

# ANÁLISIS DEL SECTOR BIODIÉSEL EN COLOMBIA Y SU CADENA DE SUMINISTRO

Jahir Lombana Coy  
Jaider Vega Jurado  
Emyle Britton Acevedo  
Silvia Herrera Velásquez



Editorial



# ANÁLISIS DEL SECTOR BIODIÉSEL EN COLOMBIA Y SU CADENA DE SUMINISTRO

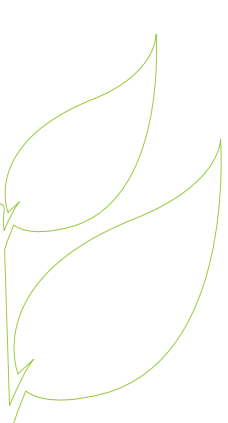
Jahir Lombana Coy  
Jaider Vega Jurado  
Emyle Britton Acevedo  
Silvia Herrera Velásquez



**DNP** Departamento  
Nacional  
de Planeación



Barranquilla (COLOMBIA)  
2015



Análisis del sector biodiesel en Colombia y su cadena de suministro / Jahir Lombana Coy ... [et al.] — Barranquilla, Colombia : Editorial Universidad del Norte, 2015

iv, 142 páginas : il. col. ; 24 cm.  
Incluye referencias bibliográficas (p. 108-117)  
ISBN 978-958-741-648-0 (PDF)

1. Industria del combustible biodiesel—Colombia. 2. Combustibles biodiesel—Comercio—Colombia. 3. Energía biomásica—Colombia. I. Lombana Coy, Jahir. II. Vega Jurado, Haider. III. Britton Acevedo, Emyle IV Herrera Velásquez, Silvia. V. Tít.

(333.953909861 A532 23 ed.) (CO-BrUNB)



www.uninorte.edu.co  
Km 5, vía a Puerto Colombia  
A.A. 1569, Barranquilla (Colombia)

© 2015, Editorial Universidad del Norte  
Jahir Lombana Coy, Jaider Vega Jurado,  
Emyle Britton Acevedo, Silvia Herrera Velásquez.

*Coordinación editorial*  
Zoila Sotomayor O.

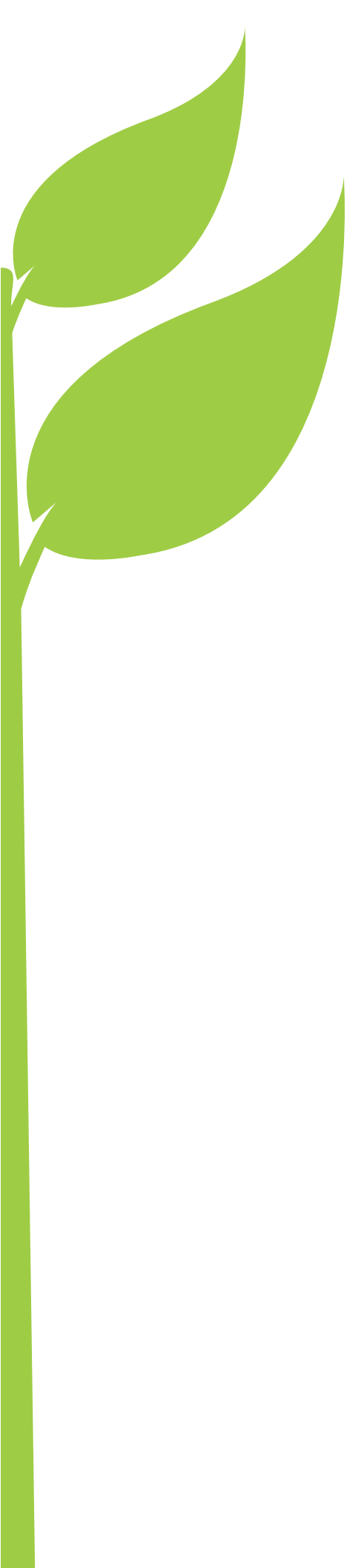
*Diseño y diagramación*  
Luis Gabriel Vásquez M.

*Diseño de portada*  
Andrés Racedo Llanos

*Corrección de textos*  
María Fernanda Forero

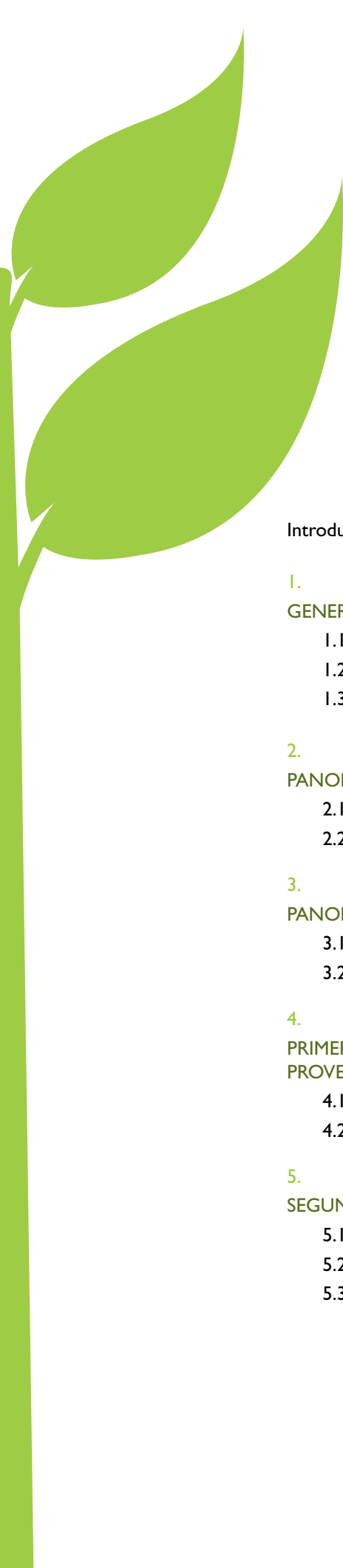
*Procesos técnicos*  
Munir Kharfan de los Reyes

© Reservados todos los derechos. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio reprográfico, fónico o informático así como su transmisión por cualquier medio mecánico o electrónico, fotocopias, microfilm, *offset*, mimeográfico u otros sin autorización previa y escrita de los titulares del *copyright*. La violación de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.



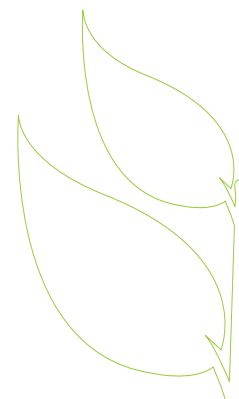
## **AGRADECIMIENTOS**

Este libro es resultado del proyecto de investigación “Implementación de proyectos de I+D (componentes microalgas, extractos de plantas y cadena productiva de la sábila, producción 1,2 pro-panodiol y plataforma informática) para promover el desarrollo y la transferencia tecnológica de cadenas productivas agroindustriales y la implementación de tecnologías de última generación para el procesamiento de biocombustibles en el departamento del Atlántico”, el cual es financiado por la Gobernación del Atlántico, a través de recursos del Sistema General de Regalías - Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación.

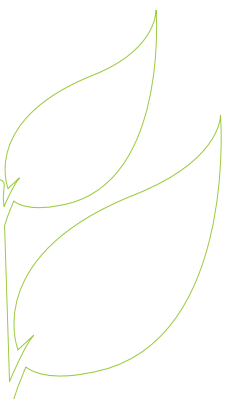


## CONTENIDO

Introducción.....	iii
<b>1.</b>	
<b>GENERALIDADES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES .....</b>	<b>1</b>
1.1. Definición y clasificación de los biocombustibles.....	1
1.2. Principales características del biodiésel .....	4
1.3. Proceso de producción del biodiésel .....	9
<b>2.</b>	
<b>PANORAMA INTERNACIONAL DEL BIODIÉSEL.....</b>	<b>14</b>
2.1. Producción y consumo de biodiésel.....	15
2.2. Perspectiva internacional del sector biodiésel .....	19
<b>3.</b>	
<b>PANORAMA NACIONAL DEL BIODIÉSEL.....</b>	<b>22</b>
3.1. Antecedentes de la producción de biodiésel en Colombia.....	22
3.2. Estructura del sector biodiésel en Colombia .....	26
<b>4.</b>	
<b>PRIMER ESLABÓN DE LA CADENA DEL BIODIÉSEL: PROVEEDORES DE MATERIA PRIMA.....</b>	<b>33</b>
4.1. Aceite de palma.....	33
4.2. Materias primas alternativas para la producción de biodiésel .....	47
<b>5.</b>	
<b>SEGUNDO ESLABÓN: PRODUCTORES DE BIODIÉSEL.....</b>	<b>78</b>
5.1. Análisis de la producción de biodiésel en Colombia .....	79
5.2. Comercio de biodiésel en Colombia.....	85
5.3. Retos del sector biodiésel en Colombia y atractivos para invertir en el sector .....	88



6.	
TERCER ESLABÓN: DISTRIBUIDORES DEL BIODIÉSEL.....	89
7.	
DERIVADOS DEL BIODIÉSEL: PROPILENGLICOL.....	93
7.1. Panorama internacional .....	96
7.2. Panorama nacional .....	100
Conclusiones.....	102
Referencias bibliográficas .....	108
Anexos .....	118



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de los biocombustibles.....	2
Tabla 2.	Distribución de los costos de producción del biodiésel .....	13
Tabla 3.	Consumo energético mundial - Mtep.....	14
Tabla 4.	Principales países productores de biodiésel en la UE. Cifras en millones de litros.....	17
Tabla 5.	Producción de biodiésel en Estados Unidos año 2013. Cifras en millones de galones.....	18
Tabla 6.	Condiciones edafo-climáticas para un cultivo de palma de aceite.....	34
Tabla 7.	Producción, ventas mercado nacional e internacional del aceite de palma. Cifras en toneladas .....	40
Tabla 8.	Diferentes materias primas para la producción de biodiésel.....	48
Tabla 9.	Propiedades de diferentes aceites y grasas .....	51
Tabla 10.	Propiedades físicas y químicas de diferentes metil éster .....	51
Tabla 11.	Potenciales proveedores de aceite de soja.....	58
Tabla 12.	País de Origen de las importaciones realizadas empleando la subpartida arancelaria 1507.10.00.00.....	61
Tabla 13.	País de Procedencia de las importaciones realizadas empleando la subpartida arancelaria 1507.10.00.00.....	62
Tabla 14.	Clasificación de acuerdo a la actividad económica de los proveedores de aceite de soja.....	62
Tabla 15.	Clasificación de acuerdo a la actividad económica de las importadoras de aceite de soja en Colombia.....	63
Tabla 16.	Potenciales proveedores de sebo .....	69
Tabla 17.	Cantidad producida de UCO en varios países y/o grupo económico .....	73
Tabla 18.	Grasa producida anualmente por la industria de rendering en Estados Unidos .....	74
Tabla 19.	Precios promedios internacionales de los aceites empleados como materia prima para producir biodiésel. Año 2007.....	75
Tabla 20.	Materias primas y requerimientos energéticos para la producción de una tonelada biodiésel .....	79
Tabla 21.	Plantas de biodiésel en funcionamiento período 2008-2010 .....	81
Tabla 22.	Plantas de biodiésel en funcionamiento período 2011 - enero a mayo de 2014.....	82
Tabla 23.	Importaciones de biodiésel en Colombia período 2012 - primer semestre de 2014.....	86
Tabla 24.	Flete máximo de transporte de biodiésel desde las plantas de transesterificación hasta distribuidores mayoristas. Cifras en pesos colombianos/galón.....	91
Tabla 25.	Principales empresas importadoras de propilenglicol período 2010 - mayo 2014.....	101

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Esquema de la reacción de transesterificación con metanol .....	10
Gráfico 2.	Esquema de la reacción de transesterificación. Reactivos y productos. ...	11
Gráfico 3.	Esquema del proceso de separación y purificación el biodiésel y acondicionamiento de la glicerina .....	12
Gráfico 4.	Producción mundial de biocombustible. Cifras en miles de millones de litros.....	15
Gráfico 5.	Biodiésel en la Unión Europea. Cifras en millones de litros. ....	17
Gráfico 6.	Cifras del biodiésel en Argentina. Cifras en millones de litros.....	19
Gráfico 7.	Precios en términos reales del biodiésel durante el período de perspectivas .....	20
Gráfico 8.	Distribución regional de la producción y el uso mundial de biodiésel año 2022. ....	21
Gráfico 9.	Antecedentes de la producción de biodiésel en Colombia.....	23
Gráfico 10.	Entes reguladores del sector biocombustibles en Colombia.....	25
Gráfico 11.	Cadena productiva del biodiésel en Colombia.....	27
Gráfico 12.	Pasos del proceso de extracción del aceite de palma .....	29
Gráfico 13.	Encadenamiento del sector palmicultor en Colombia .....	30
Gráfico 14.	Período agrícola cultivo de palma .....	35
Gráfico 15.	Zonas palmeras en Colombia y áreas sembradas año 2014.....	37
Gráfico 16.	Distribución de las áreas sembradas en palma año 2000 y 2014 .....	38
Gráfico 17.	Áreas sembradas en palma de aceite período 2004-2014. Cifras en hectáreas (Ha).....	39
Gráfico 18.	Precios internacionales y nacionales del aceite crudo de palma.....	41
Gráfico 19.	Rendimientos de aceite de palma en Colombia. Cifras en Toneladas/hectáreas (t/Ha) .....	43
Gráfico 20.	Estructura de costos de producción fruto de palma y extracción del aceite.....	44
Gráfico 21.	Comparación costos totales de producción de ACP promedio 1984-2012 (Dólares corrientes/t) .....	44
Gráfico 22.	Producción mundial de aceite de soja período 2003-2013. Cifras en toneladas. ....	55
Gráfico 23.	Proporción de producción promedio de aceite de soja por región período 2003-2013 .....	56
Gráfico 24.	Principales países productores de aceite de soja año 2013. Cifras en toneladas .....	56
Gráfico 25.	Exportaciones promedio de aceite de soja los cinco principales países período 2003-2012. Cifras en toneladas. ....	57



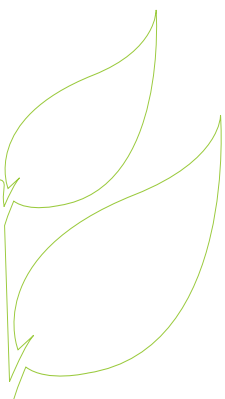
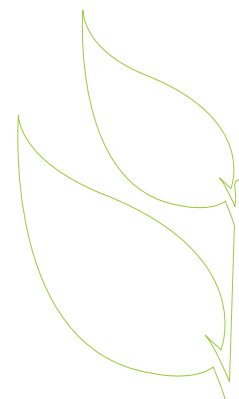


Gráfico 26.	Importaciones promedio de aceite de soja de los cinco principales países período 2003-2012. Cifras en toneladas.....	58
Gráfico 27.	Precios internacionales del aceite de soja y de palma período 2002-2014. Cifras en (US\$/mt) .....	59
Gráfico 28.	Cantidad importada de aceite de soja en bruto año 2010 - enero-agosto de 2014. Cifras en toneladas. ....	60
Gráfico 29.	Producción mundial de sebo período 2003-2013. Cifras en toneladas. ..	65
Gráfico 30.	Proporción de producción de sebo por continente período 2003 - 2013. ....	66
Gráfico 31.	Principales países productores de sebo año 2013. Cifras en toneladas. ..	66
Gráfico 32.	Exportaciones promedio de sebo período 2003 - 2012. Cifras en toneladas.....	67
Gráfico 33.	Importaciones promedio de sebo período 2003-2012. Cifras en toneladas.....	68
Gráfico 34.	Cantidad importada de sebo desnaturalizado año 2012 - enero-junio 2014. Cifras en toneladas.....	70
Gráfico 35.	Importaciones de sebo desnaturalizado por ciudad proveedora. Cifras en toneladas. ....	71
Gráfico 36.	Top 16 de países productores de biodiésel a nivel mundial.....	78
Gráfico 37.	Producción de biodiésel de aceite de palma período 2008 - 2014. Cifras en toneladas. ....	80
Gráfico 38.	Precios promedios del biodiésel y de la mezcla con diésel fósil. Período 2008 - 2014.....	85
Gráfico 39.	Distribución del biodiésel en Colombia. ....	90
Gráfico 40.	Usos del propilenglicol.....	94
Gráfico 41.	Producción mundial de Propilenglicol por países.....	96
Gráfico 42.	Capacidad mundial de propilenglicol por regiones .....	98
Gráfico 43.	Consumo de propilenglicol en el mundo.....	98
Gráfico 44.	Principales usos del propilenglicol en 2013.....	99
Gráfico 45.	Total de importaciones de propilenglicol período 2010 - mayo 2014. Cifras en Kilogramos.....	100

## ABREVIATURAS

ACPM:	Aceite Combustible Para Motores
CENIPALMA:	Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite
CIP:	Corporación Internacional de Productividad
CNDSB:	Coordinador Nacional para el Desarrollo Sostenible de los Biocombustibles
CO:	Monóxido de Carbono
CO2:	Dióxido de Carbono
CORPOICA:	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
CUE:	Consortio Universitario Euro-Americano
DNP:	Departamento Nacional de Planeación
EUA:	Estados Unidos de América
FAO:	Food and Agriculture Organization - Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura.
FAOSTAT:	Food and Agriculture Organization Statistics - Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura - Estadísticas.
FEDEBIOCOMBUSTIBLES:	Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia
FEDEPALMA:	Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
Ha:	Hectáreas
IGAC:	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
L:	Litros
MAVDT:	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MADR:	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MT:	Ministerio de Transporte
MCIT:	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
MME:	Ministerio de Minas y Energía
Mml:	Miles de millones de litros
Mt:	Toneladas métricas
Mtep:	Millones de toneladas equivalentes de petróleo
OCDE:	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
PND:	Plan Nacional de Desarrollo
RBD:	Refinado Blanqueado y Desodorizado
RFF:	Racimos de fruto fresco
SICOM:	Sistema de Información de Combustibles Líquidos
SISPA:	Sistema de Información estadística del sector Palmero
UCO:	Used Cooking Oil - Aceite de Cocina Usado
UE:	Unión Europea
UPME:	Unidad de Planeación Minero Energética
T:	Toneladas





## INTRODUCCIÓN

El creciente interés por la búsqueda de fuentes de energías alternativas se fundamenta básicamente en dos razones. La primera de ellas es de índole ambiental y se sustenta en el uso de combustibles que no contaminen el medio ambiente. El aumento desmedido de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) —especialmente del dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ —, muchos de ellos emitidos durante el proceso de combustión de los combustibles fósiles, constituye la principal causa del calentamiento global (Boyes & Stranisstreet, 1993), el cual es considerado por muchos como el mayor problema ambiental que existe en la actualidad. La segunda razón, 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; Şensöz, Angın & Yorgun, 2000).

En función de lo anteriormente expuesto, el desarrollo y producción de energías renovables se presenta como una prometedora solución, no solo para encontrar un sustituto del petróleo sino también para contrarrestar el cambio climático mundial. En esta línea, los biocombustibles representan uno de los tipos de energía renovable que mayor posicionamiento ha ganado en los últimos años, tanto como alternativa para garantizar el abastecimiento energético de los países como para cuidar y preservar el medio ambiente, a través de la disminución de GEI. Además, el sector de los biocombustibles se ha convertido en un motor de la economía en diversos países, gracias a la generación de empleos en otros sectores como el agrícola, industrial y de servicios.

