

Recibido: 29 | 11 | 2016 Aprobado: 16 | 05 | 2017

Emyle Lucia Britton-Acevedo¹ Jaider Manuel Vega-Jurado² Jahir Lombana³

Artículo de Investigación

Alternativas productivas para la industria de biodiésel en Colombia

Production alternatives for the biodiesel's industry in Colombia

Alternativas produtivas para a indústria de biodiesel na Colômbia

1. Administradora de Empresas-

Universidad del Norte, Maestrante de Cooperación Internacional y Gestión de Proyectos en la Universidad del Norte. Asistente de Investigación Programa Agroindustrial y Bioenergético del Departamento Atlántico, Escuela de Negocios-Universidad del Norte, Barranquilla - Colombia @: ebritton@uninorte.edu.co

2. PhD- en Proyectos de Ingeniería e Innovación de la Universidad

Politécnica de Valencia (España), especialista en Proyectos de Ingeniería por esta misma universidad e Ingeniero Industrial de la universidad del Atlántico (Colombia). Investigador Senior, Escuela de Negocios - Universidad del Norte, Barranquilla - Colombia @: jaiderv@uninorte.edu.co

3. Doctor- en Economía de la

Universidad de Göttingen (Alemania), (autor para correspondencia) es especialista y master en Estudios Internacionales de la Universidad de Chile, economista del Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario. Investigador Junior, Escuela de Negocios - Universidad del Norte, Barranquilla - Colombia @: lombanj@uninorte.edu.co

Resumen. La industria mundial del biodiésel tiene como desafío identificar materias primas alternativas y desarrollar tecnologías, que permitan disminuir costos de producción de este biocombustible, haciéndolo más competitivo frente al derivado del petróleo y garantizando el cumplimiento de especificaciones técnicas exigidas por normativas nacionales e internacionales. El presente trabajo, presenta una reflexión sobre alternativas comerciales de tres materias primas consideradas en los procesos de producción de biodiésel: aceite de soja, sebo animal y aceite de cocina usado. El objetivo de la investigación, es identificar las ventajas y desventajas asociadas con dichos productos y su potencial uso como alternativa para la industria colombiana de biodiésel. Para

ello, se revisa la evolución de la industria del biodiésel en Colombia y se seleccionan productos que por propiedades pueden ser alternativas al país. Se concluye, que el aceite de soja y el de sebo animal tienen precios desventajosos frente al aceite de palma, además de su baja disponibilidad lo que haría al país dependiente de importaciones. Por su parte el aceite de cocina usado, pese a requerir un proceso químico complejo, la disponibilidad y las posibilidades de hacer economías a escala a partir de él, lo hacen la alternativa más promisoría para Colombia.

Palabras claves → industria de biodiésel, análisis de mercado, producción, comercio internacional, aceite de soja, sebo, aceite de cocina usado

Abstract. The challenge of the global biodiesel industry is to identify alternative raw materials and develop technologies to reduce the production costs of this biofuel, making it more competitive against the petroleum derivatives and ensuring compliance with technical specifications required by national and international regulations. This document presents a reflection on commercial alternatives of three raw materials considered in the processes of production of biodiesel: soybean oil, animal tallow and used cooking oil. The objective of the research is to identify the advantages and disadvantages associated with these products and their potential use as an alternative for the Colombian biodiesel industry. To do this, there is a review of the evolution of the biodiesel industry in Colombia, and thus to select products that for properties may be alternatives for the country. It is concluded that soybean oil and animal tallow have disadvantageous prices compared to palm oil, in addition to their low availability which would make the country dependent on imports. Used cooking oil, in spite of requiring a complex chemical process, the availability and possibilities of making economies of scale from it, make it the most promising alternative for Colombia.

Keywords → biodiesel industry, market analysis, production, international trade, soybean oil, tallow, used cooking oil

Resumo. O desafio da indústria global de biodiesel é identificar matérias-primas alternativas e desenvolver tecnologias para reduzir os custos de produção desse biocombustível, tornando-o mais competitivo com o petróleo e assegurar o cumprimento das especificações técnicas exigidas pelos regulamentos nacionais e internacionais. Este artigo apresenta uma reflexão sobre alternativas comerciais consideradas três matérias-primas no processo de produção de biodiesel: óleo de soja, gordura animal e óleo de cozinha usado. O objetivo da pesquisa é identificar as vantagens e desvantagens associadas a estes produtos e seu uso potencial como alternativa para a indústria de biodiesel da Colômbia. Isso requer o desenvolvimento da indústria do biodiesel na Colômbia é revisto e propriedades do produ-

to que podem ser alternativas para o país. Conclui-se que o óleo de soja e gordura animal têm preços desvantajosos em relação ao óleo de palma, além de sua baixa disponibilidade que tornaria o país dependente das importações. Por sua parte, óleo de cozinha usado, apesar de exigir um processo químico complexo, a disponibilidade e as possibilidades de economias de escala a partir dele, tornam a alternativa mais promissora para a Colômbia.

Palavras-chave → indústria de biodiesel, análise de mercado, produção, comércio internacional, óleo de soja, sebo, óleo de cozinha usado

Introducción

En las últimas décadas el desarrollo y producción de fuentes de energías renovables, se ha presentado como una prometedora solución para contrarrestar dos problemáticas que aquejan a toda la población mundial. La primera de ellas, es el calentamiento global, cuya principal causa es el aumento desmedido de los Gases de Efecto Invernadero-GEI, muchos de ellos emitidos durante el proceso de combustión de los combustibles fósiles. La segunda problemática, está relacionada con la posibilidad de que se presente una crisis energética, producto de la creciente demanda por el uso de combustibles fósiles y la escasez de las reservas mundiales de petróleo (Demirbas, 2007)

Frente a este panorama, el biodiésel es uno de los tipos de energías renovables que ha adquirido gran relevancia en los últimos años, por ser considerado como uno de los combustibles alternativos de mayor potencial (Fernando, Hall & Jha, 2006). A lo anterior, se suman los diversos beneficios que se generan a partir de su producción y uso, los cuales se extienden desde el ámbito ambiental, económico y social, hasta garantizar la seguridad energética de los países.

Desde la perspectiva ambiental, las principales ventajas que se le atribuyen al uso del biodiésel, se relacionan con los bajos niveles de emisión de los GEI. Su característica de biodegradabilidad y su carácter renovable, lo convierten en combustible amigable con el medio ambiente (Cabrera, Burbano & Garcia, 2011).

Desde el punto de vista económico, la producción de biodiésel contribuye a valorizar ciertos cultivos agrícolas y al fortalecimiento del área rural y urbana a través de la generación de empleos (Demirbas, 2008). Finalmente, la producción de biodiésel permite reducir la dependencia de importaciones de petróleo al contribuir a la diversificación del portafolio energético, brindando de esta manera seguridad y sostenibilidad energética a los países que lo producen y lo emplean como combustible (Cortés, Suarez, & Pardo, 2009)

No obstante, a pesar de las ventajas antes señaladas, el costo de producción del biodiésel constituye una fuerte barrera para el desarrollo de su producción a gran escala. Este hecho, esta determinado en gran medida por el alto costo de las materias primas empleadas en el proceso de producción, particularmente en lo que respecta al costo de los aceites vegetales vírgenes (Kulkarni & Dalai, 2006).

