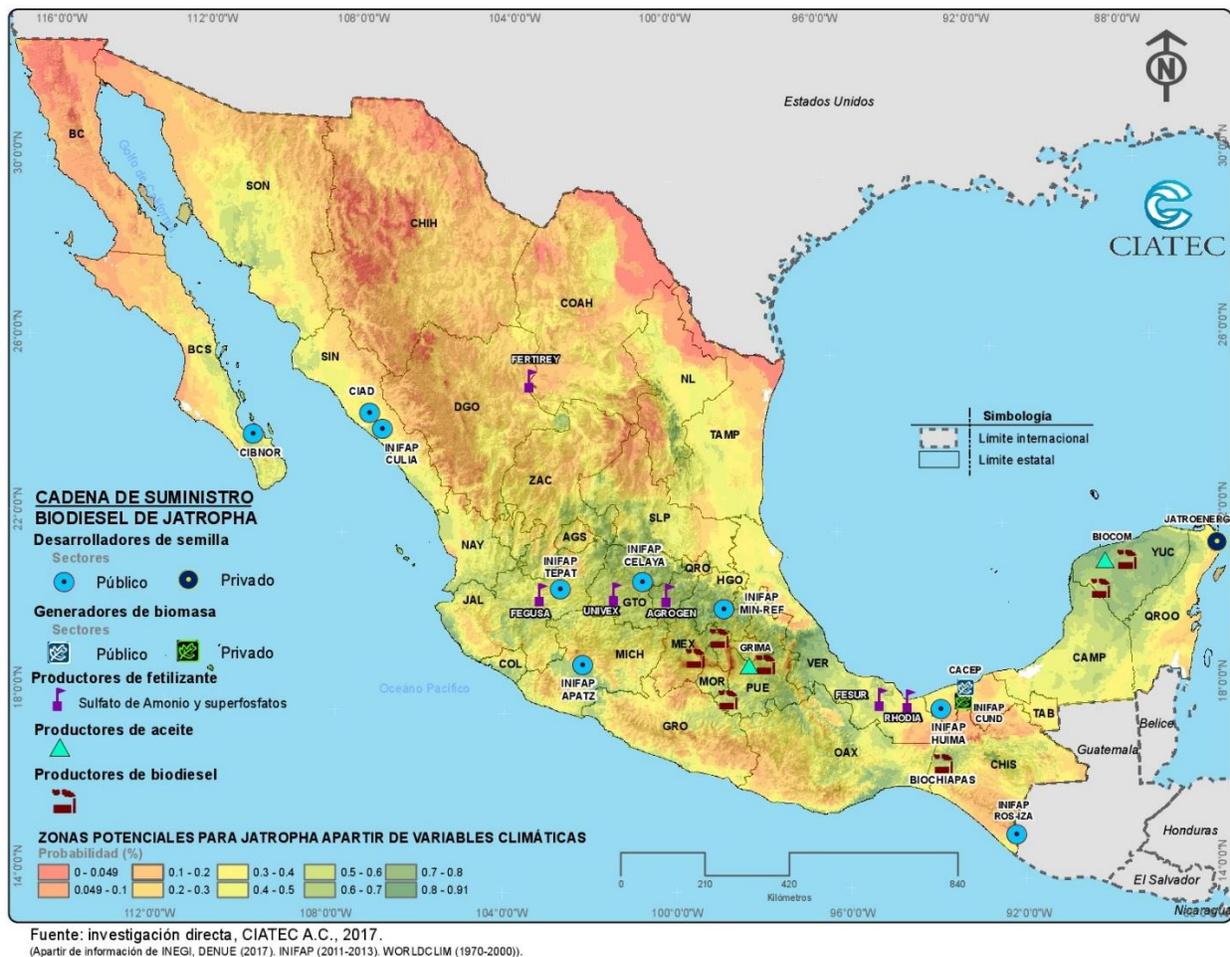


Figura 6. Ubicación de principales elementos de cadena de suministros de biodiésel a partir de *Jatropha*.

La poca cantidad de empresas transformadoras representa un hallazgo importante ya que demuestra que México actualmente no cuenta con tecnología suficiente para transformar la cantidad de aceite que se requiere para abastecer la demanda de biocombustibles.

En México se han desarrollado trabajos que se enfocan principalmente a los modelos teóricos para la optimización de las cadenas de suministro, que han tratado de ubicar las biorefinerías en zonas de mayor concentración de transporte aéreo (Domínguez-García, Gutiérrez-Antonio, De Lira-Flores, & Ponce-Ortega, 2017, 1390), sin embargo, no se ha logrado llegar a un establecimiento óptimo debido a que algunos factores son valores hipotéticos.

Los casos de estudios mostrados son un ejemplo de posibilidad de entrar en el Mercado de los biocombustibles. Sin embargo, el potencial de producción de biocombustibles en este país es incipiente y dista de acercarse a la demanda que habrá que cubrir para la producción de biocombustibles. La cantidad que se produce actualmente no abastecería la cadena de suministro de biodiésel, por lo que se propone la importación de aceites vegetales, en tanto no se tenga la suficiente superficie sembrada de cultivos perenes (SEMARNAT, 2010,1). La falta de capacidad de producción de estos productos agrícolas, implicarían el uso de biomasas sustitutas en las temporadas donde no haya suficiente abastecimiento, lo que significaría un ajuste en el proceso que impactaría en el costo de producción, los suministros y la logística.