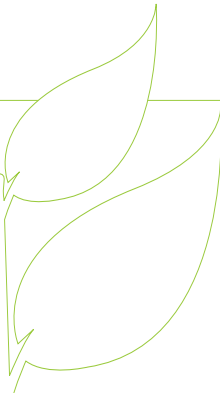
En Colombia, desde hace más de una década, se ha venido fomentando a nivel gubernamental el desarrollo del sector biodiésel a través del establecimiento de un marco normativo favorable y la implementación de incentivos de carácter financiero y tributario. En el año 2001, por ejemplo, a través de la sanción de la Ley 693 se estableció como obligatoria la mezcla de bioetanol con gasolina; en el 2004 se promulgó la Ley 939 para la producción de biodiésel, y en el año 2008 empezaron a funcionar las plantas productoras de este biocombustible. De igual forma, organizaciones no gubernamentales, gremios del sector energético y ambiental, e instituciones educativas, han adelantado estudios e investigaciones para determinar las potencialidades de dicho sector en el país, considerando de manera especial su encadenamiento con el sector de palma, aceites y grasas vegetales.



La presente publicación se desarrolla en el marco de un proyecto de investigación, financiado por la Gobernación del Atlántico con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, orientado a promover el desarrollo del sector en el departamento. Para ello, una primera fase de la investigación consistía en analizar a nivel nacional la situación actual del sector de biodiésel, sus potencialidades y su integración con otros elementos de su cadena productiva, corriente arriba (proveedores de materia prima) y corriente abajo (distribuidores, fabricación de productos derivados, etc.). En esta obra se presentan los resultados de la primera fase, antes mencionada, y se abarca un análisis desde la perspectiva económica y de mercado del sector y de su cadena de suministro. La obra está estructurada en ocho capítulos en los que se abordan desde las características básicas del biodiésel hasta productos derivados de su producción. En el capítulo uno se presenta la definición y clasificación de los biocombustibles de acuerdo al tipo de materia prima que se emplea para su producción; se relata brevemente la historia del biodiésel y su proceso de producción, y finalmente se abordan las principales características del biodiésel y los detalles más sobresalientes en términos de sostenibilidad de la cadena.

En el capítulo dos se hace referencia al panorama internacional del biodiésel con un análisis de su producción y consumo mundial, destacando las participaciones de los mayores productores y finalmente se mencionan las perspectivas de los próximos años para el sector biodiésel a nivel mundial. En el capítulo tres se presenta el panorama nacional del biodiésel, iniciando con el relato de los principales antecedentes tanto internacionales como nacionales que impulsaron el nacimiento y desarrollo del sector biodiésel en Colombia; se presentan los diferentes entes reguladores del sector y se realiza una explicación general de la cadena productiva del sector biodiésel en Colombia.

En el capítulo cuatro se explica con mayor detalle el primer eslabón de la cadena productiva del biodiésel en Colombia, es decir, los proveedores de la materia prima aceites vegetales o grasas animales. Inicialmente, se describen las actividades que se llevan a cabo para la obtención de la principal materia prima que se usa en Colombia para la producción de biodiésel. Para ello se explica todo el proceso productivo del aceite de palma, desde el período agrícola que incluye a su vez todo lo referente al cultivo, cosecha y transporte de los frutos de palma, hasta el período industrial que abarca la extracción del aceite de palma y los demás subproductos. Adicionalmente, se presenta información con respecto a las áreas sembradas en Colombia, la producción de aceite de palma, sus precios, sus costos de producción, y la forma como está distribuido el mercado del aceite de palma en el país. Finalmente, se presenta un análisis de la situación actual del sector palmicultor en Colombia, y se dan a conocer los resultados de una investigación de mercados realizada para tres materias primas alternativas para la producción de biodiésel: aceite de soja, sebo de res y aceite de cocina usado.



En el capítulo cinco se aborda el segundo eslabón de la cadena de suministro del biodiésel, constituido por las empresas productoras de este biocombustible. Para ello se presenta un análisis de la evolución de la producción en Colombia (desde el año 2008 hasta el año 2014), de las plantas productoras de biodiésel en funcionamiento, de sus precios y los de su mezcla con diésel fósil y de la evolución del porcentaje de mezcla en los diferentes departamentos del país.

En el capítulo seis se presenta el tercer eslabón de la cadena de suministro del biodiésel, que está constituido por los distribuidores. Allí se explica todo el proceso de transporte del biodiésel desde las plantas productoras hasta el consumidor final, se muestran las tarifas y precios que aplican para el transporte del biodiésel y de su mezcla con diésel. Finalmente, se realiza un análisis de cómo está conformada la cadena de distribución de los biocombustibles en Colombia.

Por su parte, en el capítulo siete se realiza un análisis de mercado tanto internacional como nacional de uno de los posibles derivados del biodiésel: el propilenglicol.

Por último, en el octavo capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegó después del desarrollo de cada uno de los siete capítulos anteriores. Se finaliza con un análisis de las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del sector biodiésel en Colombia y la determinación de los factores clave para el éxito de esta industria. En la sección de anexos se presenta información complementaria de cada uno de los capítulos.



# GENERALIDADES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

## 1.1. Definición y clasificación de los biocombustibles

En términos generales, los biocombustibles pueden definirse como aquellos combustibles que se producen a partir de la biomasa, es decir, materia orgánica originada en un proceso biológico (Álvarez, 2009; Demirbas, Balat & Balat, 2011). Los biocombustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos, siendo los dos últimos los que proporcionan mayores beneficios en términos ambientales.

En el caso específico de los biocombustibles líquidos, se distinguen tres categorías: biodiésel; bioalcoholes y biocrudo, y aceites biosintéticos (Demirbas et al., 2011). El biodiésel es uno de los combustibles alternativos de mayor potencial y que representa una excelente opción frente al diésel convencional (Fernando, Hall & Jha, 2006; Dorado, Ballesteros, Arnal, Gómez & López, 2003).

Los biocombustibles también se clasifican en función de la materia prima y el tipo de tecnología que se emplea para su producción. De esta manera, se distinguen entre biocombustibles de primera, segunda, tercera y cuarta generación. No obstante, vale la pena señalar que no existe un consenso en la literatura acerca de las materias primas que se incluyen en cada una de las clasificaciones antes señaladas (ver tabla 1).

Hoy día, la producción de biocombustibles de primera generación tiene una gran relevancia y se estima una producción mundial de 50.000 millones de litros por año (Naik, Goud, Rout & Dalai, 2010). No obstante, la producción de este tipo de biocombustibles, en particular los que se obtienen a partir de aceites vegetales vírgenes, ha generado diversas polémicas tanto desde el punto de vista ambiental como desde el punto de vista de la seguridad alimentaria. Los ambientalistas han criticado la amplia deforestación de bosques como producto del establecimiento de cultivos oleaginosos destinados a la producción de biodiésel (Butler, 2006; Ahmad, Yasin, Dereck & Lim, 2011); mientras que desde el ámbito de la seguridad alimentaria se ha criticado el uso de aceites vegetales comestibles (soja, palma, girasol, entre otros) como materia prima fundamental en estos procesos. Estas preocupaciones son las que han fomentado el desarrollo de los biocombustibles de segunda generación, los cuales se basan en el uso de materias primas alternativas que no comprometen la

seguridad alimentaria, debido a que no son aptas para el consumo humano, y al mismo tiempo, no ponen en peligro la conservación del medio ambiente.

**Tabla I. Clasificación de los biocombustibles**

Categoría	Materias primas	Proceso tecnológico	Ejemplos de biocombustibles	Autores
<b>Primera generación</b>				
"Primera corriente de pensamiento"	Aceites obtenidos a partir de semillas oleaginosas tales como la colza, palma, soja, girasol, entre otros. Estas son las primeras materias primas que se emplearon para la producción de biocombustibles y las de mayor uso a nivel mundial.	Esterificación y transesterificación de aceites y fermentación de azúcares	Biodiésel, bioetanol, biobutanol	de Vries et al., 2010; Ahmad et al., 2011
"Segunda corriente de pensamiento"	Cultivos agrícolas y/o oleaginosas (caña de azúcar, granos de maíz, aceite de palma, de soja, de ricino, de semillas de algodón, de coco, de maní, entre otros). Grasas animales, aceites usados previamente en la preparación de alimentos y desperdicios sólidos orgánicos.	Esterificación y transesterificación de aceites y fermentación de azúcares	Biodiésel, bioetanol, biobutanol	Álvarez, 2009; Demirbas, 2011
<b>Segunda generación</b>				
"Primera corriente de pensamiento"	Aceites y grasas no aptas para el consumo humano y que no generan controversia con la seguridad alimentaria: aceite de jatropha, de semillas de tabaco, de jojoba, de higuera, el aceite de cocina usado, el sebo de res y la manteca de cerdo.	Pretratamiento físico, químico y biológico de la materia prima, fermentación y proceso petroquímico	Bioetanol, biobutanol, biodiésel y gas de síntesis	Ahmad et al., 2011
"Segunda corriente de pensamiento"	Lignocelulósica- biomasa vegetal: hojas y ramas secas de árboles, tallos, residuos de madera, entre otros.	Pretratamiento físico, químico y biológico de la materia prima, fermentación y proceso petroquímico	Bioetanol, biobutanol, biodiésel y gas de síntesis	Naik et al., 2010; Demirbas, 2009
<b>Tercera generación</b>				
	Microalgas	Cultivo de algas, cosecha y extracción del aceite, transesterificación, o fermentación o proceso termoquímico	Biodiésel, bioetanol, biobutanol, gas de síntesis, biohidrógeno, metano	Álvarez, 2009; Demirbas, 2011

Categoría	Materias primas	Proceso tecnológico	Ejemplos de biocombustibles	Autores
<b>Cuarta generación</b>				
	Bacterias modificadas genéticamente que emplean dióxido de carbono para la producción de biocombustibles.	Ingeniería metabólica de algas con aumento de la capacidad de atrapamiento de carbono, cultivo, cosecha, fermentación o extracción del aceite, transesterificación, o proceso termoquímico	Biodiésel, bioetanol, biobutanol, gas de síntesis, biohidrógeno, metano	Álvarez, 2009

Fuente: Elaboración propia a partir de Dutta, Daverey y Lin, 2014.

Una de las razones por las que actualmente los biocombustibles de segunda generación (particularmente aquellos que se producen a partir de grasas animales o aceites vegetales usados) no se comercializan a gran escala es porque estas materias primas poseen gran cantidad de ácidos grasos libres (AGL), los cuales dificultan el proceso de transesterificación (Leung, Wu & Leung, 2010). Adicionalmente, en muchos casos, las grasas animales provienen de organismos contaminados, lo que representa un gran problema de bioseguridad (Janaun & Ellis, 2010). Con respecto al aceite de cocina usado, a pesar de que anualmente se generan aproximadamente más de 15 millones de toneladas en todo el mundo (Gui, Lee & Bathia, 2008), la incipiente logística de recolección del mismo que predomina en la mayoría de los países se convierte en una limitante para el uso de este tipo de aceite en la producción de biodiésel (Janaun & Ellis, 2010).

Los biocombustibles de tercera generación (ver tabla 1), al ser producidos a partir de microalgas, representan una prometedora alternativa para la producción del biodiésel. El rendimiento del aceite que se obtiene a partir de las microalgas es 25 veces mayor al que se obtiene con cultivos oleaginosos. Adicionalmente, las microalgas pueden crecer en agua dulce o salobre, pueden vivir y reproducirse en una variedad de condiciones ambientales, y sus cultivos necesitan pequeñas extensiones de tierras (Ahmad et al., 2011; Mata, Martins & Caetano, 2010). A pesar de las ventajas antes señaladas, la producción de biodiésel a partir de microalgas se encuentra aún en una fase de investigación y de identificación de especies aptas para la generación de este biocombustible. Hasta el momento la producción de biodiésel y bioetanol a partir de microalgas solo se ha presentado en plantas piloto (Álvarez, 2009).

La producción de biocombustibles de cuarta generación se lleva a cabo a partir de la modificación genética de bacterias, que son las encargadas de realizar todo el proceso productivo del biocombustible, empleando para ello el CO<sub>2</sub>. Igualmente, esta división se encuentra aún en una fase de investigación (Álvarez, 2009).



La evolución de los biocombustibles está determinada por la investigación y desarrollo de procesos tecnológicos de transformación de las diferentes materias primas; no obstante, las exigencias de los mercados internacionales, el comportamiento de los combustibles fósiles, la seguridad alimentaria de los países, la preservación del medio ambiente entre otras variables pueden influir directamente en dicha evolución. En este sentido, la producción de biocombustibles enfrenta retos relacionados con la seguridad alimentaria, el cuidado medioambiental y el cumplimiento de normas internacionales.

Muchos países como Estados Unidos y los pertenecientes a la Unión Europea poseen una robusta legislación con respecto a los parámetros técnicos y criterios de sostenibilidad que debe cumplir el biodiésel que es importado de otros países. Adicionalmente, en la Unión Europea cada vez más se incrementan las exigencias por el uso de materias primas no aptas para el consumo (por ejemplo, aceites vegetales usados, sebo animal) en la producción de biodiésel.

Estas exigencias constituyen un gran reto que deben superar los países en vía de desarrollo que pretenden producir y exportar biodiésel a los dos territorios que se mencionaron en el párrafo anterior. En este sentido se hace necesario fortalecer la investigación y el desarrollo de tecnologías para la producción de biodiésel a partir de materias primas alternativas, de tal manera que se cumplan los estándares técnicos exigidos por los mercados internacionales.

## **1.2. Principales características del biodiésel**

El biodiésel es definido por la norma ASTM D-6751 (American International for Testing and Materials por sus siglas en inglés) como “ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites vegetales o grasas animales denominado como B100”. Mientras que la mezcla de biodiésel es definida como una combinación de este biocombustible con el diésel derivado del petróleo y es denominada BXX, en la que XX equivale al porcentaje del volumen del biodiésel en la totalidad de la mezcla (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2010). Así, por ejemplo, B5 indica una mezcla con un porcentaje del 5% de biodiésel y 95% de diésel convencional.

La producción de biodiésel tiene sus inicios en el año de 1853, cuando E. Duffy y J. Patrick llevaron a cabo un proceso de transesterificación (Demirbas, 2008a). Sin embargo, fue solo hasta el año de 1900 cuando el científico alemán Rudolph Diésel dio a conocer durante la “Exposición Internacional de París”, el primer motor diésel que empleaba aceite de maní como combustible (Xiao & Gao, 2011). Este investigador demostró que el motor diésel podía ser alimentado con aceites vegetales y de esta manera podría contribuir al desarrollo de las áreas rurales de los países. Posteriormente, en el año 1937, a G. Chavanne de la Universidad de Bruselas-Bélgica le concedieron una patente enfocada en el “Procedimiento para la transformación de aceites vegetales en combustibles”. En esta patente se describe el proceso de transesterificación de aceites vegetales empleando etanol y metanol (Xiao & Gao, 2011).

Uno de los primeros usos del biodiésel como combustible se registró en Sudáfrica años antes de la Segunda Guerra Mundial. Este país empleó aceites vegetales para la producción de com-

bustible en motores diésel con el fin de movilizar vehículos de carga pesada (Demirbas, 2008a). No obstante, debido a los bajos costos de refinación de los combustibles fósiles, la industria del petróleo ganó terreno durante gran parte del siglo XX, desestimulando la producción de biocombustibles cuyos costos de producción eran sensiblemente mayores.

Fue solo hasta la década de los 70 cuando se renovó el interés por la producción de biocombustibles debido, entre otras razones, a la crisis energética que se evidenció en dicho período y al cambio climático que empezaba a percibirse como fruto de la contaminación atmosférica por la emisión de gases vehiculares<sup>1</sup>. Sin embargo, la producción del biodiésel con fines comerciales solo se presentó hacia 1990, especialmente en países de la Unión Europea (Demirbas, 2008a), mientras que el comercio internacional de este biocombustible inició en el 2006, cuando se empezó a utilizar no solo en el sector transporte sino también en el sector marítimo, de aviación, generación de electricidad, y en las cocinas de los hogares. Desde ese año, Estados Unidos, la Unión Europea y Brasil han dominado el mercado internacional de los biocombustibles (La Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo [UNCTAD], 2014).

El IICA (2010) categoriza las principales características del biodiésel en: características deseables y características no tan deseables. Las características deseables incluyen los impactos positivos del uso del biodiésel a nivel ambiental, económico, técnico y de abastecimiento energético. Desde el punto de vista ambiental, el biodiésel es una fuente de energía renovable que contribuye al cuidado y preservación del medio ambiente gracias a los atributos que posee. El biodiésel se degrada cuatro veces más rápido que el diésel convencional, tardando aproximadamente 28 días en desintegrarse; no es considerado una sustancia tóxica, razón por la cual no produce ningún riesgo en caso de derramamiento accidental en aguas oceánicas; la combustión del biodiésel reduce significativamente las emisiones de monóxido de carbono (CO) y otros Gases de Efecto Invernadero. Adicionalmente, el biodiésel, al ser un combustible vegetal no contiene sustancias aromáticas cancerígenas a diferencia de los hidrocarburos (Ma & Hanna, 1999; Venkataraman, 2002; Knothe, Krahl & Van Gerpen, 2005).

Desde el punto de vista económico, la producción de biodiésel contribuye a valorizar ciertos cultivos agrícolas y a la generación de empleo en zonas rurales y urbanas. Además, en el proceso de producción del biodiésel se generan subproductos como la glicerina y fertilizantes orgánicos, que pueden ser útiles en otros mercados. Particularmente, la glicerina, puede ser usada como insumo para la producción de insumos con valor agregado tales como el propilenglicol. Desde el punto de vista del abastecimiento energético, la producción de biodiésel permite reducir la dependencia de importaciones de petróleo, ya que este biocombustible se puede producir a partir de cultivos originarios de cada país.

Desde el punto técnico, el biodiésel posee un alto punto de inflamación en comparación con el diésel convencional por lo cual no es considerado una mercancía peligrosa y por tanto sus

---

<sup>1</sup>El Protocolo de Kyoto, (adoptado el 11 de diciembre de 1997, pero debido a un complejo proceso de ratificación entró en vigencia a partir del 16 de febrero de 2005) constituye un importante factor que estimuló la producción del biodiésel en el mundo. (United Nations Framework on Climate Change, s.f.)

riesgos de manipulación, transporte y almacenamiento son bajos con respecto al diésel derivado del petróleo (Demirbas, 2007). Adicionalmente, el biodiésel, al ser producido a partir de aceites vegetales posee un alto poder lubricante (Mittelbach & Remschmidt, 2004; Knothe et al., 2005) que protege los motores evitando su desgaste y disminuyendo gastos de mantenimiento.

También se encuentran en la literatura características del biodiésel consideradas como no tan deseables, las cuales pueden ser clasificadas en términos ambientales, técnicos y económicos. Desde la óptica ambiental, diversos estudios han demostrado que la combustión del biodiésel libera altas emisiones de óxido nitroso - Nox (causante de la lluvia acida) comparadas con las del diésel convencional (Demirbas, 2008a; IICA, 2010). Desde el punto de vista técnico, el biodiésel puede llegar a solidificarse cuando se somete a bajas temperaturas, obstruyendo los conductos del combustible y por su propiedad de solvencia puede degradar ciertos materiales como el caucho. El biodiésel posee un menor contenido de energía que conduce a una baja velocidad y potencia del motor.

Con respecto al ámbito económico, muchos autores coinciden en que el costo de producción del biodiésel es mayor en comparación con el de diésel de petróleo a causa del alto precio de las materias primas empleadas para su producción, específicamente de los aceites vegetales vírgenes (Kulkarni & Dalai, 2006). Por esta razón, aún no es económicamente viable la producción a gran escala del biodiésel (Ng, J., Ng, K., & Gan, 2010). De hecho, algunos autores sostienen que para que el biodiésel pueda llegar a competir económicamente con el diésel fósil es necesario la intervención de entidades políticas (Ojeda, Sánchez, León & Medina 2007; Barón, Forero & Castro, 2013).

Tal como se ha mencionado anteriormente, los biocombustibles líquidos generan un importante número de ventajas para los países que incentivan su producción y consumo, entre las que se destacan: la independencia y seguridad energética (reducción de importaciones de combustibles derivados del petróleo); el fortalecimiento del desarrollo rural y la consolidación de un nuevo sector de la economía que permite la creación de nuevos puestos de trabajo y disminuye los índices de desempleo tanto en el campo como en las ciudades. En este orden de ideas, la reducción de la pobreza y el crecimiento económico se convierten en dos de los principales impactos que genera la producción de biocombustible en los países en vía de desarrollo. Las ventajas de los biocombustibles se extienden hasta el ámbito ambiental, pues favorecen el cuidado y preservación del medio ambiente al reducir los niveles de contaminación atmosférica y liberar un menor porcentaje de GEI durante el proceso de combustión.