Cabe destacar en este punto, que la materia prima representa entre el 60 y el 80% del costo total de producción de este biocombustible (Glišić, Lukic & Skala, 2009). Por esta razón, hay quienes afirman que el biodiésel producido a partir de aceites vegetales frescos no es competitivo (Ng, Ng, & Gan, 2010) En adición, la producción de biocombustibles a partir de aceites vegetales vírgenes ha generado diversas polémicas, tanto desde la perspectiva ambiental como desde el punto de vista de la seguridad alimentaria.

Estas preocupaciones son las que han fomentado la investigación y desarrollo de biocombustibles de segunda y tercera generación, los cuales se basan en el uso de materias primas que no comprometen la seguridad alimentaria, puesto que no son aptas para el consumo humano; además no ponen en peligro la conservación del medio ambiente. Algunas de las materias primas alternativas en las cuales se han concentrado las investigaciones son, el sebo de res, el aceite de cocina usado y la grasa amarilla, las cuales son consideradas como desechos o residuos de ciertos procesos de producción (Demirbas, 2005) al tiempo que se han analizado materias primas menos convencionales como las microalgas y bacterias.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, podría afirmarse que uno de los grandes retos actuales de la industria del biodiésel, es el desarrollo de tecnologías que permitan la producción de biodiésel a partir de materias primas de segunda y tercera generación (p.ej., grasas animales, lignocelulósica, aceites no aptos para consumo humano, microalgas, entre otros), teniendo en cuenta los parámetros técnicos exigidos por las normas nacionales e internacionales.

El principal objetivo del presente artículo, es realizar una evaluación desde la perspectiva económica de tres materias primas potenciales para la producción de biodiésel: aceite de soja, sebo de res y aceite de cocina usado. Para ello, se analiza la capacidad de producción mundial de estas materias primas, el comercio internacional de las mismas (destacando principales exportadores e importadores) y comparación de precios y, se realiza un análisis de la capacidad de producción y adquisición de estas materias primas en Colombia.

Para realizar el análisis de la producción mundial y el comercio internacional del aceite de soja y del sebo, se utilizó la base de datos FAOSTAT

de la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura-FAO. Los datos obtenidos fueron organizados en gráficos y tablas para facilitar su interpretación y poder realizar el análisis de producción y comercio internacional. Para analizar las importaciones realizadas desde Colombia, se emplearon las bases de datos Sicec de Quintero Hnos Ltda y Legiscomex y los códigos de nomenclatura 1507100000: aceite de soja en bruto y 1502101000: sebo desnaturalizado respectivamente. Es importante mencionar, que existe una subpartida arancelaria que agrupa los demás tipos de sebo de bovinos, ovinos o caprinos exceptuando los de la partida 1503; sin embargo, empleando esta subpartida la base de datos no arrojó datos de importaciones en el período analizado.

La subpartida arancelaria que se emplea para realizar operaciones de comercio de exterior del aceite de cocina usado, es la 1518009000, la cual agrupa grasas y aceites, animales o vegetales, y sus fracciones, cocidos, oxidados, deshidratados, sulfurados, soplados, o modificados químicamente. Cabe destacar en este punto, que el mercado del aceite de cocina usado se encuentra poco documentado, razón por la cual para realizar el análisis de precios y de su producción mundial, se usa como referencia diferentes artículos científicos en los que se presentan datos de producción de algunos países. También, se emplea información proporcionada en las páginas web de las empresas cuya actividad económica consiste en la recolección, procesamiento y comercialización del aceite de cocina usado. La investigación es complementada con información proporcionada por libros, informes de organizaciones tales como el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA; el Worldwatch Institute, Fedepalma y Fedebiocombustibles.

Evolución del sector biodiésel en Colombia

En Colombia, la cadena productiva del biodiésel está conformada por tres niveles: agrícola, industrial y de servicios (Bochno, 2011). Al primer eslabón pertenecen los cultivadores y plantas de beneficio del aceite de palma. El segundo eslabón comprende a los productores de biodiésel a través de procesos de transesterificación, mientras que el tercer eslabón está conformado por los distribuidores mayoristas, es decir, aquellas plantas en donde se realiza la mezcla de biodiésel con diésel fósil; las refinerías, en las cuales en muchos casos se efectúa un porcentaje del total de mezcla establecido y por los distribuidores minoristas o estaciones de servicio quienes finalmente comercializan la mezcla de biodiésel con diésel fósil a los consumidores finales.

Desde el nacimiento de la industria del biodiésel en el año 2008 hasta el año 2014, el número de plantas en funcionamiento ha evolucionado satisfactoriamente. Mientras en el año 2008, existían solo dos plantas con una capacidad instalada total de 86.000 toneladas de biodiésel por año; en el año 2016, doce plantas ubicadas en diversas zonas del país (norte y centro-oriente) contaban con una capacidad de generar 661.000 toneladas de biodiésel cada año (Fedebiocombustibles, s.f.1)

No obstante, a pesar de este incremento considerable en la capacidad de producción, en los últimos años se ha evidenciado un menor dinamismo del sector, registrándose tasas de crecimiento inferiores a las que se presentaron durante los primeros años de desarrollo de la industria (ver Figura.1).

Se han identificado más de 300 materias primas para la producción de este biocombustible (Shahid & Jamal 2011), entre las que se incluyen

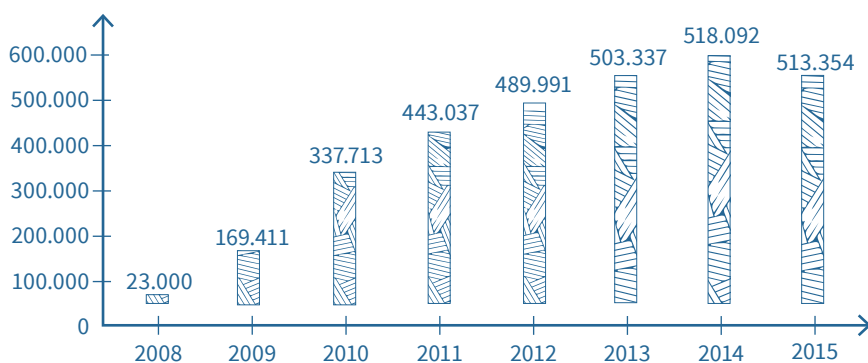


Figura 1. Producción de biodiésel de aceite de palma. Cifras en toneladas. Fuente: Los autores a partir de Fedebiocombustibles (s.f.1 y s.f.2).

aceites vegetales vírgenes, grasas animales, aceites no aptos para el consumo humano, entre otros. En los países productores de biodiésel, la elección de la materia prima que se emplea para su fabricación, depende en gran parte de la disponibilidad nacional de un determinado cultivo energético. En línea con lo anterior, en la mayoría de países tropicales, como por ejemplo Malasia, el biodiésel es producido a partir de aceite de palma, en Estados Unidos se emplea en su mayoría el aceite de soja, en la Unión Europea aceite de colza y de girasol y en Canadá, aceite de canola (Cao, Dubé, & Tremblay, 2008)

En el caso particular de Colombia, existen ocho cultivos oleaginosos (adicionales a la palma de aceite), que pueden ser usados como materia prima para la fabricación de biodiésel, entre los cuales se destacan el aceite de coco, higuierilla, aguacate, jatropha, colza, maní, girasol y soja (IICA, 2010). No obstante, la materia prima básica que se emplea para la producción de biodiésel es el aceite de palma, por dos razones principales. En primer lugar, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO (s.f.), el

país presenta un gran desarrollo en este sector, convirtiéndose en el primer productor de esta oleaginosa en Latinoamérica y el quinto a nivel mundial después de Indonesia, Malasia, Tailandia y Nigeria. En segundo lugar, el cultivo de palma genera cada año cerca de 5.550 litros de aceite por hectárea sembrada (Arias, 2007) es decir, esta oleaginosa posee un alto nivel de rendimiento al producir una mayor cantidad de aceite por área sembrada en comparación con las demás oleaginosas.