De acuerdo a lo descrito en este trabajo, el panorama en el suministro local de bioetanol y biodiésel en México se ve amenazado por la importación de biocombustibles de otros países causado por la falta de desarrollo agronómico y tecnológico que permita el abastecimiento de materia prima. Las regulaciones de las mezclas de etanol en los combustibles por parte de la Comisión de Regulación de Energéticos en México, afectará la disposición de etanol anhidro si los proveedores ven afectados sus cuotas de producción de etanol destinado para biocombustibles.

México cuenta con zonas potenciales para la producción de los cultivos que permitirán abastecer biorefinerías o centros productores de biocombustibles, sin embargo, requiere el establecimiento de la legislación para mantener el precio de los insumos, así como los lineamientos de producción, para entonces consolidar las cadenas de suministro que permitan un desarrollo sustentable y económicamente viable.

Conclusiones

El análisis e identificación de la cadena de suministros en base a los casos de estudio revisados en el presente trabajo, proporciona información valiosa para comenzar a establecer indicadores que puedan medir la eficacia de la cadena de suministros y poder dimensionar la disposición de las diferentes materias primas tales como, *Jatropha*, *Higuerilla*, aceites vegetales usados y etanol; las cuales representan la opción con mayor posibilidad para poder competir con los biocombustibles de origen fósil. Establece a su vez los principios para poder construir una cadena diferenciada por tipo de materia prima en México. El presente trabajo apoyará la toma de decisiones para la elaboración de posteriores estudios que reflejen con más claridad la rentabilidad económica de la cadena de biocombustibles en el país en función de los sitios de oferta y demanda de las materias primas identificadas en este estudio para la elaboración, distribución y comercialización de biocombustibles.

Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento al Fondo SENER-CONACY por el financiamiento del proyecto y cuyos recursos fueron empleados para la investigación.

Referencias

- BestChem. (2017). Tamiz molecular disecante para DVH. Recuperado de <http://www.bestchem.com.ar> consultado 1° Septiembre 2017.
- Borja Bravo, M., Reyes Muro, L., Espinosa Garcia, J. A., & Vélez Izquierdo, A. (2016). Revista mexicana de agronegocios. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 39, 451–464. Recuperado de <http://www.redalyc.org>.
- CRE. Comisión Reguladora de Energía. (2017). Precios máximos regionales noviembre. Recuperado de <https://www.gob.mx/cre/documentos/precios-maximos-regionales-noviembre> consultado 11 noviembre 2017.
- Domínguez-García, S., Gutiérrez-Antonio, C., De Lira-Flores, J. A., & Ponce-Ortega, J. M. (2017). Optimal planning for the supply chain of biofuels for aviation in Mexico. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(5), 1387–1402.
- García Bustamante, C. A., & Masera Cerutti, O. (2016). Estado del Arte de la bioenergía en México. Guadalajara: Imagia Comunicación S. de RL. de CV.

- González, I. S. (2012). Bioturbosina . Producción de cultivos energéticos para la aviación comercial, 3, 579–594.
- INEGI. (2014). Directorio Nacional de Unidades Económicas. DENU. *Censos Económicos 2014*. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denu/default.aspx>.
- ITC. International Trade Centre. (2017). Trade Map - Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas., Recuperado de <http://www.trademap.org/Index.aspx> consultado 23 de Agosto 2017.
- Salazar, F., Cavazos, J., & Martínez, J. L. (2012). Metodología basada en el Modelo De Referencia para Cadenas de Suministro para analizar el proceso de producción de Biodiésel a partir de higuierilla. *Informacion Tecnologica*, 23(1), 47–56.
- Santibañez-Aguilar, J. E., Guillen-Goslbez, G., Morales-Rodriguez, R., Jimenez-Esteller, L., Castro-Montoya, A. J., & Ponce-Ortega, J. M. (2016). Financial Risk Assessment and Optimal Planning of Biofuels Supply Chains under Uncertainty. *Bioenergy Research*, 9(4), 1053–1069.
- SEMARNAT. (2010). Compendio de estadísticas ambientales 2010. Recuperado de <http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010> consultado 5 Septiembre, 2017.
- SENER. (2012). Análisis y propuesta para la producción de etanol anhidro en las gasolinas que comercializa PEMEX, 62.
- SENER-SAGARPA. (2016). *Proyecto Bioeconomía 2010-2018*. (SENER-SAGARPA, Ed.) (Primera ed). Ciudad de México, 177-184.
- Sepúlveda González, I. (2012). Bioturbosina, Producción de cultivos energéticos para la aviación comercial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 579–594.
- Sheinbaum Pardo, C., Calderón Irazoque, A., & Ramírez Suárez, M. (2013). Potential of biodiésel from waste cooking oil in Mexico. *Biomass and Bioenergy*, 56(55), 230–238.
- Young, R., & Esqueda, P. (2005). Supply Chain Vulnerability: considerations of the case of Latin America. *Revista Latinoamericana de Administración*, 63–78.