No obstante, existe una creciente preocupación por la producción y consumo de biocombustibles que se asocia, principalmente, a los impactos negativos que se pueden generar en la seguridad alimentaria de los países y en el medio ambiente. En primer lugar, la seguridad alimentaria se ve amenazada por la producción intensiva de cultivos agrícolas (de consumo humano), destinados a la generación de bioenergía. En este sentido, se teme por el surgimiento de conflictos entre los biocombustibles y la alimentación de los países.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2010) afirma que la producción mundial de la bioenergía se ha llevado a cabo sin analizar a profundidad los principales costos, beneficios e impactos que pueda generar. Por tanto, los gobiernos de los países deben garantizar que los avances que se realicen en materia de producción de biocombustibles sean sostenibles a nivel económico, social y ambiental. Para ayudar a los gobiernos en esta tarea, el Proyecto sobre “Bioenergía y Seguridad Alimentaria-BEFS” de la FAO desarrolló el “Marco Analítico sobre Bioenergía y Seguridad Alimentaria” con el fin de diseñar estrategias que permitan impulsar el crecimiento del sector de biocombustibles sin generar conflicto con la seguridad alimentaria.

En el marco de la realización del anterior proyecto, se definieron dos formas que pueden afectar la seguridad alimentaria de los países por la producción de biocombustibles. La primera de ellas hace referencia a la producción de bioenergía empleando cultivos agrícolas de consumo humano. En este sentido, se considera que se pueden presentar casos en los que se usen grandes extensiones de tierra para la plantación de cultivos destinados a la generación de biocombustibles, lo cual reduce el número de hectáreas disponibles para el establecimiento de cultivos con fines alimenticios. Una consecuencia inmediata de lo anterior, es el incremento en el precio de las cosechas y por lo tanto de los alimentos, que se originaría por la escasez de ciertos cultivos.

A lo señalado anteriormente se suma la competencia que existe por los recursos de agua que emplea la bioenergía y la agricultura. No obstante, vale la pena resaltar, que los requerimientos ácuos dependerán del tipo de cultivo que se haya sembrado para la producción de biodiésel. En este sentido, aquellos cultivos que demandan mayor cantidad de agua pueden llegar a generar escasez de este valioso líquido, lo que afecta los cultivos destinados para el consumo humano.

La segunda forma en la que la bioenergía puede llegar a afectar la seguridad alimentaria está relacionada con los impactos que se generan en los sectores agrícolas y agroindustriales. Uno de los factores clave que influye en la competitividad del sector de los biocombustibles es el incremento en los niveles de productividad de toda la cadena, especialmente en el eslabón agrícola. Generalmente, se obtiene una mayor productividad al emplear técnicas mecanizadas, producción a gran escala, entre otros, porque se disminuyen los costos de producción y se optimizan los tiempos de operación. Sin embargo, en los países en vía de desarrollo, la mayor parte de la agricultura está a cargo de pequeños productores que cuentan con escasa implementación tecnológica en las fases de siembra, mantenimiento y cosecha, y cuyos cultivos son intensivos en mano de obra.

De acuerdo con lo anterior, es importante destacar que al no existir una correcta gestión del sector, los pequeños agricultores podrían quedar por fuera de los beneficios, y serían los grandes agricultores los que lograrían obtener la mayor participación de mercado pues son los que cuentan con los recursos necesarios para implementar tecnología en el eslabón agrícola. Asimismo, el uso de técnicas mecanizadas desplazaría gran cantidad de la mano de obra que labora en las actividades del campo. También es importante considerar que un incremento en la productividad agrícola puede propiciar una tendencia al alza en el precio de los alimentos, siempre y cuando los cultivos sean destinados para uso energético.

Con respecto a lo anterior, se destaca que el aumento de la productividad agrícola también puede generar consecuencias favorables en el desarrollo rural y en la reducción de la pobreza gracias a la obtención de mejores ingresos por parte de los agricultores pequeños y contribuiría a la seguridad alimentaria pues los precios de los alimentos serían más bajos.

En función de lo antes expuesto, es posible afirmar que el desarrollo del sector de biocombustibles puede tener un efecto ambiguo en los ingresos de los agricultores, en los precios de los alimentos y en el empleo. Por un lado, los precios altos favorecerían a los productores y por tanto mejorarían la cantidad de recursos financieros obtenidos, pero por otra parte los altos precios de los alimentos afectarían a los consumidores. De igual forma, la bioenergía estimularía la creación de nuevas oportunidades laborales en las plantas de producción o en actividades del campo, aunque puede disminuir la cantidad de mano de obra demandada en los cultivos agrícolas, especialmente con la implementación de nuevas tecnologías y técnicas mecanizadas en las fases de siembra y cosecha.

A los posibles conflictos entre la producción de biocombustibles y la seguridad alimentaria hay que añadir los efectos adversos que puede generar la bioenergía en el medio ambiente. Si bien es cierto que el consumo de biocombustibles disminuye las emisiones de GEI, también hay que resaltar que al realizar un análisis profundo de su ciclo de vida los impactos positivos en el ambiente pueden reducirse e incluso llegar a revertirse. Asimismo, es importante determinar el balance energético de los biocombustibles con el fin de establecer si la energía contenida en el combustible es mayor a la que se emplea para su proceso de fabricación (Infante & Tobón, 2010).

En el caso particular de Colombia, a los factores externos descritos se suman las preocupaciones por el incremento del precio de la mezcla del diésel convencional con el biodiésel. Este es uno de los aspectos que genera un malestar generalizado en varios sectores, especialmente en los transportadores de carga por carretera (Infante & Tobón, 2010). Por otro lado cabe destacar que en materia de sostenibilidad, en el sector de biocombustibles, el país ha adelantado una serie de medidas que, si bien fueron atractivas en su momento, en la actualidad ya no se encuentran vigentes. Se destaca la creación de la figura del Coordinador Nacional para el Desarrollo Sostenible de los Biocombustible - CNDSB en el año 2007, la cual fue diseñada con el fin de garantizar que la producción y desarrollo de biocombustibles cumpliera con los parámetros de sostenibilidad. Adicionalmente, se estableció la conformación de la Comisión Intersectorial de los biocombustibles para apoyar la gestión del CNDSB. No obstante, el CNDSB operó solo hasta finales del año 2008.

A lo anterior hay que agregar la estructuración del Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de los Biocombustibles - PNBc. En este plan se establecieron las metas para el año 2020 en cuanto a hectáreas sembradas de caña de azúcar para el caso del bioetanol y de palma de aceite para el biodiésel. En el caso particular de la palma, se fijó una meta de sembrar 2 millones de hectáreas destinadas para la producción de biodiésel sin dejar de suplir la demanda de los mercados alimentarios.

A manera de conclusión, es posible afirmar que los impactos de los biocombustibles sobre los precios de los alimentos, crecimiento económico, seguridad energética, deforestación, uso de la tierra y cambio climático, dependen en gran medida del tipo de materia prima que se emplee, del método o tecnología usada en la producción, de la ubicación del país y de la gestión del sector. En otras palabras, la FAO (2010) considera que el efecto neto de la bioenergía sobre los precios altos de los alimentos y la seguridad alimentaria, varía en cada país. Es decir, siempre existirá un porcentaje de la población que se beneficiará con el aumento de los precios de los alimentos porque sus ingresos aumentarán y otro que podrá percibir el aumento de los precios como una amenaza para su seguridad alimentaria.

### **1.3. Proceso de producción del biodiésel**

Tal como se ha mencionado el biodiésel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas animales. No obstante, los aceites vegetales poseen ciertas características entre las que se destacan su alta viscosidad (se calcula que es 10 veces, o más, superior a la del diésel convencional) y su baja volatilidad, las cuales pueden afectar la calidad del biodiésel que se obtiene y desencadenar problemas técnicos cuando se emplee como combustible en motores diésel. Para superar estas limitantes de los aceites y obtener un biodiésel con los parámetros de calidad exigidos por la normativa, se han propuesto diversas soluciones (Hernández, Santamaría & Ríos, 2009), entre las que se mencionan: el precalentamiento de los aceites, (Masjuki, Abdulmuin & Sii, 1996), motores especialmente diseñados para el uso de biodiésel, mezclar diferentes tipos de aceites, y la transformación del aceite.

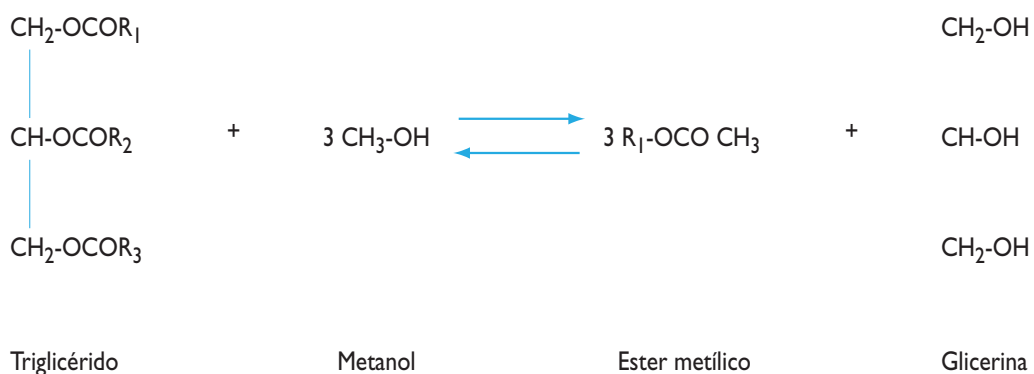
Esta última alternativa es el método que ha tenido mayor acogida en el mundo y sobre la cual se han desarrollado diversas tecnologías para llevar a cabo la transformación del aceite que posteriormente se usará en la producción de biodiésel. De esta forma, se afirma que existen cuatro caminos para obtener biodiésel (Leung et al., 2010). El primero de ellos se denomina “uso directo y mezcla”, el cual consiste en mezclar directamente el aceite vegetal con el combustible diésel en diferentes proporciones. Este método fue introducido por Caterpillar Brasil en el año 1980, cuando en motores de precombustión se empleó una mezcla de 10% de aceite vegetal con 90% de diésel convencional, sin requerir alguna modificación técnica en los motores (Ma & Hanna, 1999). El segundo método se fundamenta en la preparación de microemulsiones que emplean metanol, etanol y 1-butanol para disminuir la alta viscosidad del aceite vegetal (Ziejewski, Kaufman, Schwab & Pryde, 1984). Como tercer método se presenta la pirolisis o descomposición térmica del aceite, definida como el proceso mediante el cual una sustancia se convierte en otra en presencia de calor y de un catalizador. La pirolisis de los aceites vegetales para la obtención de biodiésel ha sido estudiada por muchos investigadores, especialmente después de la Primera Guerra Mundial (Schwab, Dykstra, Selke, Sorenson & Pryde, 1988).

El cuarto y último método es la “transesterificación” conocida también como “alcoholisis”. Este proceso es el más usado a nivel mundial, ya que ha arrojado los mejores resultados en cuanto a la producción de biodiésel (Freedman, Pryde & Mounts, 1984; Wimmer, 1992; Ma & Hanna, 1998; Meher, Sagar & Naik, 2006). En la presente publicación se abordará la transesterificación como principal tecnología para la fabricación del biocombustible que se usa en motores diésel.

A su vez, la producción de biodiésel a través del proceso de transesterificación puede dividirse en tres grandes etapas. La primera etapa está relacionada con el abastecimiento de las materias primas requeridas para el proceso de producción, las cuales a su vez son de tres tipos: a) aceites vegetales (comestibles o no comestibles) o grasas animales; b) alcohol, distinguiéndose el metanol, etanol, propanol y butanol. No obstante, el metanol es el alcohol más usado entre otras razones por su bajo costo y las ventajas asociadas a una menor complejidad en el proceso, menor volumen de alcohol que re-circula, menor grado de dificultad para separar la mezcla alcohol/agua y existencia de una tecnología ampliamente conocida (Ganduglia et al., 2009); y c) un catalizador, los usados con mayor frecuencia son los catalizadores alcalinos (básicos) y los ácidos. No obstante, emplear catalizadores básicos (los más comunes son el Hidróxido de Sodio - NaOH o el Hidróxido de Potasio - KOH), genera mayores ventajas en el proceso de producción, entre las que se destaca la menor complejidad en el tratamiento al someter la reacción a condiciones de presión y temperatura menos exigentes (Herrerias, Lumbreras, Postigo & Sánchez, 2007).

Durante la segunda etapa, la materia prima grasa es sometida a tratamientos de desgomado, refinación, filtrado, neutralización y secado. Estos procedimientos previos, tienen entre otras funciones, obtener un aceite que posea las características requeridas para que el biodiésel obtenido cumpla con los parámetros de calidad exigidos por la normativa y para disminuir el contenido de AGL, así como las impurezas que pueden causar taponamientos o averías en las maquinarias y equipos empleados para la producción del biodiésel.

La etapa siguiente consiste en la elaboración del biodiésel a través de un proceso de transesterificación de los aceites y grasas en presencia de un alcohol, específicamente del metanol mediante una catálisis básica (Herrerias et al., 2007). En el gráfico 1, se observa la reacción química de la transesterificación, la cual consiste en la reacción entre un triglicérido (molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos) contenido en los aceites vegetales o grasas animales y un exceso de alcohol (metanol) en presencia de un catalizador básico, a una temperatura que puede oscilar entre 40°C y 110°C, con lo cual se obtienen como productos tres ésteres metílicos (cuando se emplea metanol) y glicerina.

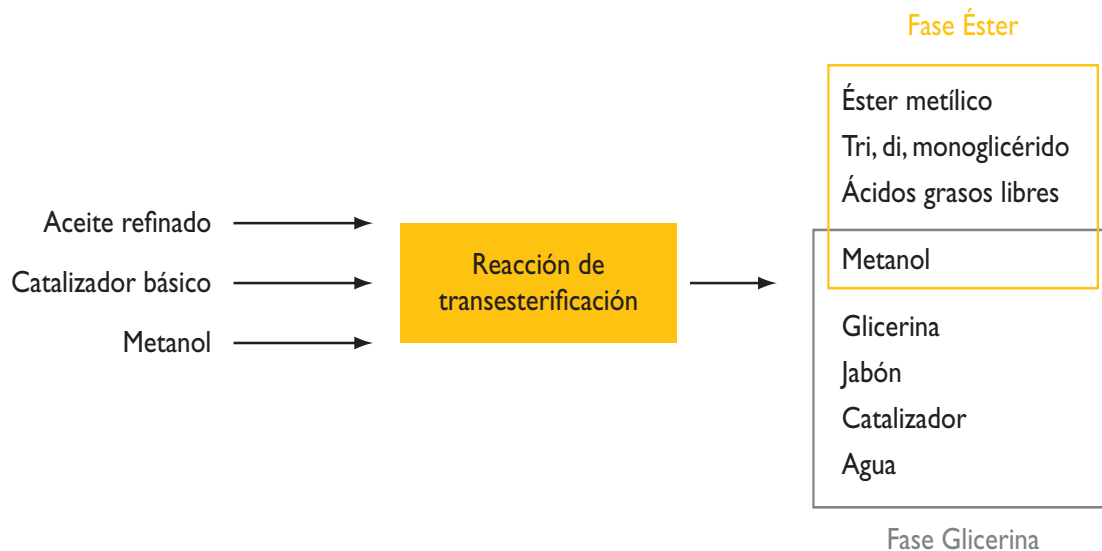


Fuente: [www.ongawa.org/wp-content/uploads/2011/08/INFORME-2-BIODIÉSEL.pdf](http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2011/08/INFORME-2-BIODIÉSEL.pdf)

**Gráfico 1.** Esquema de la reacción de transesterificación con metanol

Es importante resaltar que durante la reacción de transesterificación se presentan reacciones secundarias que dan origen a productos indeseables que pueden contaminar el biodiésel obtenido. Se destaca la formación de jabones originada por la saponificación de los triglicéridos y la liberación de agua durante el proceso de neutralización que se lleva a cabo por la presencia de ácidos grasos libres del aceite (Herreras et al., 2007). De este modo, la formación de jabones y el agua pueden alterar el rendimiento y las características del biodiésel obtenido.

En el gráfico 2, se ilustran con detalle las etapas del proceso de producción del biodiésel. Se observa que al culminar el proceso de transesterificación es posible encontrar en el reactor productos adicionales a los ésteres metílicos, tales como tri, di y monoglicéridos que no alcanzaron a reaccionar; metanol, restos del catalizador, glicerina, agua y jabón.

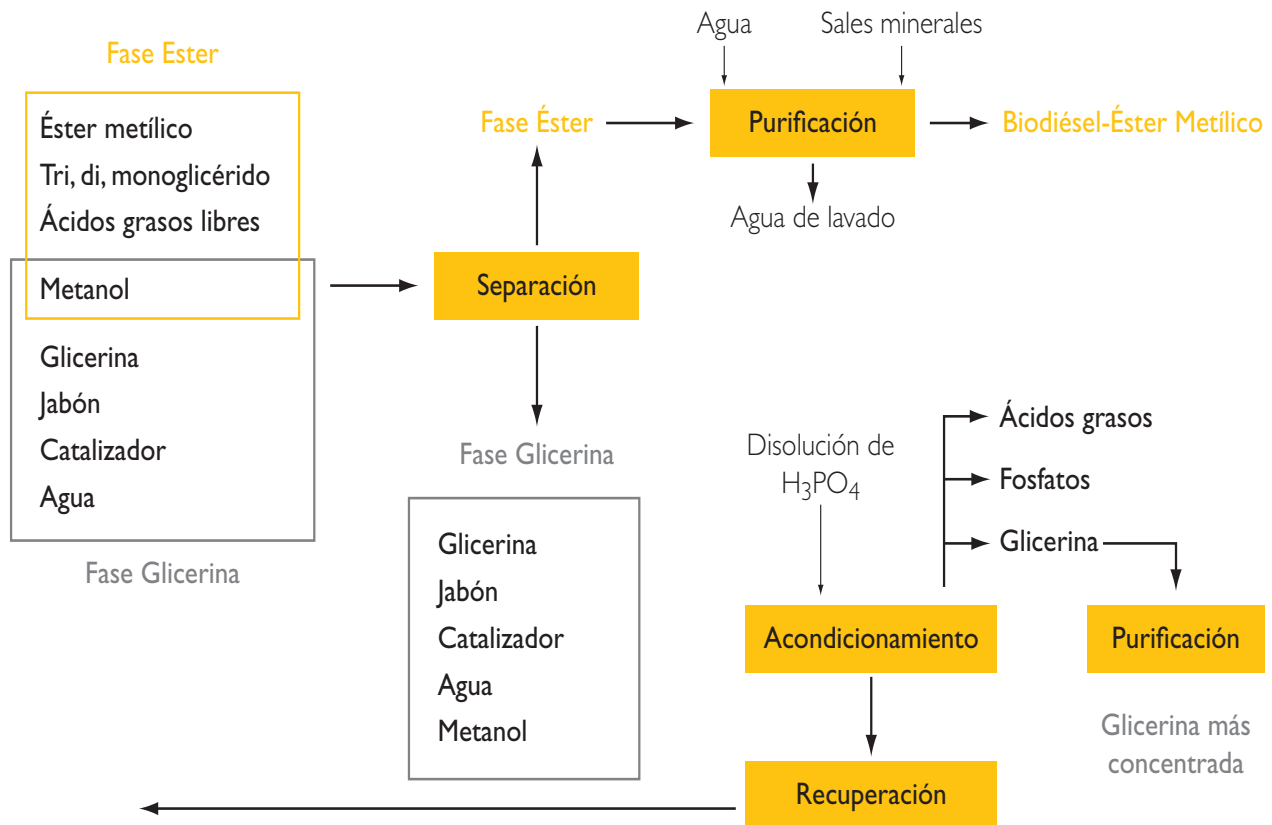


Fuente: [www.ongawa.org/wp-content/uploads/2011/08/INFORME-2-BIODIÉSEL.pdf](http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2011/08/INFORME-2-BIODIÉSEL.pdf)

### Gráfico 2. Esquema de la reacción de transesterificación. Reactivos y productos

De acuerdo con lo anterior, es necesario separar la fase éster de la fase glicerina y posteriormente realizar la purificación del biodiésel. Para la obtención final del biodiésel, los ésteres metílicos deben ser sometidos a un proceso de lavado que emplea agua y ácidos minerales con el fin de eliminar el exceso de metanol, los ácidos grasos libres y los triglicéridos que no se esterificaron. Luego de culminar este proceso, el biodiésel se encuentra listo para ser usado como combustible (ver gráfico 3).