A lo anterior, se suma el alto grado de encadenamiento productivo que existe entre los palmicultores colombianos y los productores de biodiésel, evidenciado en la conformación de grupos económicos que han sentado las bases para la conformación de clusters industriales. Asimismo, la amplia expansión del cultivo de palma en Colombia a lo largo de los años ha contribuido al incremento en el número de toneladas de aceite de palma. Por ejemplo, a mediados de los años 60s existían alrededor de 18.000 hectáreas sembradas en palma, mientras que en el año 2016, esta cifra ascendió a 470.000 hectáreas (SIESPA, s.f.), distribuidas en las cuatro zonas

palmeras del país: zona oriental, norte, central y sur-occidental.

No obstante, el sector palmicultor colombiano presenta una serie de debilidades, que de no ser superadas, repercutirán en la competitividad de toda la cadena productiva del biodiésel. Entre ellas se destacan, el rezago tecnológico en el período agrícola de la palma, que a su vez conduce a bajos niveles de productividad y genera altos costos de producción. La problemática fitosanitaria ocasionada principalmente por el ataque de la pudrición del cogollo a la palma de aceite y los incipientes programas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).

Gran parte de los esfuerzos realizados en materia de investigación a nivel internacional, se han concentrado en la identificación de materias primas alternativas y el desarrollo de tecnologías requeridas para su uso en los procesos de fabricación de biodiésel. En este campo, las materias primas más investigadas han sido el aceite de girasol, soja, colza, palma, higuierilla y grasas animales (Cardona, 2009). En el ámbito nacional, las investigaciones realizadas han focalizado en tres aspectos principales. El primero, está relacionado con el análisis de las características físico-químicas de los aceites alternativos al aceite de palma y en el desarrollo de procesos, sistemas y tecnologías para la producción de biodiésel a partir de dichos aceites, atendiendo los parámetros de calidad exigidos por la normativa. Entre las materias primas estudiadas se destacan: grasas amarillas (grasas animales y residuos de aceites vegetales) (Amado, Villamizar & Gafaro, 2013); aceite de higuierilla [Benavides, Benjumea & Pashova, 2007; Hincapié, Moreno & López, 2011]; aceite de semilla de algodón (Llorente & Sarmiento, 2013) y microalgas (Plata, Kafarov, & Moreno, 2009).

El segundo aspecto analizado, está asociado con el análisis económico de las materias primas alternativas, identificando la factibilidad financiera de los procesos de producción basados en el uso de dichas materias primas (Chaverra & Mercado, 2012). Finalmente, el tercer aspecto considerado ha sido el componente legal, identificando y analizando legislaciones que regulen la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación (Restrepo, 2012).

En términos generales, los resultados obtenidos a partir de la revisión de la literatura, permiten afirmar que actualmente en Colombia la producción de biodiésel a partir de materias primas diferentes al aceite de palma, se encuentra en una fase de investigación y de realización de pruebas experimentales por parte de universidades en convenio con el gobierno nacional, empresas productoras de biodiésel y centros de investigación y desarrollo. Es importante destacar, que la revisión de la literatura en revistas nacionales no arrojó trabajos científicos que abordaran a profundidad estudios económicos, análisis de precios de materias primas alternativas al aceite de palma para la producción de biodiésel, y análisis de su capacidad de producción a nivel internacional y nacional. Por tanto, con el desarrollo del presente artículo, se pretende enriquecer la información existente con respecto al eslabón de proveedores de materias primas para la producción de biodiésel en Colombia.

Materias primas alternativas para la producción de biodiésel

A continuación se presentan los resultados obtenidos, a través del análisis de algunas materias primas alternativas para la producción de biodiésel: aceite de soja, sebo de res

y aceites de cocina usados. La selección de estas alternativas, se deriva de una investigación sobre el sector de biodiésel en Colombia y su cadena de suministro (Lombana, Vega, Britton & Herrera, 2015). Esta sección se divide en cada una de las alternativas mencionadas, a partir de su producción mundial y comercio internacional, con el fin de determinar cuáles son los países con mayor capacidad de producción y cuáles se encuentran en el ranking de los mayores exportadores e importadores a nivel mundial. Posteriormente, se analizará de manera particular la producción e importaciones realizadas de estas materias primas en Colombia, con el objeto de analizar las posibilidades de emplear estas materias primas alternativas en la producción de biodiésel.

Aceite de soja

La soja, es considerada como uno de los cultivos de semillas oleaginosas más dominantes en todo el mundo (Worldwatch Institute, 2012). Tanto así, que la producción mundial del aceite de soja, ha mostrado una tendencia al alza en los últimos años. Según la FAO (s.f.), en el período comprendido entre el año 2003 y 2013, la producción promedio mundial de este aceite fue de 37.081.509 toneladas por año, con una tasa de crecimiento promedio interanual del 3,4%. En la Fig. 2, se observa la distribución de la producción promedio de aceite de soja por continente durante el período 2003-2013. De acuerdo a estos datos, la producción mundial se concentró principalmente en el continente americano y asiático. Se destacan como los mayores productores, los siguientes países: China, Estados Unidos, Brasil, Argentina e India. En el año 2013, solamente la producción de estos cinco países representó el 82% de la producción mundial de aceite de soja.

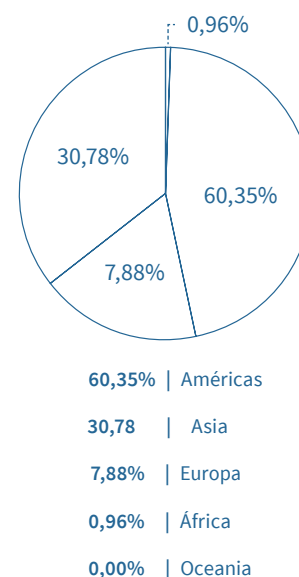


Figura 2. Proporción de producción promedio de aceite de soja por región período 2003-2013. Fuente: FAO (s.f.).

De la producción mundial de soja, aproximadamente el 86% es usado para la preparación de alimentos, el 8% es consumido directamente como alimento para las personas o para los animales, y solo un pequeño porcentaje es destinado para la producción de biodiésel (Worldwatch Institute, 2012). No obstante en países como Brasil, Argentina y Estados Unidos, el aceite de soja es utilizado cada vez más en la producción de biodiésel, a pesar de presentar un bajo nivel de rendimiento. En Colombia, por ejemplo, cada año una hectárea sembrada de soja, produce 840 litros de aceite, mientras que otros cultivos como la palma o el cocotero generan 5.550 l/ha/año y 4.200l/ha/año respectivamente (Arias, 2007)

En cuanto al comercio internacional de aceite de soja, en el período 2003-2012, Argentina se caracterizó por ser el país líder en las exportaciones a nivel mundial, seguido de Brasil y en tercer lugar se ubicó Estados Unidos (FAO s.f.2). En este

sentido, es importante destacar que los mayores productores de aceite de soja no siempre son los principales exportadores. China, que es el país que más cantidad de aceite de soja produce en todo el mundo, no registra en el listado de exportadores, sino por el contrario es el mayor importador de este tipo de aceite a nivel mundial.