Fuente: [www.ongawa.org/wp-content/uploads/2011/08/INFORME-2-BIODIÉSEL.pdf](http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2011/08/INFORME-2-BIODIÉSEL.pdf)

**Gráfico 3.** Esquema del proceso de separación y purificación el biodiésel y acondicionamiento de la glicerina

Luego de la purificación del biodiésel se procede a realizar el acondicionamiento de la glicerina obtenida. Para ello se agrega una solución de ácido fosfórico -  $H_3PO_4$ , que reacciona con el catalizador básico y los jabones que se formaron durante el proceso de transesterificación. Para finalizar, se producen ácidos grasos, fosfatos o sales, y glicerina que debe ser sometida a un proceso de purificación antes de comercializarse. Durante este proceso se elimina el agua y el metanol a través de una destilación al vacío para obtener finalmente glicerina concentrada.

Se estima que al emplear una tonelada de aceite se produce aproximadamente una tonelada de biodiésel y 100 kg de glicerina, la cual es utilizada en la industria química para la fabricación de jabones, detergentes y, en algunos países, se emplea como aditivo del biodiésel (Bochno, 2011). El biodiésel, por su parte, es empleado para el funcionamiento de los motores de combustión interna (en calderas, motores diésel estacionarios que generan energía eléctrica, maquinarias agrícolas, motores de barcos, vehículos de carga pesada y ligera, entre otros) y puede ser usado en su estado puro (B100) o, como sucede en la mayoría de los países, como un aditivo para el diésel convencional.

Los costos de producción del biodiésel pueden variar de un país a otro dependiendo de la disponibilidad de materia prima (Math, Kumar & Chetty, 2010). De hecho, la mayor parte de los autores afirman que el costo de la materia prima supone entre el 60 y el 80% del costo total de producción del biocombustible (ver tabla 2) (Pandey, 2009; Glišić, Lukic & Skala, 2009; Leung et al., 2010).

**Tabla 2.** Distribución de los costos de producción del biodiésel

Materiales	Costo
Materia prima	70,6%
Mantenimiento	4,0%
Químicos	12,6%
Energía	2,7%
Mano de obra	2,5%
Depreciación	7,6%

Fuente: Kemp, 2006.

Teniendo en cuenta lo anterior, podría afirmarse que actualmente la industria de los biocombustibles posee dos grandes retos. El primero de ellos consiste en la búsqueda de materias primas alternativas con bajos precios de adquisición, que permita a su vez disminuir los costos de producción del biodiésel; materias primas que no pongan en peligro la seguridad alimentaria ni la preservación del medio ambiente, que brinden además una alta eficiencia energética y que generen un biodiésel que cumpla con todas las características y parámetros técnicos exigidos por las normas internacionales. El segundo reto se basa en la investigación y desarrollo de tecnologías que permitan utilizar dichas materias primas en la producción de biodiésel.

## PANORAMA INTERNACIONAL DEL BIODIÉSEL

Aun cuando el petróleo continúa siendo la principal fuente de energía del mundo, durante la última década el uso de biocombustibles ha crecido notoriamente. La elevada volatilidad en los precios del petróleo, las políticas implementadas en la mayoría de los países para la conservación del medio ambiente, así como la necesidad de generar fuentes energéticas renovables, son algunas de las razones que explican este acelerado crecimiento.

**Tabla 3.** Consumo energético mundial - Mtep.

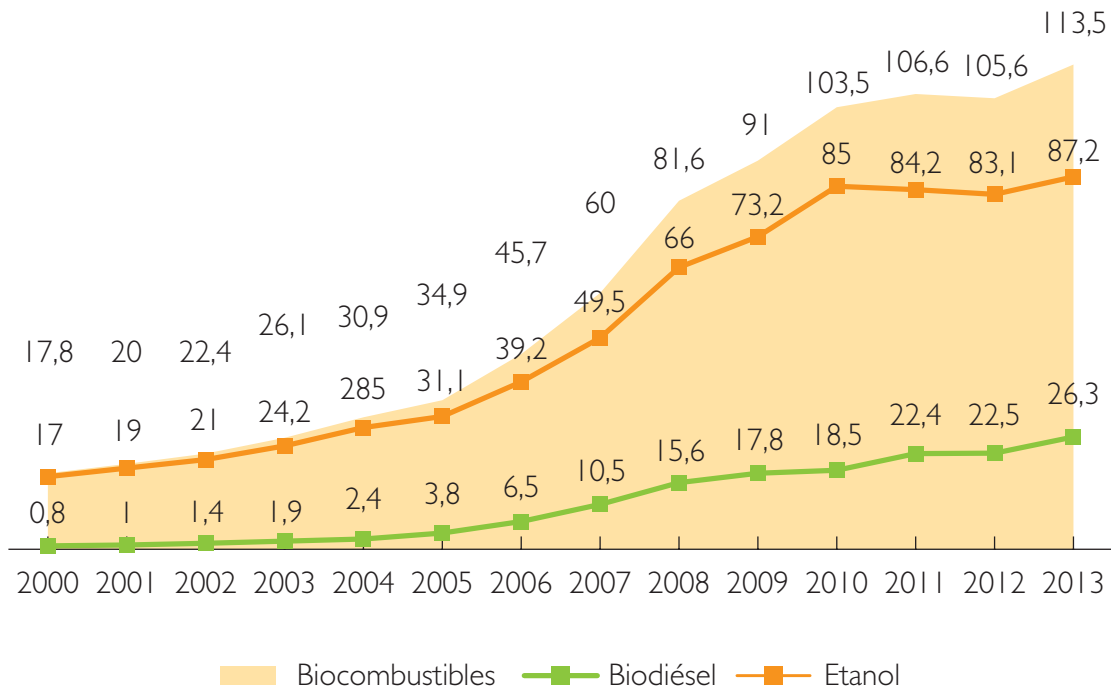
Fuentes de energía	2010	2011	2012	2013	Crecimiento promedio
Petróleo	4.040	4.085	4.139	4.185	1%
Carbón	3.469	3.630	3.724	3.827	3%
Gas natural	2.868	2.915	2.986	3.020	2%
Hidroelectricidad	784	796	834	856	3%
Energía nuclear	626	601	560	563	-3%
Renovables	168	205	241	279	18%
<b>TOTAL</b>	<b>11.955</b>	<b>12.232</b>	<b>12.484</b>	<b>12.730</b>	<b>2%</b>

Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2014.

Tal como se observa en la tabla 3, el consumo de petróleo ha permanecido casi constante en comparación con el uso de fuentes de energía renovables, cuyo consumo ha aumentado en un 18% aproximadamente. No obstante, hay que destacar que si bien se evidencia una tendencia de crecimiento, el consumo de biocombustibles se encuentra aún en cotas muy lejanas al uso de los combustibles fósiles.

## 2.1. Producción y consumo de biodiésel

Durante los últimos años, la producción de biocombustibles, principalmente del biodiésel, ha presentado un crecimiento importante a nivel mundial. Durante el período 2000-2013, el crecimiento promedio de la industria fue del 17%, mientras que el del biodiésel fue del 34% y el del etanol del 15% (ver gráfico 4).



Fuente: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Global Status Report, 2014.

**Gráfico 4.** Producción mundial de biocombustible. Cifras en miles de millones de litros

La mayor producción de biodiésel en el mundo se da en la Unión Europea. Para el año 2013, esta región aportó aproximadamente el 40% de la producción mundial. No obstante, en cuanto a la cuota de países el mayor productor es Estados Unidos, también se destaca el papel desempeñado por Brasil y Argentina, especialmente en los últimos años.

La Unión Europea es líder en términos de desarrollo de la industria de biodiésel y de la cantidad producida a nivel mundial. En esta región, la materia prima que predomina en la producción de biodiésel es el aceite de colza. Aunque se afirma que la participación de la Unión Europea en la producción mundial de biocombustible ha disminuido en los últimos años, Europa sigue manteniendo el liderazgo en producción y consumo. Los inicios de la industria del biodiésel en Europa se remontan a la década de los 80 cuando empezó a hablarse de biocombustibles, especialmente del biodiésel, con el fin de mejorar las condiciones de vida del área rural y de

responder a la creciente demanda energética; pero solo hasta mediados de la década de los 90, esta industria empezó a fortalecerse. Las políticas de biocombustibles en Europa están fundamentadas en el desarrollo agrícola, en contrarrestar el cambio climático e incrementar la canasta energética (García & Calderón, 2012). Alemania encabeza la lista de los mayores productores de biodiésel de la Unión Europea, siguen Francia, España e Italia.

La Unión Europea ha establecido unos valores de referencia para definir los porcentajes de mezcla, y así cada estado tiene la libertad de determinar la cantidad que se destina para la mezcla basándose en los parámetros establecidos. En ese orden de ideas, a partir del año 2003 se estableció el valor de referencia en un 2% de mezcla, y a partir del 2011 en un 5,75% de mezcla (Dufey & Stange, 2011).

El rápido crecimiento de la industria del biodiésel en la Unión Europea obedeció en gran medida a la exención tributaria aplicada al biodiésel puro (B100). Este biocombustible quedó exonerado del impuesto energético y era vendido para ser utilizado en motores diésel modificados y en flotas cautivas. Sin embargo, en el año 2006, el gobierno alemán decidió imponer un gravamen al B100 ya que se había generado una sobrecompensación y se estableció que entre el año 2010-2014 el porcentaje de mezcla de biodiésel con ACPM fósil debía estar en 6,25%.

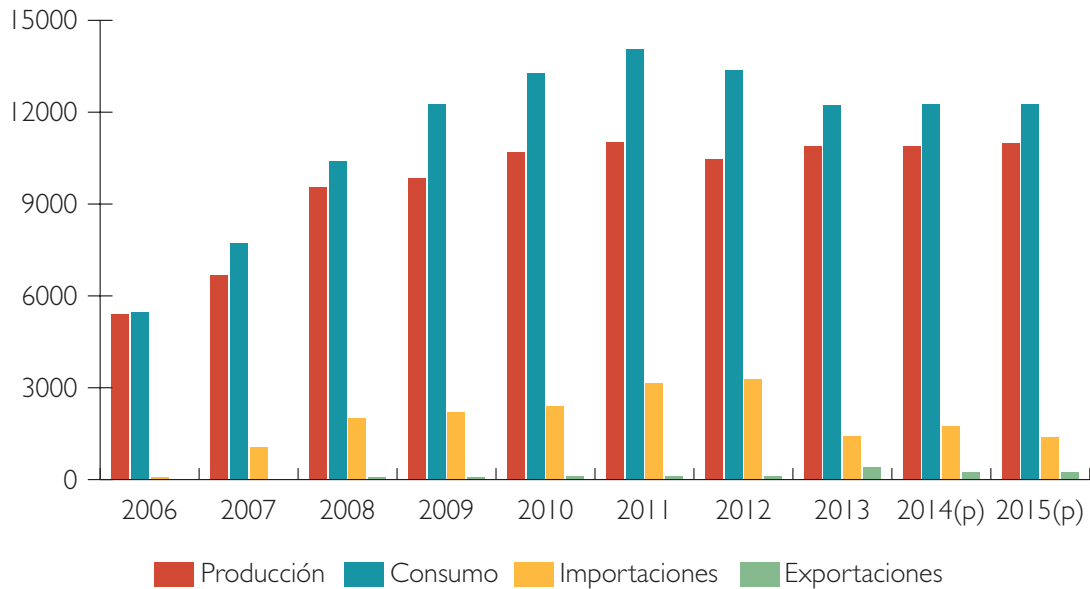
Según la cifra publicada por REN 21<sup>2</sup>, para el año 2013 la producción de biodiésel en la Unión Europea alcanzó los 10,5 miles de millones de litros, cifra superior en 1,3 miles de millones de litros respecto al año inmediatamente anterior. El incremento en la producción de biodiésel ha generado un crecimiento importante tanto en los cultivos de colza como en las importaciones de esta materia prima. De hecho, vale la pena destacar que la Unión Europea es uno de los grandes importadores tanto de semillas y aceite de colza, como de soja, aceite de soja, aceite de palma y, en una menor cantidad, grasa animal.

La Unión Europea, además de ser la principal productora de biodiésel en el mundo, es también la que concentra la mayor demanda del mismo. En la actualidad, la demanda de biodiésel es mayor que la oferta, por lo que importan una cantidad considerable de este biocombustible, especialmente de países como Argentina e Indonesia.

#### **CIFRAS DE INTERÉS**

Como puede observarse en el gráfico que se muestra a continuación, la Unión Europea consume más cantidad de biodiésel que lo que produce, razón por la cual se hace necesario recurrir a las importaciones; no obstante, vale la pena resaltar que la producción de este biocombustible en esta región del mundo está dada para satisfacer su demanda interna.

<sup>2</sup> REN 21, asociación internacional sin ánimo de lucro que actúa como una plataforma de interconexión entre los diferentes actores que hacen parte del campo de las energías renovables: entidades gubernamentales, organizaciones internacionales, asociaciones industriales y el mundo académico. Además, proporciona informes con análisis e información relevante de las energías renovables.



Fuente: United State Department Agriculture. Foreign Agricultural Service. EU. Biofuels Annual, 2014. (p) pronóstico

**Gráfico 5. Biodiésel en la Unión Europea. Cifras en millones de litros**

En la tabla 4, se muestra la producción de biodiésel de los principales países productores en Europa, iniciando desde el año 2008 y finalizando con un pronóstico para el año 2014.

**Tabla 4. Principales países productores de biodiésel en la UE. Cifras en millones de litros.**

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014(p)
Alemania	3.250	2.600	3.180	3.400	2.950	3.180	3.180
Francia	2.000	2.370	2.260	1.770	1.870	1.930	1.930
Benelux	430	840	910	960	1.360	1.820	1.990
España	280	690	1.040	790	550	670	970
Polonia	310	420	430	410	670	740	740
Portugal	160	290	400	390	370	360	360
Italia	760	900	910	700	330	340	340
Reino Unido	450	400	230	230	320	340	400
Otros	2.830	2.540	2.660	2.660	1.695	2.320	2.260
<b>Total</b>	<b>10.470</b>	<b>11.050</b>	<b>12.020</b>	<b>11.310</b>	<b>10.115</b>	<b>11.700</b>	<b>12.170</b>

Fuente: United State Department Agriculture. Foreign Agricultural Service. EU. Biofuels Annual, 2014.  
(p) pronóstico

En cuanto a los países, Estados Unidos es la nación que lidera la producción de biodiésel en el mundo. Según U.S. Energy Information Administration – EIA, en el año 2013 este país produjo 1.359 millones de galones frente a los 991 millones de galones que se registraron en el 2012 (ver tabla 5). Para estimular el sector de biodiésel, Estados Unidos ha establecido subsidios a la producción, protección a las importaciones, financiamiento en investigaciones, inversiones en infraestructura, vías de transporte y construcción.

**Tabla 5.** Producción de biodiésel en Estados Unidos año 2013. Cifras en millones de galones.

Mes	Producción mensual B100
Enero	69
Febrero	70
Marzo	101
Abril	107
Mayo	111
Junio	113
Julio	129
Agosto	130
Septiembre	127
Octubre	137
Noviembre	129
Diciembre	135
<b>Total</b>	<b>1.359</b>

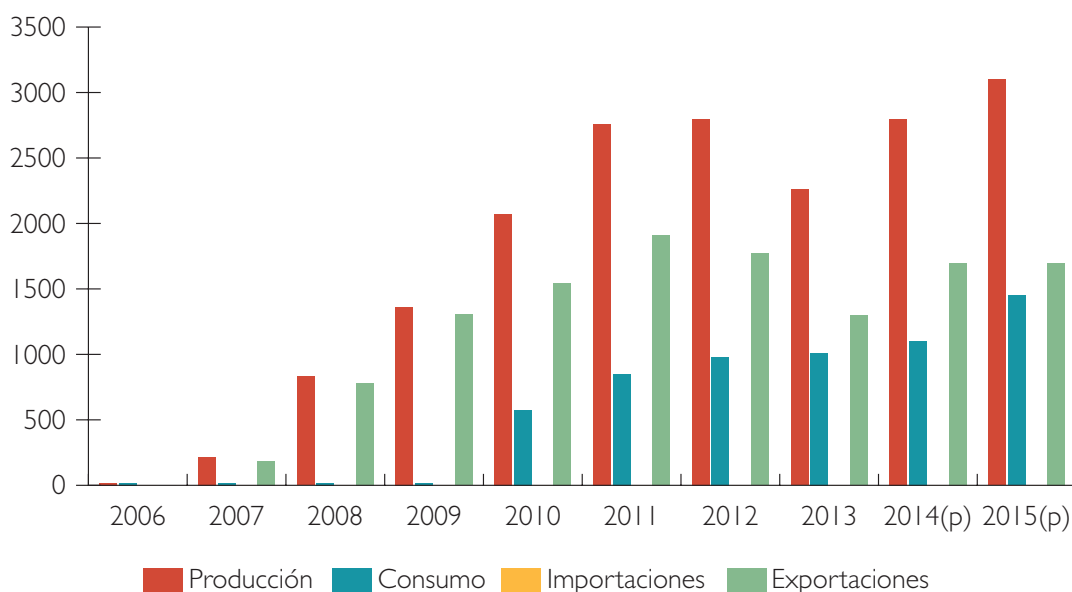
Fuente: U.S. Energy Information Administration. Monthly Biodiesel Production, abril 2014.

Dentro de los países suramericanos se destaca la participación de Argentina. Este país se caracteriza por ser uno de los grandes productores de biodiésel del mundo. En el año 2013, llegó a ser el mayor exportador de biodiésel del mundo y el tercer productor a nivel mundial luego de Estados Unidos, desplazando a Francia y Brasil. La competitividad del sector de biodiésel en Argentina se debe, en gran medida, a la elevada productividad agrícola para la obtención de las materias primas, en especial la soja, los altos niveles de inversión en la capacidad de procesamiento del aceite de soja, las políticas gubernamentales que favorecen la industria y la estructura de impuestos que estimulan la exportación. Sin embargo, los exportadores argentinos de biodiésel han tenido que enfrentarse a políticas proteccionistas, complejos requisitos y a características de calidad del biodiésel que han impuesto diferentes países, especialmente los europeos (Agrositio, 2013).

A partir del 2012, la industria de biodiésel en Argentina empezó a experimentar una fuerte crisis debido a la reducción de los precios oficiales y al aumento en el impuesto de exportación.

A principios del año 2013, la UE aumentó los aranceles al biodiésel argentino, ejerciendo los “derechos antidumping”; todo esto generó una importante disminución en la producción y en la exportación del biocombustible.

En el gráfico que se muestra a continuación puede observarse que en el año 2012 la cifra de producción es similar a la del año anterior, cuando en realidad se esperaba un comportamiento similar al obtenido durante el período 2006-2011, cuya tendencia en la producción del biodiésel era al alza. Esta situación también se hizo notoria tanto en el consumo como en las importaciones y exportaciones.



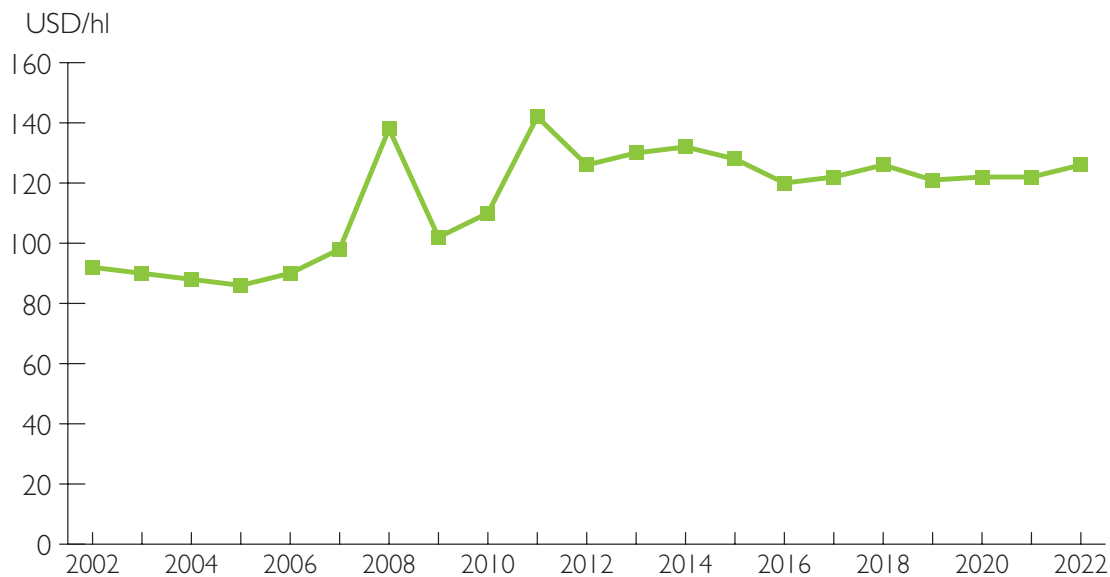
Fuente: United State Department Agriculture. Foreign Agricultural Service. Argentina Biofuels Annual, 2014. (p) pronóstico

**Gráfico 6.** Cifras del biodiésel en Argentina. Cifras en millones de litros

## 2.2. Perspectiva internacional del sector biodiésel

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - OCDE (2013), realizaron proyecciones para el período 2013-2022 que incluyen el comportamiento de la industria de biodiésel en términos de precios, producción, consumo y utilización de materias primas.



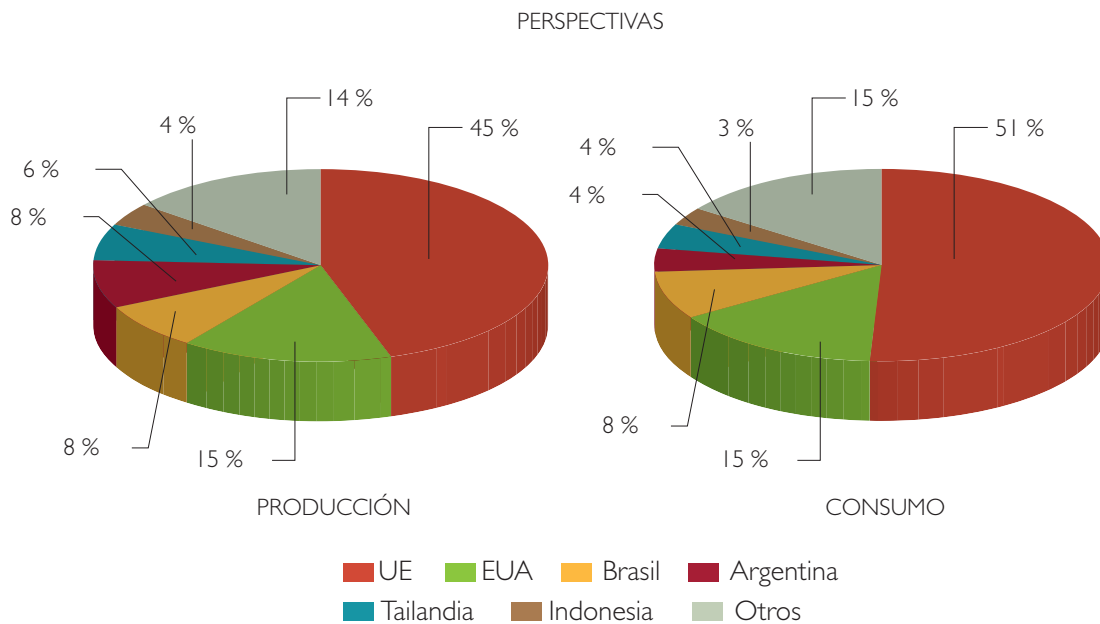


Fuente: Secretariados de la OCDE y FAO, 2013.

#### Gráfico 7. Precios en términos reales del biodiésel durante el período de perspectivas

Para este período, la FAO y la OCDE proyectan que los precios del biodiésel tendrán una tendencia alcista, contraria a la que se evidenció durante el período 2012-2013<sup>3</sup>. Así mismo, estas dos organizaciones proyectan una producción para el 2022 de 41 miles de millones de litros - mml -, lo cual exigiría un incremento del 15% de la producción de aceite vegetal. En los países en desarrollo (con excepción de Brasil, Argentina, Tailandia, Indonesia y Malasia), la producción de biocombustibles estará destinada principalmente a lograr independencia energética. Por su parte, la Unión Europea continuará siendo el mayor productor y consumidor de biodiésel en el 2022, seguida por Estados Unidos, Brasil, Argentina, Tailandia e Indonesia (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

<sup>3</sup> Hay que destacar que esta proyección se realizó tomando como referencia un aumento sostenido en los precios del petróleo (condición que no se ha evidenciado) y el diseño de nuevas políticas que estimularán la demanda de biocombustibles (OCDE & FAO, 2013).



Fuente: Secretariados de la OCDE y FAO, 2013.

**Gráfico 8.** Distribución regional de la producción y el uso mundial de biodiésel año 2022

Según la fuente antes señalada, se prevé que en el año 2022 los estados miembros de la UE alcanzarán un consumo total de 18.3 mml, lo cual se traduce en un porcentaje de mezcla de biodiésel con diésel fósil del 7,4%. Asimismo, se proyecta que del total de biodiésel generado, el 18% se producirá a partir de aceite de cocina usado, denotando con ello un mayor uso de materias primas alternativas para la producción de biodiésel. Y por otra parte que se espera que Argentina aumente su producción en un 37% y sus exportaciones en un 14% para el período 2013-2022. Finalmente, en el marco de estas proyecciones, se espera que los países que se destaquen en la exportación del biodiésel en el 2022 sean Argentina (2 mml), Indonesia (0.8 mml) y Malasia (0.1 mml).

Según la FAO y la OCDE (2013), un factor limitante en la producción de biodiésel es la disponibilidad de materias primas alternativas, las cuales aún no son eficientes para la producción a gran escala. A su vez, se espera que la proporción de biodiésel producido a partir de aceite vegetal disminuya de 83% a 78%, lo que corresponde a 15% de la producción mundial de aceite vegetal en 2022.

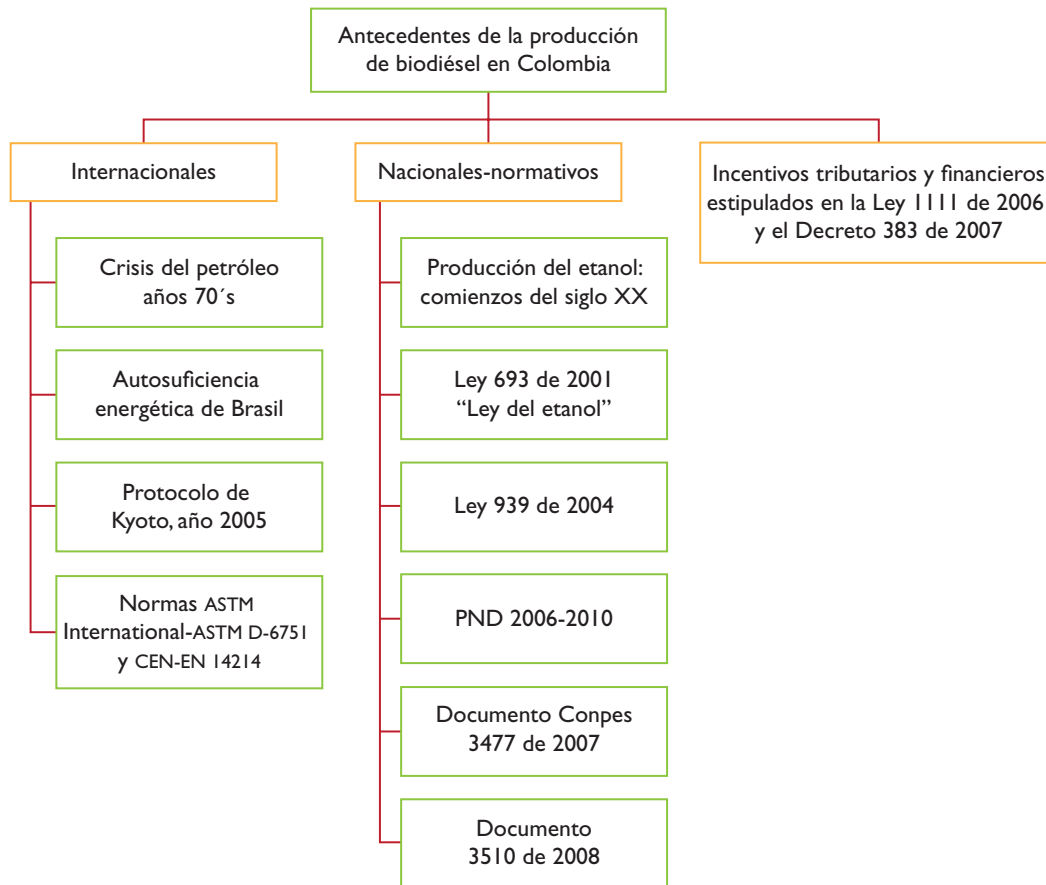
## PANORAMA NACIONAL DEL BIODIÉSEL

### 3.1. Antecedentes de la producción de biodiésel en Colombia

En la década de los 70, debido a la fuerte crisis del petróleo, Brasil inició un proceso de sustitución de combustibles fósiles por etanol y de esta manera empezó a ser autosuficiente en cuanto al suministro energético (Ecopetrol, 2009a). Brasil se constituyó como un modelo de referencia que muchos países decidieron imitar, entre ellos Colombia, donde a principios de los años 80 se empezaron a implementar una serie de medidas gubernamentales orientadas al impulso del sector de biocombustible (Ecopetrol, 2009a).

La producción y uso del etanol en Colombia constituye un antecedente importante para la posterior producción de biodiésel en el país. El uso del alcohol carburante o etanol en Colombia se remonta a comienzos del siglo XX, cuando su producción estaba en manos del Estado. Durante varias décadas, este alcohol se destinaba únicamente a la elaboración de bebidas alcohólicas. Los bajos precios del petróleo que existían en esa época, así como la escasa conciencia ecológica orientada a la utilización de combustibles amigables con el medio ambiente hacían que fuese difícil que el etanol compitiera con el combustible fósil.

En el año de 1999 un grupo de colombianos presentó ante el Congreso de la República un proyecto de ley cuyo fin era el establecimiento de una mezcla obligatoria de bioetanol con gasolina (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia [Fedebiocombustibles], 2013a). Dos años más tarde, se promulgó la Ley 693 de 2001 (conocida como la "Ley del etanol") con la cual se autorizó el uso de dicha mezcla en el país. Según la Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME (2009), con esta ley se buscaba la diversificación de la canasta energética a través de la producción y uso de energías alternativas. Los criterios que se establecieron para cumplir con este objetivo fueron: sostenibilidad ambiental, mejoramiento de la calidad de los biocombustibles, desarrollo agroindustrial, generación de empleo, desarrollo agrícola y abastecimiento energético.



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 9.** Antecedentes de la producción de biodiésel en Colombia.

Posteriormente, con la promulgación de la Ley 939 de 2004, se expresó el ámbito legal del uso de los biocombustibles, se estimuló la producción y comercialización de biocombustibles en motores diésel, se autorizó la mezcla de biocombustibles de origen vegetal o animal con el ACPM en las calidades que establecieran el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Adicionalmente, a través de esta ley se establecieron una serie de incentivos tributarios, tales como la exención del impuesto a las ventas para el biodiésel y del impuesto global del ACPM, y la exención de renta líquida por un período de 10 años a las nuevas plantaciones de palma de aceite, cacao, caucho, cítricos y frutales.

De igual forma, el Plan Nacional de Desarrollo - PND 2006-2010, estableció una serie de medidas orientadas al desarrollo del sector como estrategia para asegurar el abastecimiento energético del país. En concreto, este PND estableció que el Gobierno nacional promovería la competencia entre los diferentes biocombustibles y le asignó al Ministerio de Minas y Energía-MME las funciones de: “evaluar la viabilidad y la conveniencia de liberar los precios de los biocombustibles y de eliminar

aranceles a estos productos” (Departamento Nacional de planeación, 2007, p. 277). También se estableció en todo el país el porcentaje de la mezcla de biodiésel con ACPM correspondiente al 5% (B5), así como el análisis, evaluación y definición de los porcentajes de mezcla de los próximos años.

En el año 2006 con la promulgación de la Ley 1111 se estableció una deducción del 40% sobre el impuesto a la renta para aquellas inversiones en activos fijos empleados en proyectos agroindustriales.

El documento CONPES 3477 de 2007 constituye otro antecedente normativo importante para el desarrollo del sector biodiésel en Colombia, pues está orientado al establecimiento de estrategias para el desarrollo competitivo del sector palmero colombiano y para toda la cadena de la palma, incluyendo los biocombustibles. De igual forma, en el año 2007 con el Decreto 383, emitido por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, se crearon estímulos para el establecimiento de zonas francas destinadas a proyectos agroindustriales orientados a la producción de biocombustible.

Asimismo, el documento CONPES 3510 de 2008 es de gran importancia para la industria de los biocombustibles, ya que presenta los lineamientos políticos orientados a estimular la producción sostenible de biocombustibles de Colombia. En este documento se expresan diversas estrategias, programas y beneficios tributarios y financieros enfocados en el crecimiento y desarrollo del sector biodiésel en Colombia.

El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, si bien no se considera como un antecedente en la industria del biodiésel pues fue formulado años después de que se iniciara su producción, es importante porque propuso una serie de acciones orientadas a impulsar el desarrollo y fortalecimiento del sector de biocombustibles en el país, tales como el porcentaje de las mezclas de biocombustibles con combustibles fósiles; brindó apoyo a las diferentes organizaciones y/o instituciones que se encuentran vinculadas al sector (por ejemplo, Comisión Intersectorial de Biocombustibles); el fortalecimiento de los programas de investigación y desarrollo orientados a la producción de biocombustibles que cumplieran con los parámetros de calidad y sostenibilidad determinados por las normativas internacionales, y el desarrollo de investigaciones enfocadas en la generación de biocombustible de segunda generación, así como el establecimiento de incentivos para implementar su producción en el país.

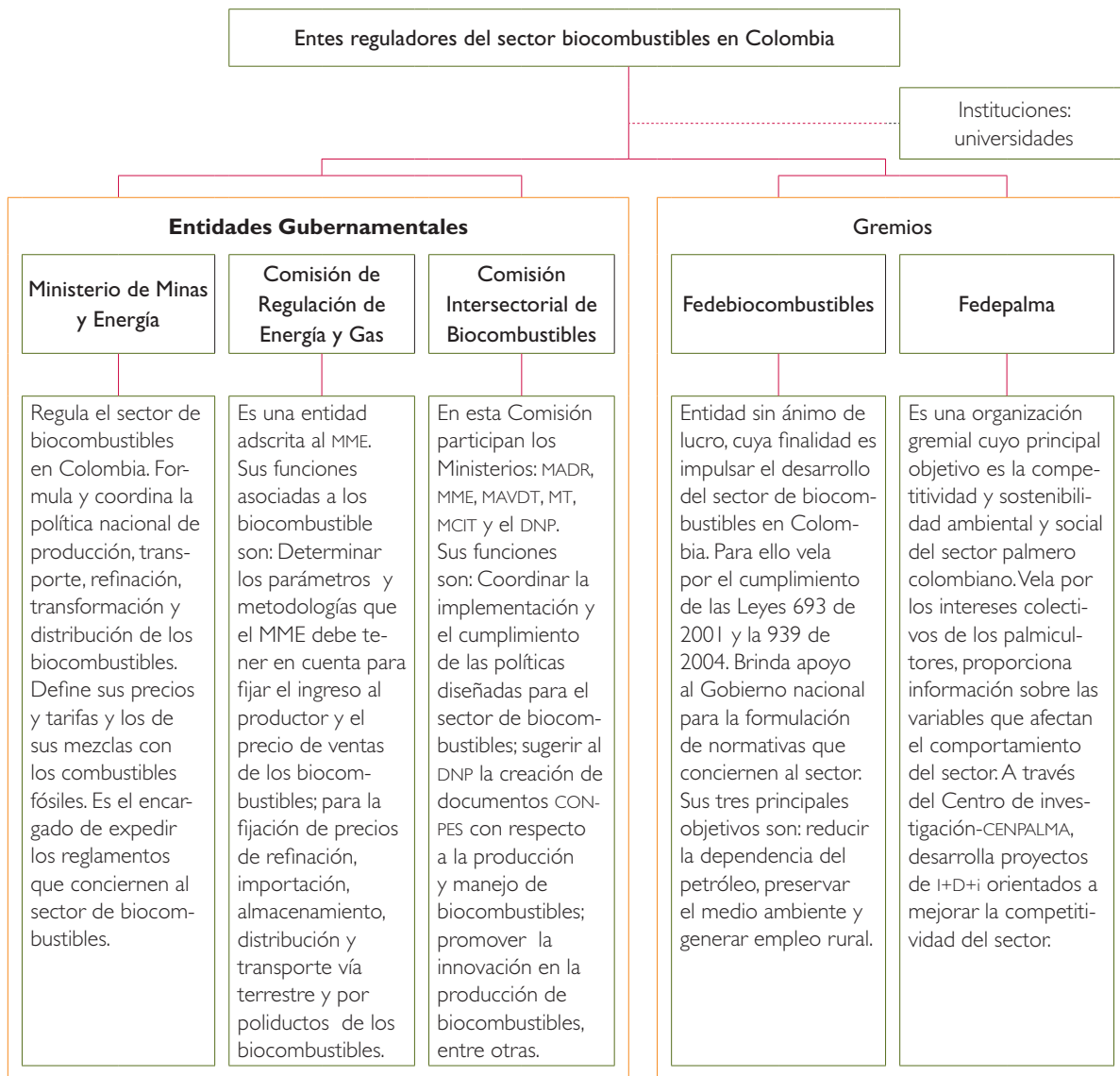
De dicho modo, en Colombia la producción del biodiésel se encuentra amparada por un amplio marco normativo que abarca un conjunto de leyes, decretos, normas y resoluciones, los cuales han definido no solo estrategias de promoción sino también una serie de parámetros técnicos y de calidad para la producción este biocombustible<sup>4</sup>. Con el paso del tiempo se observa cómo las diferentes legislaciones han favorecido el desarrollo del sector de los biocombustibles y particularmente del biodiésel.

<sup>4</sup> Entre los aspectos regulados se pueden mencionar: el porcentaje de biodiésel destinado a la mezcla con el diésel fósil y su posterior implementación en los diferentes departamentos del país; la estructura de precios tanto del biodiésel puro como de la mezcla con ACPM; exenciones tributarias y financieras que han contribuido al crecimiento y desarrollo del sector; definición de un marco penal; establecimiento de funciones para los entes reguladores del sector y la definición de un marco ambiental que tiene como principal foco mejorar la calidad de vida de los colombianos proporcionándoles un medio ambiente sano, a través de la implementación de combustibles limpios (ver anexo 1).