Con respecto al análisis de precios, en la Figura. 3., se observa, que en la última década, el precio del aceite de soja y el del aceite palma llegaron a incrementarse en un 48% y 74% respectivamente. En este sentido, el precio del aceite de palma, ha aumentado en una mayor proporción en comparación con el del aceite de soja. Sin embargo, durante el período analizado, los precios del aceite de soja siempre han sido superiores a los precios del aceite de palma. No obstante, en los últimos cuatro años, se ha registrado una disminución en el precio internacional del aceite de soja, como consecuencia de los altos niveles de inventarios.

Según la FAO (s.f.), durante el período 2003-2013, Colombia ocupó la posición N°8 de los mayores productores de aceite de soja en América con una producción promedio de 67.255 toneladas por año. Se destaca, asimismo, que durante

dicho período se evidenció un comportamiento decreciente en la producción de éste aceite, registrando una tasa de crecimiento negativa de 26%. En la Figura. 4, se observa la dinámica de importaciones de aceite de soja en bruto realizadas desde Colombia, entre el año 2010 y el mes de agosto de 2016, las cuales llegaron a su máximo en 2015 con 304.556 toneladas. La mayor parte de dichas importaciones provinieron de Estados Unidos e Islas Caimán y en una menor proporción de Holanda, Alemania, Venezuela, Uruguay, Panamá, Chile y Suiza. No obstante, los principales países de origen (país donde se produce o elabora el aceite de soja que se importa) fueron: Argentina, Bolivia y Estados Unidos.

Las empresas proveedoras del aceite de soja que se importó desde Colombia poseen diversas actividades económicas, que van desde el cultivo, cosecha y procesamiento de oleaginosas hasta el comercio de los productos finales, tales como aceites y grasas vegetales y animales. Es importante destacar, que todas estas empresas atienden industrias alimenticias y no alimenticias, es decir, que el aceite de soja que comercializan, no solamente es destinado para consumo humano, sino también es de uso industrial.

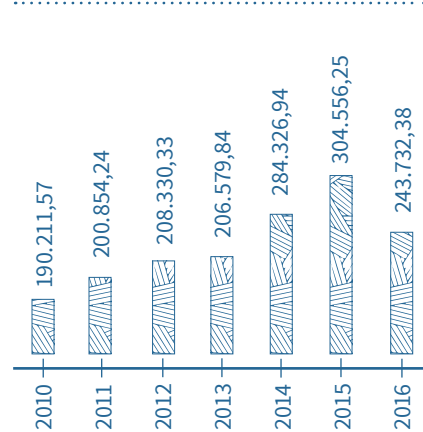


Figura 4. Cantidad importada de aceite de soja en bruto año 2010- Enero-Agosto de 2016. Cifras en toneladas. Fuente: Los autores a partir de Quintero Hnos. (s.f.).

Se destacan la multinacional Bunge Latin American Division y Agrograin Ltda con sede en las Islas Caimán, como las principales proveedoras de aceite de soja, ya que cerca del 67% del total de importaciones realizadas entre el año 2010 y el mes de agosto de 2014, provinieron de estas dos organizaciones.

En la tabla 1, se observa que la actividad económica de las empresas que realizaron importaciones de aceite de soja en bruto, está enfocada en la producción y comercialización de aceites y grasas vegetales y animales para la industria alimenticia y oleoquímica, específicamente en la elaboración de productos para el cuidado personal y del hogar. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se puede inferir que el aceite de soja que se importó desde Colombia entre el año 2010 y agosto de 2014, no fue usado para la producción de biodiésel.

Sebo de res

Tal como se mencionó anteriormente, el biodiésel de segunda y tercera generación, ha adquirido gran relevancia en los últimos años como respuesta al posible desenca-

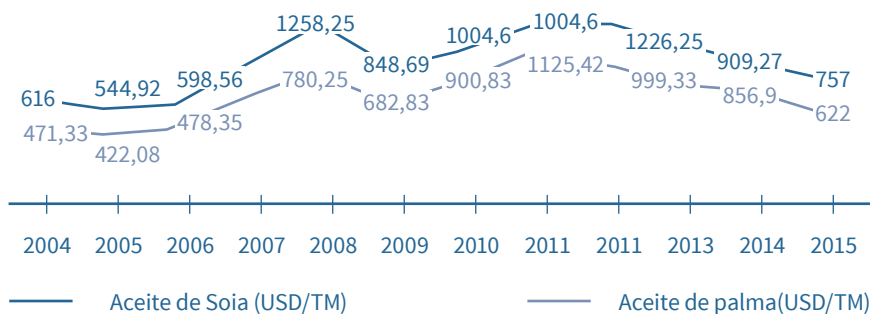


Figura 3. Precio del aceite de soja y del aceite de palma, período 2004-2015. Cifras en: dólares/tonelada métrica. (US\$/mt). Fuente: Los autores a partir de World Bank (s.f.).

Tabla 1. Clasificación de acuerdo a la actividad económica de las importadoras de aceite de soja en Colombia.

Clasificación	Actividad económica
Grupo 1	Productoras y comercializadoras de aceites y grasas de origen vegetal y animal, margarinas, aceites y grasas de uso industrial, productos de limpieza, alimentos para animales, productos para el cuidado personal, cosméticos y fragancias.
Grupo 2	Subsidiarias de compañías multinacionales encargadas de comercializar aceites vegetales crudos y refinados, granos, semillas oleaginosas.
Grupo 3	Importadoras y distribuidoras de aceites comestibles, margarinas, reactivos químicos, productos para el cuidado del hogar, y personal
Grupo 4	Operadores logísticos

Fuente. Los autores a partir de (Quintero Hnos, s.f.).

denamiento de una crisis alimentaria, originada por la amplia extensión de cultivos oleaginosos destinados a la producción de biocombustibles. No obstante, una de las razones por las que actualmente este tipo de biocombustibles no son producidos a gran escala (particularmente los producidos a partir de grasas animales o aceites de cocina usado), es su alto contenido de ácidos grasos libres-AGL los cuales dificultan el proceso de transesterificación (Leung, Wu & Leung 2010). Por esta razón, cada vez más se investigan diversos métodos para el estudio de la transesterificación de estos aceites.

El sebo vacuno es un subproducto de la carne, comúnmente utilizado en la elaboración de jabones y lubricantes y como suplemento en la alimentación animal. Sin embargo, es considerado como una materia prima de bajo valor. En este sentido, el uso de sebo para la producción de biodiésel además de ser una propuesta innovadora al otorgarle un valor agregado, no genera conflicto con la seguridad alimentaria por ser un producto no apto para consumo humano. En el período 2003-2013, la producción mundial de sebo fluctuó entre 6.540.393 y 6.865.722 toneladas [16], con una tasa de crecimiento promedio interanual equiva-

lente al 0,40%. Estas cifras ponen de manifiesto, el poco dinamismo que se ha registrado en los inventarios mundiales de sebo.

En la Figura. 5, se observa la distribución de la producción promedio de sebo por continente durante el período 2003-2013. De acuerdo a estos datos, la producción mundial de sebo se concentró principalmente en el continente americano. Durante el año 2013, los cinco mayores productores de esta materia prima fueron: Estados Unidos, Brasil, Australia, Canadá y Francia. No obstante, hay que destacar que el 54% de la producción mundial de sebo se produjo en el país anglosajón.

Estados Unidos además de ser el principal productor de sebo, también asume el liderazgo del mayor exportador con un promedio anual de 1.020.658 toneladas entre el período 2003-2012.