Este interés nacional por definir un marco regulatorio favorable para la producción de biodiésel, está en línea con la preocupación mundial por contrarrestar el creciente cambio climático a través de la disminución de los GEI. Igualmente, la escasez de reservas de petróleo y la alta volatilidad de este mercado ha hecho que el país se plantee como objetivo la búsqueda de la autosuficiencia energética por medio de la producción de combustibles renovables que permitan sustituir las importaciones de crudo.

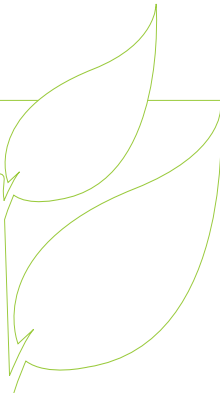
**ENTES REGULADORES DEL SECTOR DE BIOCOMBUSTIBLES**

En el gráfico 10 se muestran los diferentes entes que regulan el sector de biocombustibles en Colombia. Las funciones que allí se registran son únicamente las que conciernen a dicho sector.



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 10.** Entes reguladores del sector biocombustibles en Colombia (2015).



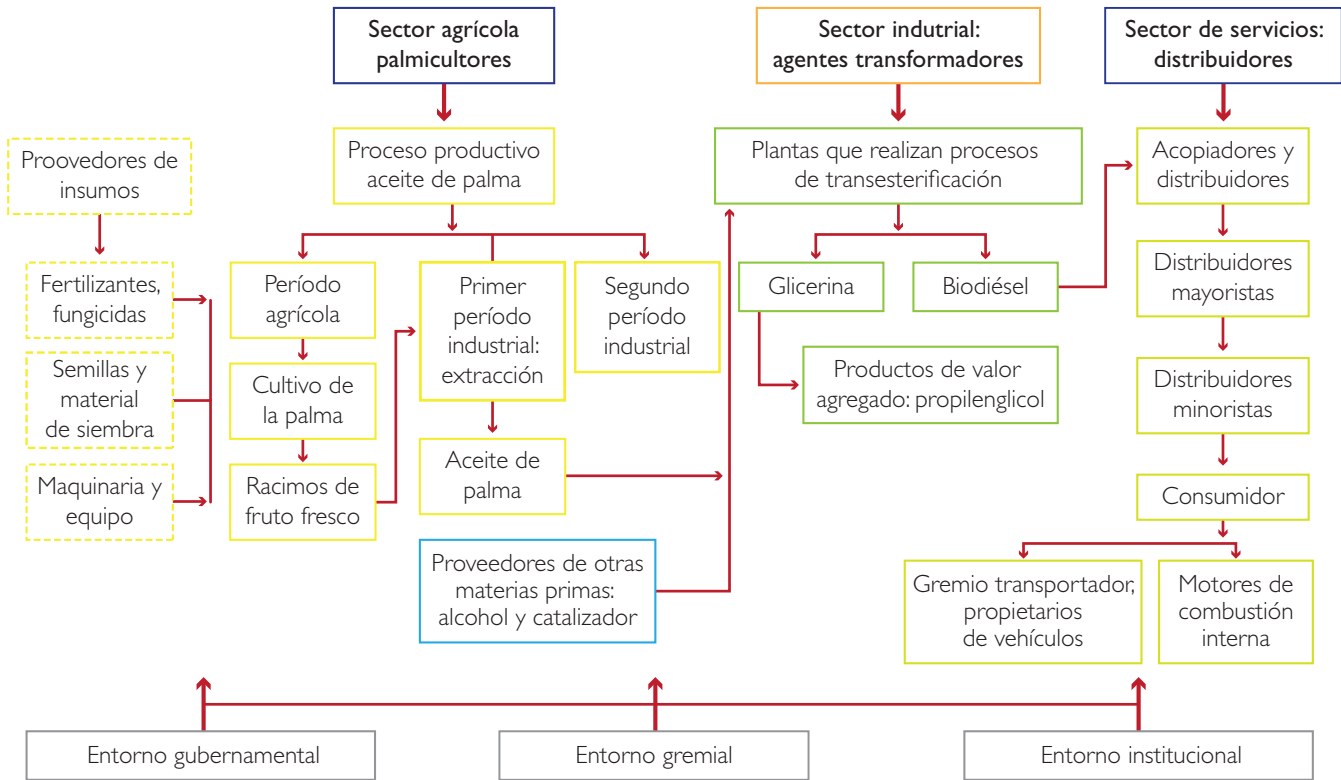
El rol fundamental del Gobierno nacional a través de los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, de Minas y Energía, de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, de Transporte y de Comercio, de Industria y Turismo y del Departamento Nacional de Planeación, consiste en propender por el desarrollo de toda la cadena productiva de los biocombustibles, incluyendo proveedores de materias primas, transformadores industriales, almacenadores, refinadores y distribuidores; por medio del establecimiento de incentivos tributarios, financieros; apoyo financiero (por medio de Colciencias) a los proyectos de investigación que tengan relación con este sector y con el desarrollo de un marco normativo en el que se expresen acciones concretas con respecto al aumento del porcentaje de mezclas, producción sostenible de biocombustibles, precios y tarifas.

Por otra parte, la función principal de los gremios en la cadena de los biocombustibles es desarrollar estrategias que incluyan proyectos de investigación, transferencia tecnológica, conformación de grupos económicos, entre otras, orientados al cumplimiento de los diferentes objetivos de cada uno de los eslabones de la cadena. Finalmente, existen instituciones como las universidades que brindan un soporte a los diferentes eslabones de la cadena a través de sus grupos de investigación e investigadores.

### **3.2. Estructura del sector biodiésel en Colombia**

En el gráfico 11 se ilustra la cadena productiva del biodiésel en Colombia. En la actualidad, en el país se llevan a cabo todas las fases de la cadena productiva del biodiésel.

La cadena de producción del biodiésel en Colombia se compone de tres niveles: agrícola, industrial y de servicios. Al primer eslabón pertenecen los cultivadores de palma de aceite, los cuales poseen desde pequeñas parcelas con métodos artesanales de cultivo hasta grandes extensiones de hectáreas con tecnología avanzada (García & Calderón, 2012). Según el Programa de Transformación Productiva - PTP en este primer eslabón, el 35% son grandes productores, el 46% medianos productores y el 19% son pequeños productores. Cabe resaltar que este último grupo cada vez adquiere mayor participación en el sector, ya que actualmente existen más de 6.000 pequeños productores con cerca de 80.000 hectáreas sembradas (Mesa, 2014).



Fuente: Elaboración propia a partir de Gualteros, 2011; Bochno, 2011 y Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE, 2012.

**Gráfico 11.** Cadena productiva del biodiésel en Colombia.

La extracción del aceite en las plantas de beneficio hace parte de la primera fase industrial del proceso productivo de la palma, que se incluye también en este primer eslabón. Se destacan dos tipos de tecnologías para la obtención del aceite aplicadas a cualquier tipo de cultivo vegetal. La primera de ellas se refiere a la extracción mecánica del aceite contenido en los frutos; mientras que la segunda tecnología emplea disolventes para llevar a cabo el proceso de extracción. Es necesario destacar que también se presentan casos en los que se realiza una extracción mixta empleando las dos tecnologías mencionadas. Según Fedepalma (s.f.a), actualmente en Colombia la tecnología que se emplea para la extracción del aceite de palma consiste en un proceso mecánico desarrollado por prensas. En el gráfico 12, se observan cada uno de los pasos que se ejecutan durante el proceso de extracción del aceite de palma. A continuación, se describen cada uno de ellos:

- **Esterilización:** este proceso consiste en evitar que se incremente la acidez del aceite a través de la inhibición de las enzimas que provocan el desdoblamiento del mismo. Para



ello, los racimos de fruto fresco que provienen de las plantaciones<sup>5</sup>, son depositados en las tolvas ubicadas en las plantas de beneficios. Posteriormente, se recogen en góndolas que son introducidas en las autoclaves. Allí, los racimos se someten a una determinada presión y temperatura con el fin de originar el rompimiento de las fibras que mantienen los frutos unidos a las espiguillas y así permitir que la almendra disminuya su tamaño y se recupere posteriormente.

- **Desfrutación:** al momento de terminar la esterilización los frutos pasan al proceso de desfrutación cuyo fin principal es retirar la cubierta o tusa que los protege. Para esto, los frutos se introducen en el desfrutador, el cual consta de un cilindro con un eje central y está rodeado de barrotos. El desprendimiento de la tusa se produce por el continuo golpe de los frutos con los barrotos. Finalmente, los frutos quedan libres de su recubrimiento, el cual es utilizado como abono orgánico para los cultivos.
- **Digestión:** posteriormente los frutos sueltos se introducen en unos cilindros verticales denominados digestores. En estos aparatos, los frutos son agitados con revoluciones bajas con el fin de separar la pulpa de la nuez y romper las fibras para liberar el aceite.
- **Extracción:** la pulpa del fruto que ha sido digerida en el proceso anterior se introduce y es sometida a fuertes presiones en las prensas, las cuales poseen perforaciones que permiten la liberación del aceite.
- **Clarificación:** el aceite extraído debe pasar por un proceso de limpieza de impurezas tales como arena, agua, fibras, pedazos de nueces, entre otras. Para llevar a cabo esta limpieza se emplea la técnica de decantación estática en tanques metálicos, en el proceso denominado clarificación. Posteriormente, el aceite se introduce en máquinas centrifugas y equipos de secamiento al vacío para ser trasladado a los tanques de almacenamiento. Para finalizar, el aceite crudo que se ha obtenido debe pasar por un proceso de refinación, blanqueo y desodorización.
- **Desfibración de la torta y recuperación de las nueces:** se conoce como torta a la masa desaceitada que se obtiene después del proceso mecánico con las prensas. Esta torta es sometida a un proceso de desfibración con el fin de separar las nueces y poder recuperar la almendra o palmiste. La torta obtenida se emplea en la elaboración de alimentos para animales.
- **La palmistería:** consiste en el procesamiento de la almendra para obtener aceite y torta de palmiste cuyos usos difieren de los del aceite de palma.

<sup>5</sup> Es importante destacar que en la cadena de suministro del biodiésel un punto clave es la integración entre los cultivadores del fruto de aceite de palma y las plantas de beneficio donde se realiza la extracción, ya que una vez cosechado el fruto se toma entre seis y doce horas para ser procesado con el fin de evitar la acidificación, y la alteración de la calidad del aceite que se extrae (García & Calderón, 2012).



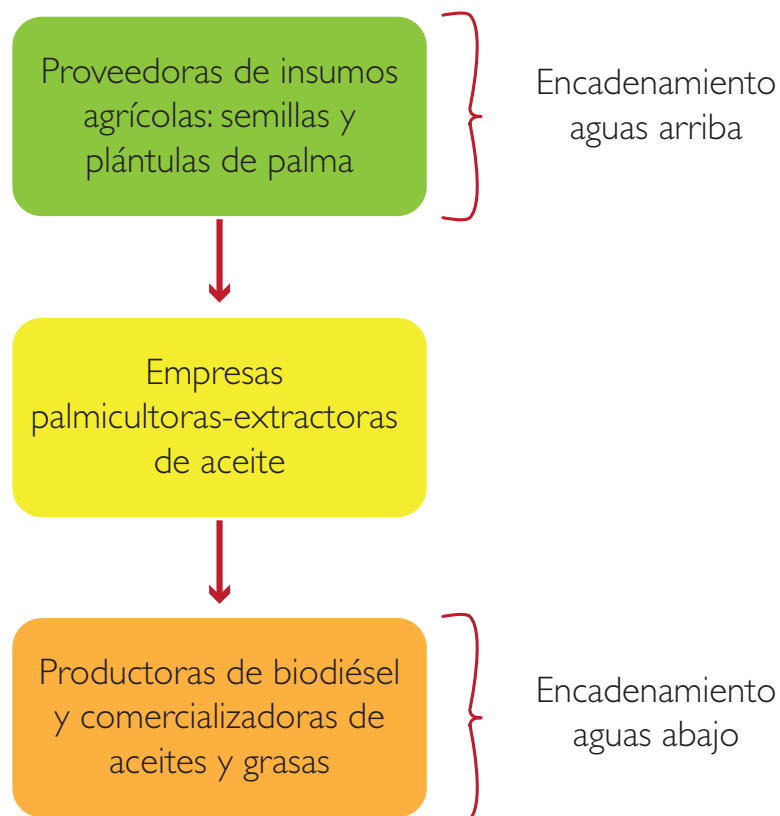
Fuente: Elaborado a partir de <http://www.palmadeaceite.org/transformacion-de-la-palma-de-aceite>

**Gráfico 12.** Pasos del proceso de extracción del aceite de palma

En el año 2014 se encontraban en funcionamiento 63 plantas extractoras de aceite de palma distribuidas de la siguiente manera: 27 en la zona oriental, 16 en la zona norte; 15 en la central y 5 en la suroccidental (Fedepalma, 2015). Los productos básicos de este eslabón son: fruto fresco de palma, la biomasa representada en fibra, cuesco, tusa, hojas, troncos y el aceite crudo de palma y de palmiste.

En Colombia la relación entre palmicultores y plantas extractoras presenta dos modalidades. La primera de ellas se refiere a los productores que se dedican al cultivo y a la extracción del aceite, ya sea porque poseen plantas de beneficio o porque han establecido alianzas con empresas extractoras. La segunda modalidad y bajo la cual se cultiva aproximadamente el 62% del total de producción de palma en el país (Infante & Tobón, 2010) comprende aquellos productores que solo se dedican a cultivar la palma de aceite y venden la cosecha a plantas extractoras.

Por su parte los proveedores de fungicidas, de insecticidas, de semillas, de material de siembra, de insumos agrícolas, de maquinarias y equipos proporcionan los insumos y herramientas necesarias para el establecimiento, mantenimiento y cosecha de la palma. Sin embargo, por su actividad económica también hacen parte de otras cadenas productivas. Es importante destacar que el sector palmicultor se encuentra encadenado 'aguas arriba' con las empresas productoras de insumos agrícolas y plántulas de palma africana y 'aguas abajo' con las productoras de biodiésel y comercializadoras de aceites y grasas (Millán, 2014) (ver gráfico 13).



Fuente: Elaboración propia a partir de Millán, 2014.

**Gráfico 13.** Encadenamiento del sector palmicultor en Colombia

Por su parte, el sector industrial está relacionado con la producción de biodiésel en las plantas de transesterificación. Este es el eslabón más joven de la cadena debido a que la producción industrial del biodiésel en Colombia inició en el año 2008. De acuerdo con lo anterior, las tecnologías disponibles para la producción de biodiésel con fines comerciales se concentran, principalmente, en la transesterificación de aceites vegetales para la producción de biocombustibles de primera generación. Mientras que el biodiésel de segunda generación se produce a menudo por la gasificación de la biomasa y a través de la síntesis Fischer-Tropsch (Ojeda et al., 2007).

Con respecto a la producción de biodiésel de primera generación se han identificado una variedad de tecnologías de transesterificación basadas en el uso de catalizadores. En este orden, de acuerdo al informe de vigilancia tecnológica de Colciencias (2007), se distinguen cuatro tipos de tecnologías:

- **Transesterificación por catálisis alcalina:** se caracteriza por ser la tecnología más usada a nivel comercial debido a que permite reducir los costos de producción, en gran parte por presentar tiempos de reacción rápidos, altos rendimientos de conversión y bajos niveles de complejidad durante el proceso. Es decir, este método requiere condiciones moderadas de presión y temperatura que a su vez permiten emplear herramientas y reactores convencionales. Los catalizadores básicos o alcalinos más usados son el Hidróxido de Sodio o Hidróxido de Potasio. No obstante, las principales desventajas de esta tecnología es que solo permite usar alcoholes y aceites anhidros y que los AGL deben ser sometidos a un proceso previo de esterificación para evitar la formación de jabones. En Colombia, este es el tipo de catálisis que emplean las plantas productoras de biodiésel.
- **Transesterificación por catálisis ácida:** este tipo de tecnología presenta una ventaja considerable asociada al procesamiento de materias primas con altos niveles de AGL (grasas animales y aceites de cocina usado), razón por la cual es usada como un proceso de pre-esterificación antes de iniciar la catálisis alcalina. No obstante, los tiempos de reacción son prolongados si se compara con la catálisis alcalina y se requieren condiciones severas de presión y temperatura durante el proceso de transesterificación. Los catalizadores ácidos pueden ser ácidos minerales.
- **Transesterificación por catálisis de lipasas:** en este tipo de tecnología la reacción no se ve afectada por la presencia de agua ni de AGL, sin embargo, los tiempos de reacción son elevados y no producen procesos continuos.
- **Transesterificación por alcoholes supercríticos:** este tipo de tecnología más avanzada garantiza menores tiempos de reacción, procesamiento de cualquier tipo de materia prima independientemente de su contenido de AGL y no requiere el uso de catalizadores. No obstante la reacción debe ser sometida a condiciones muy severas de temperatura y presión, lo cual genera altos costos de producción.

A lo descrito anteriormente hay que añadir que actualmente también se utilizan las catálisis heterogéneas (catalizadores de titanio o circonio, óxidos metálicos) que poseen ventajas superiores si se comparan con las de la catálisis homogénea, entre las cuales se destacan: altos rendimientos de conversión, mayor calidad de la glicerina obtenida, etapas de purificación y separación sin mayor nivel de complejidad. No obstante, requiere de condiciones severas de temperatura y presión que incrementan los costos de producción (Herreras et al., 2007).

Conforme a lo expuesto anteriormente, se puede inferir que la elección del tipo de tecnología (de acuerdo al catalizador empleado) que se implementará para la producción de biodiésel esta-

rá fuertemente influenciada por la disponibilidad de la materia prima. En este sentido, aquellos países que emplean en su mayoría aceites vegetales optarán por la catálisis alcalina, teniendo en cuenta las ventajas mencionadas y las limitantes de este método. Si se decidiera usar grasas animales o aceites usados se podría elegir una catálisis ácida. La catálisis de lipasas aplica para cualquier tipo de aceites y la de alcoholes supercríticos no define una materia prima en particular (Ganduglia et al., 2009).

Además de las diferentes tecnologías de transesterificación basadas en el uso de catalizadores, se destaca que la producción de biodiésel emplea procesos productivos que pueden ser continuos, semicontinuos y *batch* (por lotes). Generalmente, las plantas que cuentan con una limitada capacidad instalada implementan procesos productivos por lotes ya que presentan un menor grado de complejidad y flexibilidad a la hora de usar diversos tipos de materias primas. Por su parte las plantas de mayor tamaño emplean procesos productivos continuos que requieren de complejas técnicas de operación (Herrerías et al., 2007).

En el anexo 2 se presentan las tecnologías más sobresalientes que existen en el mercado para la producción de biodiésel. En el caso particular de Colombia se distinguen tres tipos de tecnologías empleadas por las plantas productoras de biodiésel: cavitación por impulso magnético, transesterificación convencional *batch* con pretratamiento de ultrasonido, y transesterificación convencional *batch*; esta última es la tecnología implementada en la mayoría de las plantas de biodiésel.

Retomando la estructura de la cadena productiva del biodiésel en Colombia, la fase de servicios está conformada por distribuidores mayoristas, que son aquellas plantas en donde se realiza la mezcla de biodiésel con diésel fósil; por 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 que son quienes venden el biodiésel mezclado con ACPM a los consumidores finales.

## PRIMER ESLABÓN DE LA CADENA DEL BIODIÉSEL: PROVEEDORES DE MATERIA PRIMA

La materia prima básica para la producción de biodiésel en Colombia es el aceite de palma, por dos razones principales. En primer lugar, según la FAO (s.f.a) el país presenta un gran desarrollo en este sector. De hecho, en el período 2003-2013, Colombia se caracterizó por ser el primer productor de esta oleaginosa en Latinoamérica y el quinto a nivel mundial (después de Indonesia, Malasia, Tailandia y Nigeria). En segundo lugar, esta oleaginosa posee un alto nivel de rendimiento, es decir, produce una mayor cantidad de aceite por área sembrada en comparación con las demás oleaginosas. Por estas razones, actualmente, los principales proveedores de la industria del biodiésel son las empresas dedicadas a la siembra, recolección y extracción del aceite de palma.

### 4.1. Aceite de palma

La palma de aceite africana (*Elaeis guineensis*) es originaria de las costas del golfo de Guinea en el África occidental, y desde allí empezó a expandirse en las laderas de los grandes ríos. En Colombia, el cultivo comercial de la palma comenzó en 1945 cuando la United Fruit Company estableció en la Zona Bananera del Magdalena, por primera vez, un cultivo con palmas. Es importante resaltar que la palma africana es diferente de la palma de aceite, pues esta última es un híbrido que surgió por el cruce de la palma africana con el nolí y su nombre científico es: *Elaeis Oleifera*. La palma de aceite crece un poco menos que la africana, es más ancha y genera rendimientos de extracción superiores. La mayoría de cultivos de palma de aceite en Colombia emplean las semillas de este híbrido, pues se ha demostrado que es más resistente a la enfermedad de la Pudrición del Cogollo que tanto afecta a este cultivo.

De acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA (2002), el cultivo de palma africana pertenece a la clase de vegetación cultural, en la subclase de cultivos de tipo permanentes. Dichos cultivos son catalogados como aquellas especies que tienen un

ciclo de vida generalmente superior a dos años, ya que florecen y fructifican anualmente y con un tiempo de permanencia en el campo de aproximadamente 30 años.

Adicional, como la palma se considera un cultivo que pertenece a la categoría semipermanente y permanente intensivo, su siembra debe establecerse en suelos con vocación agrícola. Esta vocación corresponde a todas las tierras que por sus características agroecológicas, permiten el establecimiento de sistemas de producción agrícola con plantaciones que poseen diferentes ciclos de vida y productos. Además, estas tierras son las que presentan mayor capacidad para soportar prácticas agrícolas intensivas y semintensivas. A su vez, la subcategoría de cultivos semipermanentes y permanentes intensivos se localizan en paisajes de montaña, lomerío y piedemonte, en relieves planos hasta fuertemente inclinados; se distribuyen en los climas cálidos y fríos y en provincias desde muy húmedas hasta muy secas. Los suelos se caracterizan por ser profundos, presentan una fertilidad de moderada a baja, no están afectados por erosión o la presentan en un menor grado, se caracterizan por tener pedregosidad en la superficie y alto contenido de aluminio.

Por tal razón, es necesario realizar labores de despedregado, labranza reducida, práctica de cultivo en contornos o en fajas, construcción de canales de drenajes, obras de control de inundaciones y todas aquellas prácticas necesarias para mejorar las condiciones químicas y físicas de los suelos. Las tierras con vocación agrícola se localizan en la región Orinoquía, Andina y en menor proporción en la región Caribe. En la Orinoquía y en el Caribe se ubican en clima cálido húmedo y cálido seco, mientras que en la Andina se ubican en los diferentes pisos térmicos. El IGAC y CORPOICA (2002), recomiendan sembrar los cultivos de palma en la Orinoquía y en el Caribe, específicamente en los departamentos de Casanare, Arauca, Meta, Córdoba y Sucre.

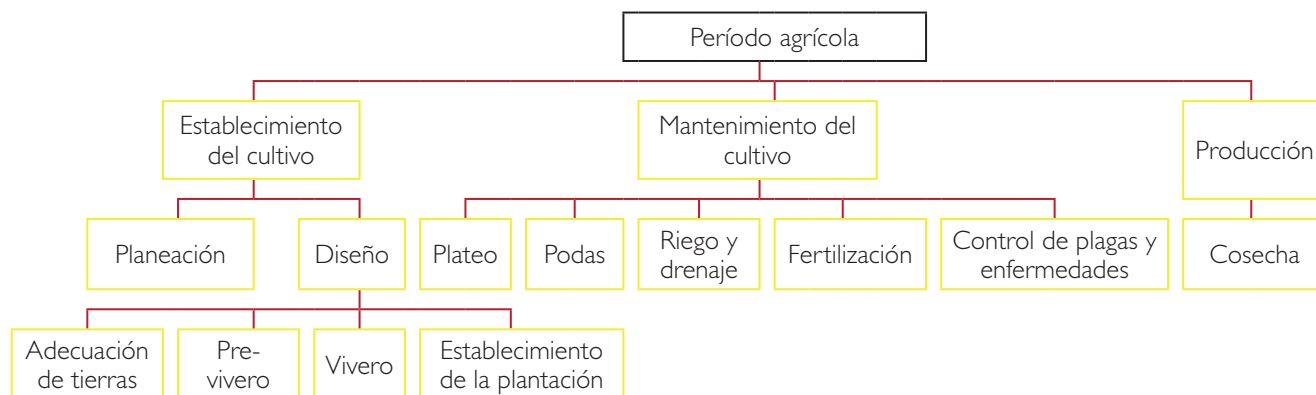
**Tabla 6.** Condiciones edafo-climáticas para un cultivo de palma de aceite.

Condición	Favorable
Latitud	Entre 15° de latitud norte y 15° de latitud sur
Temperatura	Máxima 30°C a 33°C y un promedio mínimo de 22°C a 24°C. La temperatura óptima para el crecimiento de la palma es de 28°C
Luminosidad	La luminosidad debe alcanzar entre 5 y 7 horas diarias. Aproximadamente 1.500 horas anuales
Precipitaciones	1.500 a 2.500 mm anuales
Humedad relativa	>75%
Suelos	Profundos, sueltos, planos o ligeramente ondulados con buenos sistemas de drenaje y alto contenido de material orgánico
Macronutrientes del suelo	Nitrógeno, fósforo y potasio, calcio, magnesio y azufre
Micronutrientes del suelo	Cloro y boro
Textura del suelo	Francos, franco-arcilloso
Ácido del suelo	pH neutro o moderadamente ácido (máximo pH 4)

Fuente: Elaboración propia a partir de Ortiz y Fernández, 1994, y Mingorance, Minelli y Le Du, 2004.

La palma de aceite es un cultivo que necesita ciertas condiciones climáticas y de terreno (condiciones edafo-climáticas) para lograr una óptima producción y altos niveles de rendimiento. Las zonas tropicales son las más aptas para establecer este tipo de cultivos. En la tabla 6 se presentan algunas de las condiciones edafo-climáticas para el establecimiento de plantaciones de palma.

Por su parte, el proceso productivo de la palma de aceite en Colombia consta de tres períodos: agrícola, primer período industrial y segundo período industrial.



Fuente: Datos: DANE, 2012. Elaboración propia.

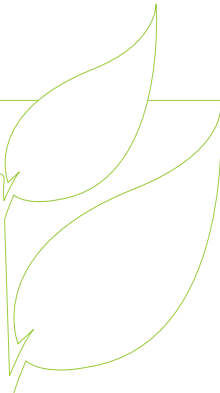
**Gráfico 14.** Período agrícola cultivo de palma

En el gráfico 14 se ilustra con mayor detalle cada una de las etapas del período agrícola. La primera de ellas se denomina *establecimiento del cultivo* y comprende dos fases: la planeación, en la que se analizan las diferentes áreas en donde existe la posibilidad de sembrar la palma, se evalúan costos, condiciones ecológicas de los suelos, cercanía a las plantas de beneficio, entre otros factores. Y el diseño del cultivo que comprende la adecuación del terreno, el previvero, vivero y establecimiento final del cultivo.

En la mayoría de regiones de Colombia donde hay cultivos de palma de aceite la producción se genera a partir del cuarto año. Entre los ocho y diez años del cultivo, se genera el máximo rendimiento: se producen de 18 a 22 toneladas de aceite por hectárea, obtención que se mantiene hasta los 20 y 23 años. En este último período de tiempo alcanza producciones que oscilan entre las 26 y 32 toneladas/ha. Se dice que la vida productiva del cultivo está entre los 24 y 28 años, ya que la altura que alcanza la palma después de esta edad dificulta la recolección del fruto (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE], 2012).

Una vez se ha establecido el cultivo final de la palma, surge una nueva etapa del período agrícola denominada *Mantenimiento del cultivo* que incluye las labores de: plateo y desyerbe, en Colombia este proceso se realiza manualmente y consiste en arrancar la maleza presente en los cultivos de palma. La poda, que consiste en quitar las hojas que han perdido funcionalidad con el fin de facilitar las maniobras al momento de recolectar los frutos. La definición de los sistemas





de riego y drenajes son fundamentales en las plantaciones de palma, ya que este cultivo es sensible tanto a la escasez como al exceso de agua en el suelo, por tanto es fundamental controlar el balance hídrico. La fertilización es otro de los procesos del mantenimiento del cultivo de gran relevancia porque a través de ella se proporciona a las palmas los niveles de nutrientes que necesitan para su óptimo desarrollo y para una buena cosecha.

Finalmente, el control de plagas y enfermedades constituye una de las labores de mantenimiento más importantes para todo cultivo de palma de aceite, ya que la sanidad en las palmas repercute en una buena cosecha, buena calidad del aceite que se genera y por lo tanto buenos resultados económicos. Por el contrario, si no se cuenta con un plan estructurado de control de enfermedades se puede incluso acabar con un cultivo entero de palma de aceite, y estos resultados serían devastadores para los inversionistas, tal como la emergencia sanitaria que ha sido declarada en varios municipios palmeros como consecuencia de la afectación de miles de hectáreas por la enfermedad de la Pudrición del Cogollo.

La tercera y última etapa del período agrícola se denomina *producción* e incluye todo el proceso de la cosecha, el cual inicia cuando el racimo ha alcanzado su estado de madurez. En Colombia se ha establecido una norma mínima de madurez del fruto que permite iniciar la cosecha basándose en el color del fruto y en la presencia de frutos desprendidos, es decir, cuando estos se han caído en la corona, en las axilas de la palma o en el suelo y queda vacío el lugar (alvéolo) en donde estaban adheridos (Franco, 2011). Así mismo, la cosecha consiste en el corte y recolección de los Racimos de Fruto Fresco - RFF, y de los frutos sueltos; transporte de los mismos hasta los centros de acopio y posteriormente hasta las plantas de beneficio o extracción.

Después de finalizar el período agrícola con la cosecha de los RFF, se lleva a cabo el primer período industrial o primera transformación industrial que comprende la extracción del aceite de palma que se obtiene de la pulpa del fruto, el aceite de palmiste y la torta de palmiste obtenida de las almendras.

Luego de que el aceite es extraído se somete a procesos de Refinación, Blanqueamiento y Desodorización - RBD. Algunas plantas extractoras cuentan con la capacidad de refinación del aceite para posteriormente emplearlo en la producción de biodiésel. Según el DANE (2012), estos dos primeros períodos del proceso productivo de la palma constituyen lo que se denomina agroindustria palmera.

El tercer y último período del proceso productivo del aceite de palma se denomina segundo período industrial. Consiste en el procesamiento industrial de aceites y grasas, que resulta en la obtención de productos como oleína y estearinas de palma y de palmiste RBD, y ácidos grasos utilizados en la fabricación de productos comestibles y no comestibles tales como: aceites líquidos comestibles, margarinas, mantecas, grasas para freír, para confitería, para helado; jabones; mezclas para alimentos concentrados para animales, entre otros.

### CARACTERÍSTICAS DEL PERÍODO AGRÍCOLA Y PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE PALMA

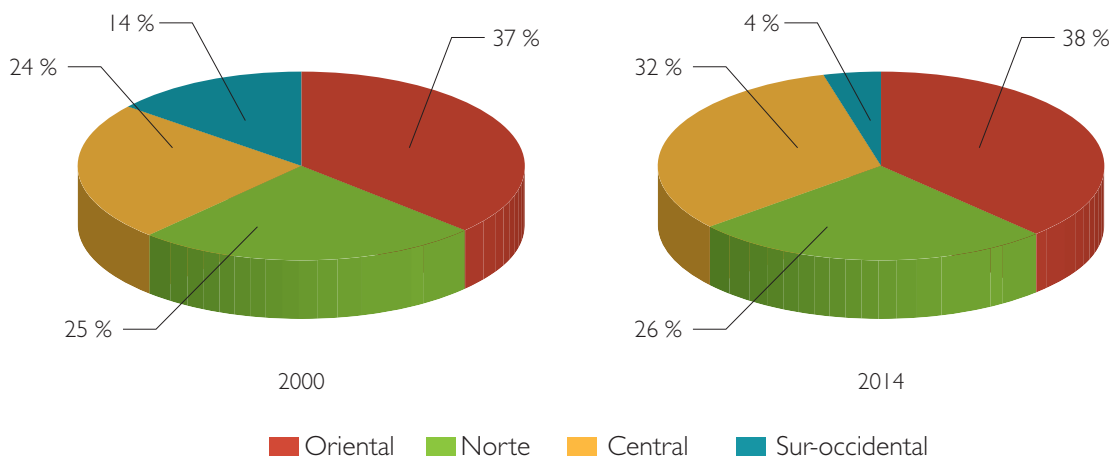
A lo largo de los años, la expansión del cultivo de palma en Colombia ha mostrado un crecimiento continuo. A mediados de los años 60 existían alrededor de 18.000 Ha. sembradas y en el año 2014 esta cifra ascendió a 450.131 Ha. (Fedepalma, 2015), distribuidas en 116 municipios en las cuatro zonas palmeras del país (ver gráfico 15). Hoy, la zona oriental cuenta con 33 municipios palmeros, la zona norte con 46, la central posee 34, y en la zona sur-occidental existen tres municipios con cultivos de palma (SISPA, s.f.a) (ver anexo 3). No obstante, Fedepalma (s.f.b) afirma que en Colombia el cultivo de palma se ha extendido de forma lenta si se compara con los países líderes. Desde la entrada del cultivo al país hasta el año 2000, en Colombia había sembradas 150.000 hectáreas de palma, mientras que Malasia e Indonesia en ese mismo período se alcanzaron un total 3,5 y 2,5 millones de hectáreas sembradas, respectivamente (Fedepalma, s.f.b).



Fuente: Datos: SISPA. s.f. a y Fedepalma, 2015. Elaboración propia.

**Gráfico 15.** Zonas palmeras en Colombia y áreas sembradas año 2014

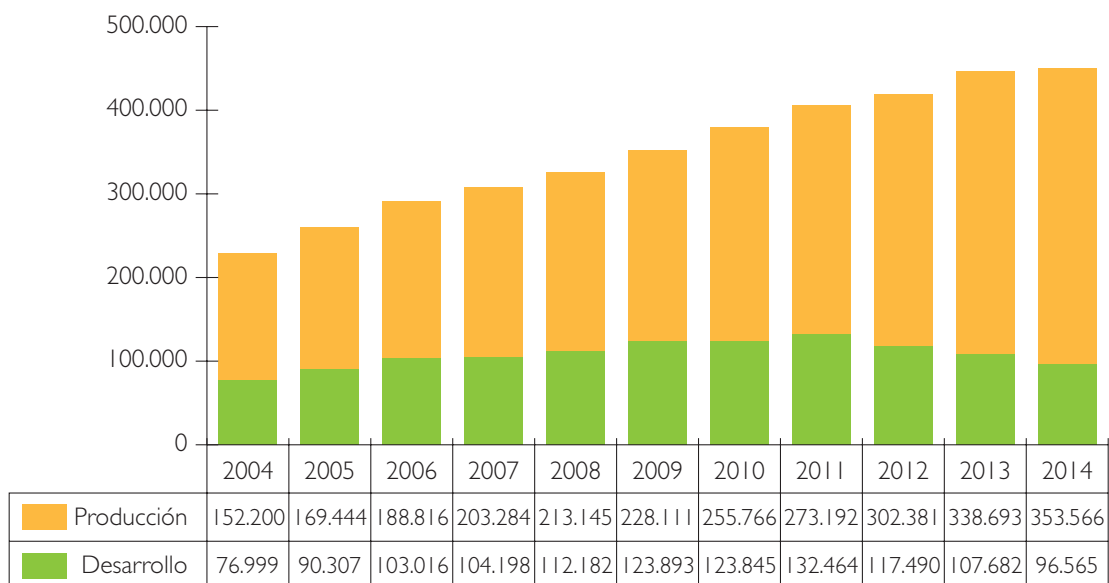
En el gráfico 16 se observa que la zona oriental se caracteriza por presentar la mayor participación en el total de áreas sembradas con palma de aceite. Asimismo, se evidencia que en los últimos 14 años la zona norte ha experimentado una lenta expansión en cuanto a hectáreas sembradas. Es importante destacar el buen comportamiento que se ha presentado en la zona central, en donde la superficie de cultivos de palma ha crecido a un ritmo más acelerado, lo cual la llevó a convertirse en la segunda zona palmera con mayor cantidad de áreas cultivadas en el año 2014. También merece atención especial la disminución considerable de áreas sembradas de palma en la zona sur-occidental ocasionada, entre otras razones, por el problema fitosanitario originado por la Pudrición del Cogollo.



Fuente: Datos: SISPA s.f.b. y Fedepalma, 2015. Elaboración propia.

**Gráfico 16.** Distribución de las áreas sembradas en palma año 2000 y 2014

En la última década (2004-2014) se presentó una gran expansión de la superficie total de áreas sembradas y se registró un crecimiento cercano al 96% (ver gráfico 17). Esta expansión obedeció a una serie de factores, entre los que se destacan el conjunto de estímulos y medidas implementadas por el Gobierno nacional para favorecer las inversiones en el sector palmero. Dichos estímulos comprenden: la exención del impuesto sobre la renta y del IVA para maquinaria importada empleada en proyectos agroindustriales; exención de renta líquida para cultivos de tardío rendimiento entre los que se encuentra la palma; el aumento de los volúmenes de créditos otorgados por FINAGRO para financiar las siembras nuevas y renovaciones de palma de aceite; el aumento de la seguridad en las zonas rurales; la creación de sistemas de alianzas productivas entre pequeños, medianos y grandes productores; y la apertura de nuevos mercados para los productos obtenidos a partir del cultivo de palma, entre los que se destaca la producción de biodiésel. Sin embargo, es importante señalar que a pesar de esta expansión de las áreas sembradas, desde el año 2011 los porcentajes de crecimiento han ido disminuyendo y se han registrado tasas interanuales inferiores a la tasa promedio de crecimiento de los últimos diez años. Tanto así que en el año 2014 se registró un crecimiento cercano al 0,85% con respecto al año inmediatamente anterior.



Fuente: Datos: SISPA s.f. b. Elaboración propia.

**Gráfico 17.** Áreas sembradas en palma de aceite período 2004-2014. Cifras en hectáreas (Ha)

La producción del aceite de palma se mide por la cantidad de aceite crudo que se obtiene en una hectárea en un año, por esto se expresa en términos de toneladas de aceite por hectárea sembrada por año (t/ha). Para realizar el análisis de la producción del aceite de palma se tomó como punto de partida el año en que inició la producción de biodiésel en Colombia. En términos generales, en el período 2008-2014 la producción de aceite de palma mostró un crecimiento constante, y cabe destacar que el crecimiento entre el 2010 y el 2011 fue equivalente al 25%. En el año 2014 sobresalió la zona oriental con la mayor elaboración de aceite de palma, con una producción que sobrepasó las 400.000 toneladas de aceite crudo. Un aspecto para recalcar de la zona norte, es que a pesar de presentar un lento crecimiento en el número de hectáreas sembradas, fue la segunda zona con mayor producción de aceite crudo de palma, lo que la llevó a alcanzar las 358.000 toneladas.

En la tabla 7 se especifican las cantidades producidas de aceite crudo de palma durante el período 2008-2014 así como las ventas en el mercado nacional e internacional. Actualmente, el mercado del aceite de palma está fragmentado de la siguiente forma: a) mercado tradicional, el cual incluye todas las ventas dirigidas al consumo humano (frituras, confitería, margarinas, entre otros) y a la fabricación de alimentos concentrados, jabones y pinturas; b) industria del biodiésel, y c) exportación.