Australia por su parte, se constituye como el segundo mayor exportador de este subproducto de la carne, exportando en promedio 360.866 toneladas cada año. El tercer, cuarto y quinto lugar lo asumen Canadá, Francia y Nueva Zelanda respectivamente (FAO, s.f.2) En la investigación se evidencia que los países antes mencionados, se caracterizan por destinar más de la mitad

de su producción nacional de sebo hacia los mercados internacionales.

En el caso particular de Brasil, si bien está en la lista de los mayores productores no tiene un peso significativo en el ranking de los principales exportadores de este producto. La razón obedece a que este país ha incrementado sus necesidades de sebo para suplir los requerimientos de su industria nacional de biodiésel, pasando de ser uno de los principales países exportadores a ser un importador de esta materia prima (Ruitenber, s.f.). Por su parte México lideró el ranking de los mayores importadores de sebo, seguido de China y Bélgica (FAO, s.f.2)

El precio mundial del sebo ha mostrado un comportamiento particular. En la década comprendida entre el año 1996 y el 2006, el precio de una tonelada de sebo era inferior si se comparaba con el de una tonelada de aceite de soja o de colza. Lo anterior obedece, a que en este período de tiempo no existía relación alguna entre el precio del sebo y los biocombustibles. No obstante, a

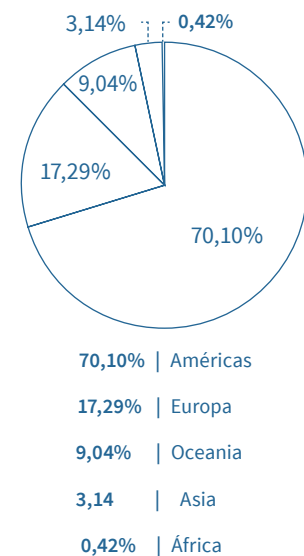


Figura 5. Proporción de producción de sebo por continente período 2003-2013. Fuente: FAO (s.f.).

partir del año 2007, los precios de los aceites y grasas comenzaron a mostrar una tendencia diferente, como consecuencia del vínculo que se creó entre los biocombustibles y este mercado. En el caso particular del sebo, su precio ha sido catalogado por la consultora Oil World, como “inusualmente alto”, debido al estancamiento en su oferta mundial y por el creciente uso de este producto como materia prima para producir biodiésel. Según esta consultora, en el año 1998 una tonelada de sebo costaba USD\$ 446, mientras que en el 2012 el precio se incrementó a USD\$ 1.085 (Ruitenber, s.f.).

En adición, el uso mundial de sebo para la producción de biodiésel se incrementó en un 60% en un período de dos años. Mivw entras que en el año 2010, se emplearon un millón de toneladas en la producción de este biocombustible, en el 2012, se usaron 1,6 millones de toneladas (Ruitenber, s.f.). Por su parte la consultora LMC International del Reino Unido, afirmó que el sebo se ha convertido en una materia prima más costosa en comparación con otros aceites y grasas. Lo anterior obedece en otras razones, a la implementación de las políticas de “doble conteo” en la Unión Europea para el biodiésel que se produzca a partir de residuos de aceites (sebo y/o aceite de cocina usado) (Caparella, 2013).

Según la FAO (s.f.) durante el período 2003-2013 en Colombia, la producción promedio de sebo fue 13.564 toneladas por año, cifra que equivale al 0,27% de la producción promedio de sebo del continente americano en ese mismo período de tiempo. Adicionalmente, en 10 años la tasa de crecimiento de la producción de sebo en Colombia ha sido muy baja (cerca al 0,09%), por lo que se puede afirmar que no existe una oferta suficiente de dicho producto en el mercado nacional para

convertirse en una materia prima alternativa para la producción de biodiésel.

En la Figura. 6., se observa la dinámica de importaciones de sebo desnaturalizado entre el año 2012 y el mes de agosto de 2016, que no han superado las 12.000 toneladas (durante los años 2010 y 2011, no se registraron importaciones de este producto). Los proveedores de dichas importaciones se encuentran ubicados en Estados Unidos. Particularmente, el 57% de las importaciones provinieron de la empresa Jacob Stern y Sons Inc., ubicada en Houston-Texas; el 36% fue suministrado por la empresa Gersony Strauss Co Inc., ubicada en Charleston- Carolina del Sur; mientras que el 7% restante fueron proveídos por Cargill Inc., localizada en Wayzata-Minnesota.

La actividad económica de las empresas que proveen sebo desnaturalizado a Colombia, está orientada al procesamiento, importación y exportación de productos agrícolas, tales como el sebo, la grasa amarilla, aceites y grasas animales y aceites vegetales.

En la tabla 2, se observa que la actividad económica de las empresas importadoras de sebo desnaturalizado comprende la producción y comercialización de alimentos y de productos para el cuidado personal y de aseo y limpieza de los hogares. Adicionalmente, se infiere que el sebo desnaturalizado que se importó en el período de análisis, no fue destinado para la producción de biodiésel.

Aceite de cocina usado

El aceite de cocina usado, denominado UCO por sus siglas en inglés (Used cooking Oil), representa una prometedora alternativa para la producción de biodiésel, dado su bajo costos de adquisición, su alta

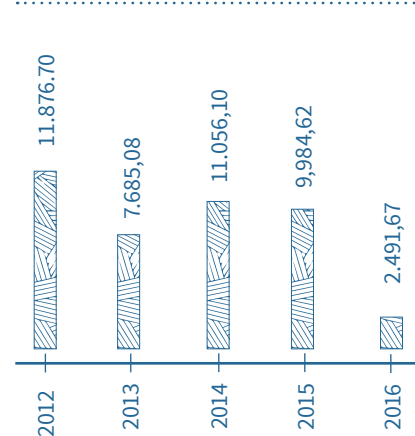


Figura 6. Cantidad importada de sebo desnaturalizado año 2012-Enero-Agosto de 2016. Cifras en toneladas. Fuente: Los autores a partir de Quintero Hnos (s.f.).

disponibilidad y la posibilidad de darle un aprovechamiento a este residuo teniendo en cuenta que su disposición final constituye un problema económico y ambiental para los países. El UCO corresponde a los aceites animales o vegetales, que han sido empleados previamente en restaurantes o cocinas domesticas para la preparación de alimentos y que no son aptos para el consumo humano (Gui, Lee & Bhatia, 2008)

El 80% del aceite de cocina usado se produce en los hogares (Talebian-Kiakalaieh, Amin & Mazaheri, 2013), sin embargo, en la mayoría de los países no existe un método sistemático para su recolección efectiva, a lo que se suma la ausencia de una conciencia ecológica en la mayoría de la población. En la tabla 3, se observa las cantidades de UCO producidas por diferentes países y/o grupos económicos. La producción varía de un país a otro, pues depende de la utilización de aceites vegetales y animales para preparar alimentos. No obstante, anualmente la cantidad producida de UCO es enorme porque cada vez aumenta más la población mundial y por tanto se incrementa el consumo de alimentos. Se estima

Tabla 2. Clasificación de las empresas importadoras de sebo desnaturalizado en Colombia de acuerdo a su actividad económica.

Clasificación	Actividad económica
Grupo 1	Productoras y comercializadoras de alimentos y productos para el cuidado personal y del hogar.
Grupo 2	Productoras y comercializadoras de productos de aseo y de limpieza tales como jabones de lavar loza y ropa, detergentes, limpiadores, entre otros.

Fuente. Los autores a partir de Quintero Hnos (s.f.).

que cada año, se generan mucho más de 15 millones de toneladas de UCO (Gui, Lee & Bhatia, 2008).

En Estados Unidos, existe una organización de la industria del reciclaje de subproductos animales y de los aceites y grasas usados, denominada National Renderers Association- NRA. Las empresas que pertenecen a la NRA, se caracterizan

por realizar procesos de rendering. A través de este proceso, se funde la grasa compacta en el caso del procesamiento del sebo; mientras que el aceite de cocina usado es sometido a un tratamiento especial con el fin de disminuir el contenido de AGL, obteniendo como producto la grasa amarilla. Se destacan las empresas estadounidenses: Western Mass Rendering Co., INC; G.A. Wintzer&Son Co; Kruger Commodities, Inc.; DAR PRO Solutions; Mendota Agri-Products, Inc. – Headquarters y West Coast Reduction, Ltd., en Canadá.

La actividad económica de estas compañías, consiste en la prestación de servicios de recolección y procesamiento de subproductos animales y aceites de cocina usado, con el objetivo de convertirlos en productos de valor agregado de gran utilidad para otras industrias, tales como las productoras de cosméticos, productos para el cuidado del hogar y personal, biocombustibles, pinturas, entre otros oleoquímicos.

En la tabla 4, se observa que el aceite de cocina usado es, en principio, la materia prima más económica para producir biodiésel. Su costo de adquisición es de dos a tres veces

menor que el del aceite vegetal fresco. En este sentido, si se emplea el UCO en la producción de biodiésel, su costo de fabricación se puede reducir entre un 60% y un 90% [35]. No obstante, uno de los inconvenientes de la utilización del UCO es el alto grado de impurezas que posee, pues contiene abundantes ácidos grasos libres que conducen a saponificación y la alta cantidad de agua que puede producir una hidrólisis, afectando la calidad y el rendimiento del biodiésel que se obtiene; por tanto se requiere de procesos previos a la transesterificación tales como limpieza, filtrado y purificación del aceite usado.

En Colombia, así como en la mayoría de los países, los aceites vegetales resultan imprescindibles tanto en las cocinas domésticas como en la industria hostelera. Hoy día, los mayores generadores de UCO en el país son los restaurantes y los hogares de los colombianos. No obstante, gran parte de los colombianos no le da un manejo adecuado al aceite de cocina usado. Lo anterior obedece, a la ausencia de normativas que regulen la adecuada disposición final de los residuos de aceite vegetal, y de herramientas o indicadores que permitan medir la trazabilidad del proceso de aprovechamiento de estos residuos. Sumado a lo anterior, es importante resaltar que en Colombia, no existe un sistema de recolección, transporte, almacenamiento y disposición final del aceite de cocina usado, como si ocurre con los residuos sólidos. Se estima que cada año en Colombia, se comercializan alrededor de 162 millones de litros de aceite de cocina, de los cuales el 65% se consume en los hogares y el 35% se convierte en residuo (El Tiempo, s.f.)

En Colombia no existen legislaciones que regulen el uso del aceite de cocina usado, como materia prima para la generación de biodiésel

Tabla 3. Cantidad producida de UCO en varios países y/o grupo económico.

País o grupo económico	Cantidad (millones de toneladas/año)	Proviene del aceite de :
Estados Unidos	10	Soja
China	4,5	Grasa animal y aceite de ensalada
Inglaterra	1,6	Soja y canola
Unión Europea	0,7-1,0	Colza y girasol
Malasia	0,5	Palma
Japón	0,45-0,57	Soja, palma y grasa animal
Irlanda	0,153	Colza
Canadá	0,12	Grasa animal y canola
Taiwán	0,07	Soja, palma, manteca de cerdo, aceite de carne

Fuente. Adaptado de Gui, Lee & Bhatia (2008).

Tabla 4. Precios promedios internacionales de los aceites empleados como materia prima para producir biodiésel. Año 2007.

Aceite	Precio (US\$/tonelada)
Aceite de colza	824
Aceite de soja	771
Aceite crudo de palma	703
Sebo	460
Grasa amarilla	412
Aceite de cocina usado	224

Fuente: (Demirbas, 2008).

(Restrepo, 2012). La principal consecuencia de la ausencia de una normativa para este sector, es el surgimiento del conocido “mercado negro del aceite”; el cual consiste en un gremio informal e ilegal que se encargan de comprar el UCO generado en hoteles, restaurantes, panaderías, entre otros, con el fin de procesarlo químicamente para restablecer su transparencia (es válido destacar que esta actividad se realiza sin ningún tipo de inspección ni control). Finalmente este aceite es revendido en los estratos más bajos del país, sin medir los impactos y efectos adversos que genera su consumo en la salud de las personas.

Teniendo en cuenta lo anterior, hoy en día el aceite que desecha la industria hostelera y los hogares de los colombianos posee tres principales usos. En primer lugar, es arrojado por los desagües de las cocinas, incrementando los niveles de contaminación de las fuentes hídricas. En segundo lugar, es comprado por empresas clandestinas para ser reenvasado y comercializarlo nuevamente a los hogares y a industrias que fabrican alimentos concentrados para animales, causando graves problemas en la salud.

Finalmente el tercer uso, consiste en la recolección y procesamiento del aceite de cocina usado por parte de empresas especializadas en estas funciones, con el fin de crear un producto apto para ser utilizado en la generación de biodiésel. En función de lo anteriormente expuesto, se hace necesaria la implementación de una serie de normas orientadas a la adecuada disposición final de los aceites que han sido empleados previamente en la preparación de alimentos, de tal forma que se pueda determinar la trazabilidad del proceso de aprovechamiento de estos residuos.

En Colombia hoy día, el sector del aceite de cocina usado es relativamente joven y por tanto se encuentra poco explorado. No obstante, en los últimos años, en las ciudades de Bogotá y Medellín se han conformado empresas formales y legales, encargadas de recolectar el aceite usado de cocinas domésticas, restaurantes, casinos, colegios y en la industria hostelera en general, para posteriormente procesarlo y ser comercializado específicamente en mercados internacionales. Entre las empresas pioneras de esta actividad económica se desatacan: Eco-gras Colombia, Biogras S.A.S, Coindagro y Bioils.

Según la base de datos Legiscomex (Legis s.f.) en los años 2013, 2014 y primer semestre de 2015, se registraron exportaciones de aceite de cocina usado de las empresas Biogras S.A.S, Coindagro y Bioils. En la Fig. 7, se observan las toneladas destinadas al mercado internacional por estas tres organizaciones. Las empresas importadoras son plantas productoras de biodiésel y compañías dedicadas al reciclaje del aceite de cocina usado, presentes en países como España, Republica Dominicana, Chile, Bélgica, Italia, Holanda, Portugal y Reino Unido. Se destaca la empresa Biodiésel Kampen BV-Países Bajos, cuya actividad económica consiste en la producción de biodiésel de segunda generación, específicamente a partir de aceites vegetales usados, los cuales son proporcionados por la compañía UCO Kampen BV. La partida arancelaria 1518009000, es usada por empresas cuya actividad económica comprende la fabricación de artículos textiles, químicos, plásticos, pinturas, jabones, productos para el cuidado personal y farmacéuticos, así como por las empresas recolectoras de aceite de cocina usado. De las exportaciones totales, se puede observar la importante participación que han tenido las

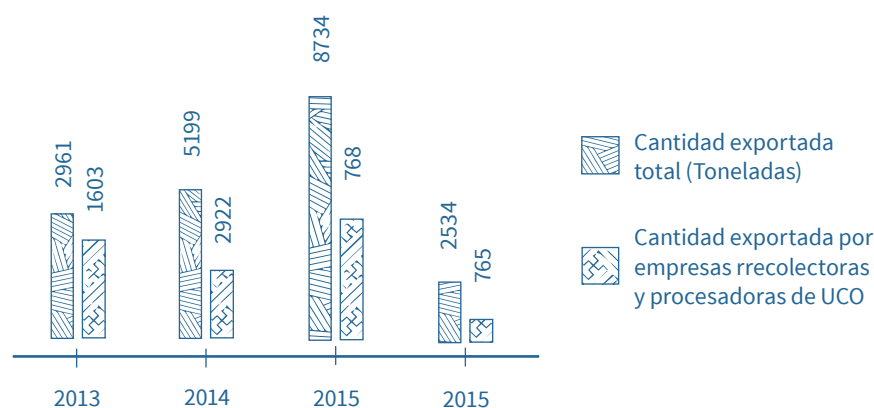


Figura 7. Exportaciones colombianas de aceite de cocina usado. Año 2013-enero-julio 2015. Cifras en toneladas. Fuente: Los autores a partir de Legis (s.f.).

empresas recolectoras y procesadoras de aceite de cocina usado (UCO por sus siglas en inglés), entre las que se destacan Coindagro, Biogras S.A.S y Bioils Colombia. Con respecto a las importaciones realizadas desde Colombia, es válido resaltar que durante el período 2010-junio de 2015, solamente se registró una importación relacionada con aceites vegetales o animales usado, equivalente a 63 toneladas. Las demás importaciones corresponden a empresas cuya actividad económica comprende la fabricación de artículos textiles, químicos, plásticos, pinturas, jabones, productos para el cuidado personal y farmacéuticos.

Para finalizar, es importante destacar un último resultado obtenido. Las plantas productoras de biodiésel: Oleoflores S.A, Aceites manuelita S.A, BioD S.A, Odin Energy Ltda.; Biocombustibles Sostenibles Del Caribe S.A; Ecodiesel Colombia S.A; Complejo Bioenergético Biocastilla La Nueva; Romil de Colombia y Biodiésel de la Costa, desde enero de 2010 hasta julio de 2014, no registraron importaciones de ningún tipo de aceite de soja, sebo, y UCO. Los productos importados por la mayoría de estas empresas corresponden a maquinarias y equipos, repuestos, accesorios y reactivos químicos. La única planta que registró una importación correspondiente a materias primas, fue Ecodiesel Colombia, quien en el año 2011, importó aceite de palma en bruto.

Estos resultados, ponen, de manifiesto, que en el contexto nacional ninguna empresa de biodiésel ha recurrido al proceso de importaciones de materias primas (aceites y grasas).

Conclusiones

A partir de los resultados de la investigación, se evidencia que el precio del aceite de soja ha sido superior al del aceite de palma durante un

largo período de tiempo (2004-2014). Lo anterior obedece en gran parte, al bajo nivel de rendimiento del cultivo de soja en comparación con el de palma. No obstante, es importante resaltar que desde el año 2011, el precio del aceite de soja, ha mostrado una tendencia a la baja, acercándose cada vez más al precio del aceite de palma. En este sentido, si en los próximos años esta tendencia no se revierte, el aceite de soja puede llegar a ser un importante sustituto de la palma para la producción de biodiésel. Con respecto al sebo, antes de que se estableciera un vínculo entre el mercado de aceites y grasas y la industria del biodiésel, el precio de una tonelada de esta materia prima, era inferior al de una tonelada de aceites vegetales vírgenes. Sin embargo en los últimos años, el precio del sebo se ha incrementado considerablemente, como consecuencia del estancamiento en su producción mundial y su creciente demanda como materia prima para la producción de biodiésel, especialmente en países de la Unión Europea y en Estados Unidos.

Adicionalmente en la investigación, se evidenció que en Colombia la capacidad de producción de aceite de soja y de sebo es limitada y no sería suficiente para abastecer toda la demanda de biodiésel del país. En este sentido, aquellas empresas que decidieran emplear el aceite de soja o el sebo en su proceso productivo, tendrían que recurrir a las importaciones. Para el caso del aceite de soja, el principal país exportador es Argentina, y en el caso del sebo, Estados Unidos es el mayor exportador.

Finalmente el aceite de cocina usado, es percibido por actores representativos del sector biodiésel, como el insumo más prometedor para ser usado en la producción de este biocombustible debido al triple beneficio que este posee. El primero

de ellos, es su bajo costo de adquisición. La segunda ventaja corresponde, a los beneficios ambientales que se derivan al darle un uso alternativo al UCO, que normalmente es arrojado por los desagües de las cocinas de los hogares o de los restaurantes y que tanto contaminan las fuentes de recursos hídricos. El tercer beneficio, consiste en atacar el mercado clandestino del aceite de cocina usado y de esta manera evitar que sea usado para consumo humano o de los animales.

No obstante, es importante resaltar que un criterio clave para emplear el UCO como materia prima en la producción de biodiésel, es la composición química de este aceite. En este sentido, el UCO que es recolectado de la industria hostelera, debe ser sometido a tratamientos químicos en plantas especializadas, con el fin de obtener una materia prima apta para ser usada en la fabricación del biocombustible para uso en motores diésel. Estos procedimientos previos, suponen altos costos que podrían incrementar el precio final al que se comercializa el UCO. Por tanto, para considerar el aceite de cocina usado, como la alternativa más prometedora para la producción de biodiésel, es necesario evaluar que tanto se incrementa el precio del UCO final (procesado) con respecto al precio del aceite de cocina usado que no ha recibido ningún tratamiento.

Hoy día diversas universidades y centros de investigación del país y del resto del mundo, se encuentran estudiando diferentes metodologías y tecnologías para convertir el UCO en una materia prima apta para la producción de biodiésel, de tal manera que se cumplan con los parámetros técnicos y de calidad exigidos por la normativa. Otro factor determinante en el uso del aceite de cocina usado para la producción de biodiésel, es el desarrollo de sistemas de recolección masiva de este residuo.

Si bien es cierto que a nivel mundial existen empresas que recolectan el UCO a través de la instalación de trampas de grasas, bidones o tanques de almacenamiento en restaurantes y otros establecimientos que procesan alimentos; en Colombia existen un incipiente sistema de recolección implementado por pocas empresas y en un número reducido de ciudades. Por tanto, se hace necesario el desarrollo y potencialización del mercado del aceite de cocina usado en el país, a través de la creación de estrategias orientadas a la sensibilización ambiental y a la creación de una conciencia ecológica enfocada en el reciclaje del UCO.

Adicionalmente, es fundamental el rol que pueda ejercer el gobierno nacional en el impulso de este importante sector, por medio de la creación de normativas que apunten a legislar la recolección de este residuo, su procesamiento y su posterior comercialización para la producción de biodiésel. En adición, se requiere la implementación de incentivos financieros y/o económicos orientados a estimular la inversión en el sector y el fortalecimiento de los programas de investigación, desarrollo e innovación enfocados en el diseño de tecnologías y métodos para la recolección, transporte y procesamiento del UCO, así como en los usos alternativos que se le puedan dar al aceite de cocina usado procesado.

Referencias

- AMADO, E., Villamizar, A., & Garfaro, A. (2013). Evaluación de procesos de producción de biodiésel a partir de grasas amarillas con altos contenidos de ácidos grasos libres. *Bistua*, revista de la facultad de ciencias básicas, 3(1). Disponible en: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_vicainves/index.php/BISTUA/article/view/59/60
- ARIAS, AF. (2007). Los biocombustibles en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Reunión de Ministros Plan Puebla-Panamá.
- BENAVIDES, A., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). El Biodiésel de aceite de higuerilla como combustible alternativo para motores diésel. *Dyna*, 74 (153), 141-150. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/951/1437>
- BOCHNO, E. (2011). Estado del arte y novedades de la Bioenergía en Colombia. Informe de la Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura-oficina regional para Latinoamérica. Bogotá, Colombia. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/019/as419s/as419s.pdf>
- CABRERA, G., Burbano, J. C., & Garcia, J. (2011). Preliminary analysis of biomass potentially useful for producing biodiesel. *Dyna*, 78(170), 144-151. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/29397/29719>
- CAO, P., Dubé, M. A., & Tremblay, A. Y. (2008). High-purity fatty acid methyl ester production from canola, soybean, palm, and yellow grease lipids by means of a membrane reactor. *Biomass and Bioenergy*, 32(11), 1028-1036. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.01.020
- CAPARELLA, T. (2013). Sustainability and global markets in the Land Down Under. *Render Magazine*, Agosto, - 16-21. Disponible en <http://www.rendermagazine.com/articles/2013-issues/august-2013/sustainability-and-global-markets/>
- CARDONA, C. A. (2009). Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial. *Revista de ingeniería*, (29), 109-120, Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n29/n29a14.pdf>
- CHAVERRA, D., & Mercado, J. (2012). *Evaluación financiera de una planta productora de biodiésel a partir de aceites usados de cocina*. Trabajo de grado en la Especialización en Finanzas), Colombia, Universidad de Cartagena, 85p.
- CORTÉS, E., Suarez, H., & Pardo, S. (2009). Biocombustibles y autosuficiencia energética. *Dyna*, 76(158), 101-110. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/10250/10768>
- DEMIRBAS, A. (2005). Biodiésel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Progress in energy and combustion science*, 31(5), 466-487, doi:10.1016/j.peccs.2005.09.001
- DEMIRBAS, A. (2007). Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy*, 35(9), 4661-4670, doi:10.1016/j.enpol.2007.04.003
- DEMIRBAS, A. (2008). *Economic and environmental impacts of the liquid biofuels*. *Energy Education Science and Technology*, 22(1), 37-58.
- DEMIRBAS, A., (2008). *Biodiesel*, Londres, Springer. Disponible en http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84628-995-8_4#page-1
- EL TIEMPO. (s.f.). Mercado negro del aceite, un riesgo en su mesa. Huella social. (Recuperado el 23

- de abril de 2016]. Disponible en http://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/responsabilidadsocial7/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_MULTIMEDIA-12581710.html
- FEDEBIOCOMBUSTIBLES. (s.f.1). Cifras informativas del Sector Biocombustibles-Biodiésel. Disponible en <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIÉSEL%2855%29.pdf>
- FEDEBIOCOMBUSTIBLES. (s.f.2). Información estadística del sector biocombustibles- producción y ventas del biodiesel. Disponible en <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Biodiésel.htm>
- FERNANDO, S., Hall, C., & Jha, S. (2006). NO_x reduction from biodiesel Fuels. *Energy & Fuels*, 20(1), 376-382. Disponible en <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ef050202m>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO (s.f.2). *Comercio de aceite de soja y sebo*. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/S>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO. (s.f.1). *Producción de aceite de palma, aceite de soja y sebo*. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QD/S>
- GLIŠIĆ, S., Lukic, I., & Skala, D. (2009). Biodiésel synthesis at high pressure and temperature: Analysis of energy consumption on industrial scale. *Bioresource technology*, 100(24), 6347-6354. doi:10.1016/j.biortech.2009.07.024
- GUI, M. M., Lee, K. T., & Bhatia, S. (2008). Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiésel feedstock. *Energy*, 33(11), 1646-1653, doi:10.1016/j.energy.2008.06.002
- HINCAPIÉ, G., Moreno, J., y López, D. (2011). Transesterificación de aceite de higuera crudo utilizando catalizadores heterogéneos- estudio preliminar. *Dyna*, 78(169), 176-181. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/19832>
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA -IICA (2010). Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas. II. Biodiésel, San José, Costa Rica
- KULKARNI, M. G., & Dalai, A. K. (2006). Waste cooking oil an economical source for biodiesel: a review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 45(9), 2901-2913. Disponible en <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie0510526>
- LEGIS (S.f.). *Legiscomex*, Base de Datos
- LOMBANA, J., Vega, J., Britton, E. & Herrera, S. (2015). Análisis del Sector Biodiésel en Colombia y su Cadena de Suministro. Universidad del Norte, Gobernación del Atlántico y Sistema General de Regalías Ed. 142pp. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/579409.pdf>
- LEUNG, D. Y., Wu, X., & Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiésel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87(4), 1083-1095, doi:10.1016/j.apenergy.2009.10.006
- LLORENTE, J. J., & Sarmiento, R. A. (2013). *Estudio de la influencia de la temperatura y la humedad en un proceso de extracción de aceite de semillas vegetales*, Trabajo de Grado en Ingeniería Mecánica, Colombia, Universidad Pontificia Bolivariana, 105pp.
- NG, J. H., Ng, H. K., & Gan, S. (2010). Recent trends in policies, socioeconomy and future directions of the biodiésel industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 12(3), 213-238. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/s10098-009-0235-2>
- PLATA, V., Kafarov, V., & Moreno, N. (2009). Desarrollo de una metodología de transesterificación de aceite en la cadena de producción de biodiésel a partir de microalgas. *Revista Prospectiva*, 7(2), 35-41. Disponible en: http://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-7-no-2/articulo4-v7n2.pdf
- QUINTERO HNOS LTDA. (s.f.). *Sicex*, Base de datos
- RESTREPO, J. (2012). El desarrollo sostenible y el reciclaje del aceite usado de cocina a la luz de la jurisprudencia y el ordenamiento jurídico colombiano. *Rev. Producción+ Limpia*, 7(1), 109-122. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n1/v7n1a11.pdf>
- RUITENBERG, R. (s.f.). Tallow Exports seen falling by Oil World on Biodiésel use. Bloomberg (en línea). (Recuperado en septiembre de 2016) Disponible en: <http://www.bloomberg.com/news/2013-06-18/u-s-tallow-exports-seen-falling-by-oil-world-on-biodiésel-use.html>
- SHAHID, E. M., & Jamal, Y. (2011). Production of biodiésel: a technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4732-4745, doi:10.1016/j.rser.2011.07.079

SISTEMA DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DEL SECTOR PALMERO – SIESPA (S.f). Áreas en desarrollo y producción. Disponible en: <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/areas.aspx>

TALEBIAN-KIAKALAIEH, A., Amin, N. A. S., & Mazaheri, H. (2013). A

review on novel processes of biodiésel production from waste cooking oil. Applied Energy, 104, 683-710. doi:10.1016/j.apenergy.2012.11.061

WORLD BANK. (s.f). Commodity Price Data Disponible en: <http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXT>

DECPROSPECTS/0,,contentMDK:21574907~menuPK:7859231~pagePK:64165401~piPK:64165026~theSitePK:476883,00.html

WORLDWATCH INSTITUTE. (2012). *Biofuels for transport: global potential and implications for energy and agriculture*. Londres, Earthscan.