**Tabla 7.** Producción, ventas mercado nacional e internacional del aceite de palma. Cifras en toneladas.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Producción</b>	777.509	804.838	753.039	945.064	973.802	1.040.840	1.109.586
<b>Ventas Mercado Nacional</b>							
<b>Empresas tradicionales</b>	403.389	425.301	407.470	433.467	393.194	432.817	432.528
<b>Industriales alimentos concentrados</b>	33.351	38.807	29.706	18.523	25.862	40.595	48.545
<b>Industriales aceites y grasas</b>	0	0	0	681	34	121	49
<b>Industriales jaboneros</b>	1.767	2.269	2.744	5.194	8.423	5.011	6.033
<b>Otros industriales</b>	8.179	9.825	7.915	8.014	6.178	8.381	9.649
<b>Biodiésel</b>	4.728	99.645	216.551	306.870	368.477	376.324	363.476
<b>Total ventas mercado nacional</b>	451.414	575.847	664.386	772.749	802.168	863.249	860.280
<b>Porcentaje de producción destinado al mercado nacional</b>	58,06%	71,55%	88,23%	81,77%	82,37%	82,94%	77,53%
<b>Ventas mercado internacional</b>	326.095	228.991	88.653	172.315	171.634	177.591	249.306

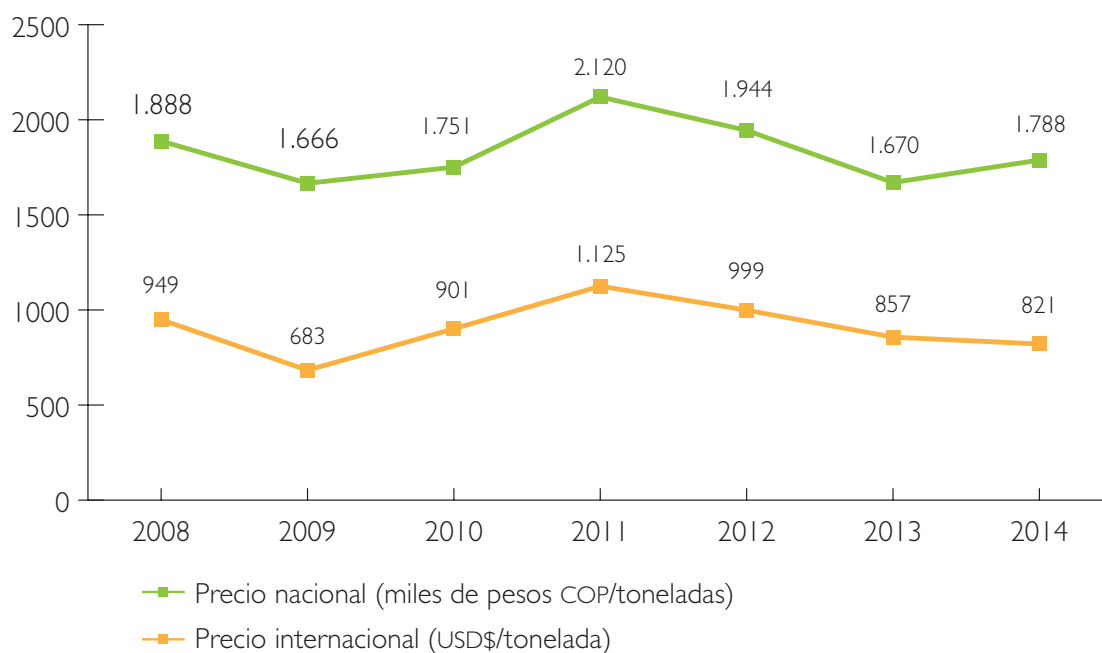
Fuente: Datos SISPA s.f.c y d. Elaboración propia.

El porcentaje de ventas de aceite de palma destinadas al consumo interno se ha incrementado con el transcurrir de los años. Si se observa en la tabla 7 las cantidades vendidas al mercado tradicional no han presentado mayor variación, por tanto la principal causa del aumento de las ventas en el mercado nacional es el nacimiento de la industria del biodiésel. Esta industria, con el paso de los años, ha ido incrementando las cantidades demandadas de aceite de palma. En el año 2008 las ventas correspondientes a este sector representaban solo el 1% de las ventas en el mercado interno y en 2014 esta cifra aumentó al 42%, lo cual indica que casi la mitad de la producción del aceite de palma que se comercializó en el mercado nacional se empleó para la producción de biodiésel.

Con respecto al precio del aceite de palma es importante destacar que Colombia es un tomador de precios internacionales de este tipo de aceite, por tanto para la definición del precio interno influye todo lo que acontezca en los grandes productores mundiales de esta oleaginosa. Durante el período 2008-2011 el precio internacional del aceite crudo de palma registró una tendencia a la alza, dicha tendencia se revirtió durante los años 2012, 2013 y 2014 (ver gráfico 18). En este último año, el precio internacional registró una caída del 4% con respecto al año inmediatamente anterior. Tal disminución fue consecuencia de la sobreoferta de aceites generada por el buen

comportamiento de la producción del aceite de palma en los productores líderes, por la buena cosecha del frijol de soja especialmente en el hemisferio sur, y por el buen comportamiento del aceite de colza (Fedepalma, 2014). En el ámbito internacional, el bajo precio del aceite de palma estimuló la demanda por parte del sector de biocombustible.

El dinamismo del precio interno del aceite de palma en este mismo período fue similar al que se presentó en el mercado internacional. Para los palmicultores colombianos el bajo precio del aceite de palma afectó su margen de ganancia, porque el precio llegó casi a igualar los costos de producción. No obstante, en el año 2014 el precio nacional del aceite de palma mostró un importante incremento con respecto al año inmediatamente anterior que fue equivalente al 7%.



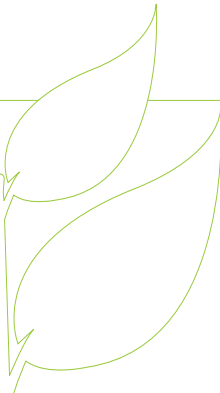
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Fedepalma, 2013 y 2015; World Bank.

**Gráfico 18.** Precios internacionales y nacionales del aceite crudo de palma

### SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR PALMICULTOR EN COLOMBIA

A pesar del crecimiento del sector palmicultor en Colombia durante los últimos años, existen una serie de factores que amenazan seriamente su competitividad. Se destacan los siguientes: a) el rezago tecnológico en el período agrícola de la palma, que conduce a bajos niveles de productividad y genera altos costos de producción; b) la problemática fitosanitaria, y c) los incipientes programas de investigación, desarrollo e innovación.

*Rezago tecnológico.* En Colombia, el cultivo de palma es intensivo en mano de obra, es decir, la gran mayoría de las labores del campo se realizan manualmente, lo que incrementa los costos



de producción y retarda los tiempos del proceso productivo de la palma. En otras palabras, los palmicultores carecen de técnicas mecanizadas, automatizadas o robotizadas para realizar el mantenimiento del cultivo y la recolección de los racimos de fruto. Además, los medios de transporte que se emplean para trasladar los racimos hasta los centros de acopio son muy rudimentarios. Por ejemplo, llevan la carga al hombro o empleando carretillas movidas por semovientes. Así mismo, para transportar los racimos desde los sitios de acopio hasta las plantas extractoras, generalmente, se emplean camiones que llevan cargas que superan la capacidad para la cual han sido diseñados. En muchas ocasiones, el cargamento de racimos va descubierto, exponiendo los frutos a la contaminación ambiental, lo cual podría alterar la calidad del aceite<sup>6</sup>.

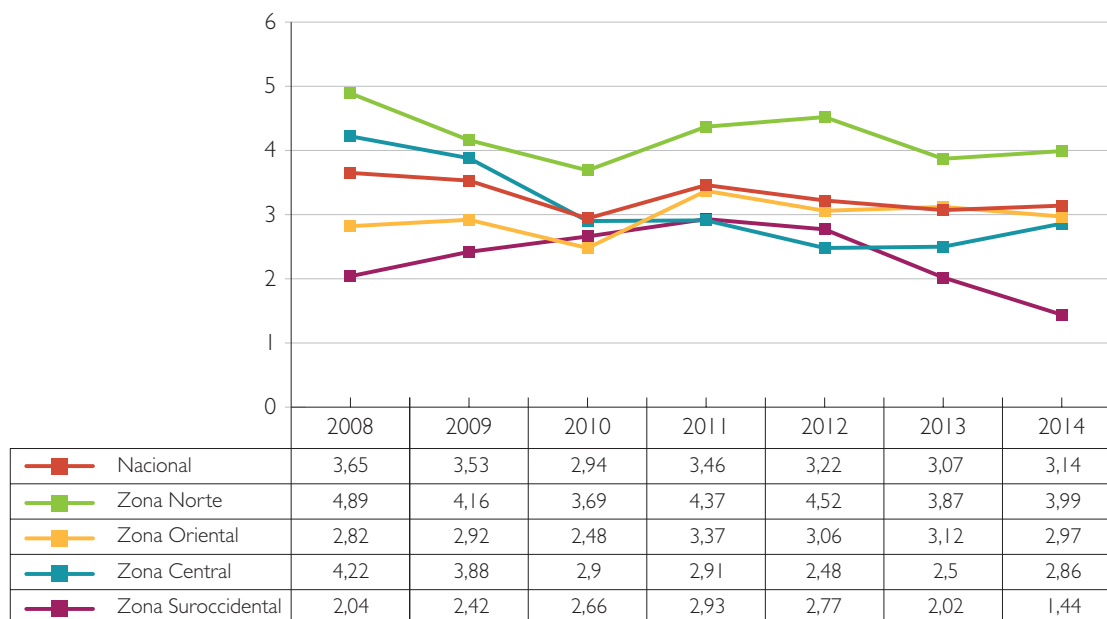
Las principales consecuencias del rezago tecnológico son bajos niveles de productividad y los altos costos de producción en el sector. Los bajos niveles de productividad se reflejan en el comportamiento decreciente que ha presentado el rendimiento del aceite de palma crudo por hectárea en los últimos años. En los primeros años de la década del 2000, se registraban rendimientos nacionales iguales o superiores a 4 toneladas de aceite por hectárea. No obstante, a partir del año 2005 los rendimientos empezaron a mostrar una tendencia a la baja, alcanzando producciones de 2,9 toneladas por hectárea sembrada. En el gráfico 19 se ilustra el comportamiento de los rendimientos tanto a nivel nacional como por zonas, dichos datos demuestran que en los últimos 10 años no se han alcanzado rendimientos cercanos a 4t/ha, lo que evidencia en gran parte la pérdida de competitividad del sector palmicultor.

En el año 2014, cada hectárea produjo en promedio 3,14 toneladas de aceite suponiendo un leve incremento del 2,28% con respecto al 2013 (ver gráfico 19). Una vez más se destaca el comportamiento de la zona norte, la cual a pesar de presentar poco dinamismo en la expansión de áreas sembradas, registra los mayores rendimientos del aceite de palma y se ubica incluso por encima de los rendimientos nacionales. Paradójicamente, aunque la zona oriental alberga la mayor superficie de hectáreas sembradas, registra muy bajos rendimientos comparados con los de la zona central y norte.

Otros factores que han incidido en los bajos niveles de productividad del sector son la problemática fitosanitaria –sobre la cual se hará referencia posteriormente–, la ola invernal que afectó cientos de hectáreas en la zona norte en los años 2010 y 2011 y el déficit hídrico en algunas zonas palmeras. Un cuarto factor que atribuye Fedepalma (2014) a la baja productividad es el incremento de áreas sembradas con palmas jóvenes que se encuentran iniciando su etapa de producción.

---

<sup>6</sup> Vale la pena señalar que algunas plantaciones han comenzado a implementar mejoras tecnológicas para el transporte de los frutos. Una de dichas mejoras es el cable-vía, el cual consiste en cables de acero que son soportados por estructuras metálicas. Bajo este sistema, los racimos se llevan hasta el cable-vía a través de carretas movidas con semovientes, al hombro o en carretillas y son depositados en las mallas que cuelgan de los cables. La ventaja del sistema consiste en que los racimos pueden ser transportados desde el sitio de acopio hasta la tolva de recepción del fruto en las plantas de beneficio. Además se pueden transportar hasta 35 toneladas diarias con solo 1,5 galones de combustible (Franco, 2011).



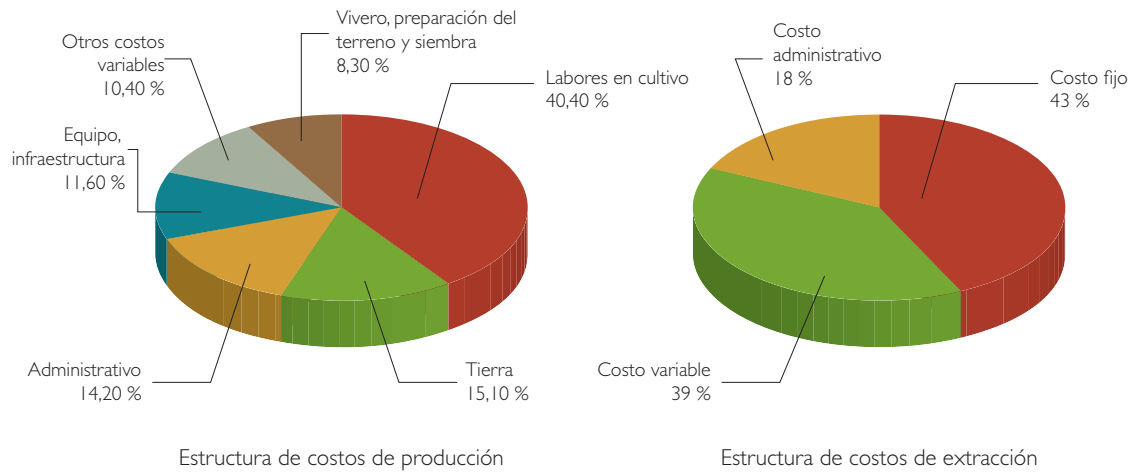
Fuente: SISPA s.f.e.

**Gráfico 19.** Rendimientos de aceite de palma en Colombia. Cifras en Toneladas/hectáreas (t/Ha)

Otra de las grandes limitantes de la agroindustria de la palma en Colombia son los elevados costos de producción. Según Duarte & Gutterman (2010), la producción del fruto de palma supone aproximadamente el 90% del costo total de producción del aceite, mientras que el 10% restante está asociado con la extracción del aceite. Asimismo, el 40,4% de los costos asociados con la producción del fruto, corresponde a labores del cultivo que a su vez comprende los costos de la mano de obra necesaria para el mantenimiento y cosecha del cultivo, así como los insumos agrícolas requeridos (semillas, fertilizantes, pesticidas) (ver gráfico 20). Es fundamental destacar que los gastos de la mano de obra (50,2%) y de los fertilizantes (30,6%) ocupan la mayor participación dentro de los costos variables en el cultivo, mientras que los costos de mantenimiento de los equipos y los insumos agrícolas ocupan un 6,2% y un 13% de los costos variables, respectivamente (Duarte & Gutterman, 2010).

En cuanto a la estructura de los costos de extracción del aceite, la mayor proporción se encuentra en los costos fijos, es decir, en las instalaciones de la planta de beneficio. Debido a la gran participación que tiene el montaje de la infraestructura de la planta sobre los costos totales de extracción es fundamental emplear toda la capacidad instalada de la misma, con el fin de distribuir los costos fijos entre un mayor número de unidades.

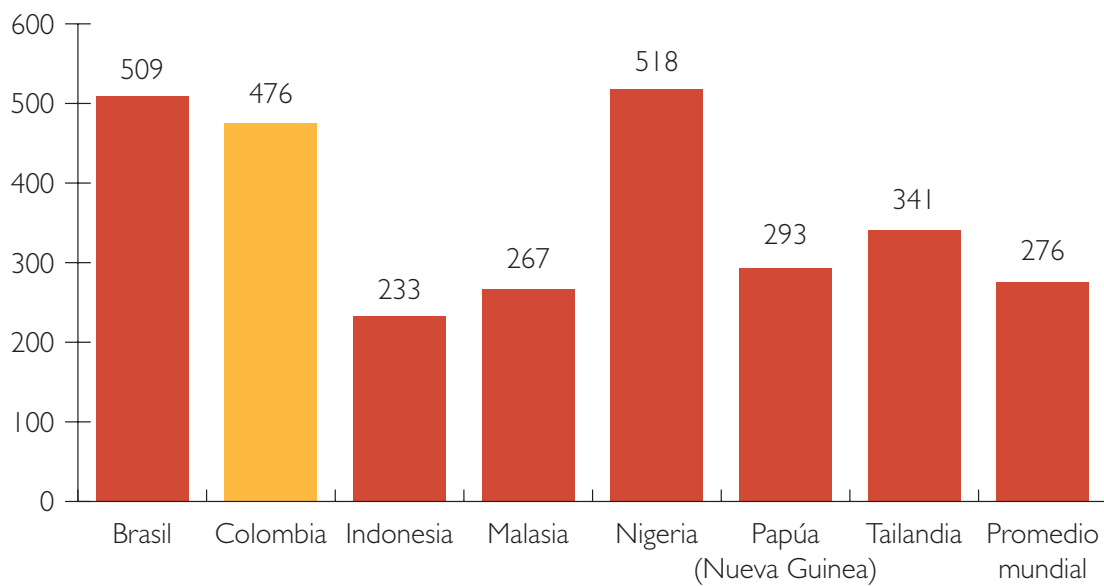




Fuente: Duarte y Guterman, 2010.

**Gráfico 20.** Estructura de costos de producción fruto de palma y extracción del aceite

Si se comparan los costos de producción nacionales con los de los siete países líderes en la producción de aceite de palma, se observa que Colombia es el tercer país con los costos más altos, después de Nigeria y Brasil (ver gráfico 21).



Fuente: Citado por Guterman, 2014.

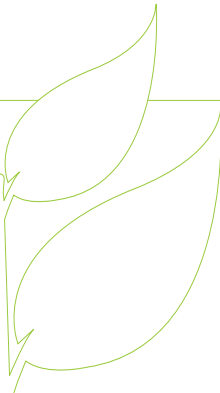
**Gráfico 21.** Comparación costos totales de producción de ACP promedio 1984-2012 (Dólares corrientes/t)

La brecha de costos de producción del aceite de palma entre Colombia y los países líderes asciende al 72% con respecto al promedio mundial. De los siete países analizados, Colombia se constituye como el principal país con los mayores costos de mano de obra, registrando un costo promedio de US\$197/Ha entre el período 1999-2013 (Guterman, 2014). El diferencial con Indonesia (país más competitivo en costos laborales) asciende a US\$143/Ha. En Colombia, según datos de Fedepalma, mientras que un jornal para trabajos en palma cuesta aproximadamente US\$25, en Indonesia cuesta alrededor de US\$8.

En conclusión, los altos costos de producción del aceite de palma se concentran principalmente en el mantenimiento del cultivo, de manera específica en: la mano de obra y fertilizantes; en la cosecha debido a la ausencia de mecanización en la recolección del fruto, lo que obliga a demandar gran cantidad de trabajo manual; y en la extracción del aceite por la subutilización de la capacidad instalada por escasez de materia prima. Dicha escasez obedece, principalmente, a los deficientes sistemas logísticos producto de una incorrecta planeación de la producción. Esto también está relacionado con falencias en la programación de los ciclos de corte; utilización de vehículos con capacidad insuficiente para el transporte de los Racimos de Fruto Fresco (RFF) hasta las plantas extractoras o que se encuentran deteriorados y sus costos de mantenimiento son altos, o vehículos que deben ser llenados manualmente lo cual incrementa los tiempos de cargue y descargue. De esta manera, se retrasa la llegada de los RFF o llega el cargamento incompleto a las plantas de beneficio, lo que trae como consecuencia tiempos ociosos y reprogramación de turnos (Fontanilla, Mogollón & Urueta, 2015).

Asimismo, en las plantas extractoras se dificulta la programación de la producción de aceite de palma por la ausencia de información con respecto a la cantidad de fruto producido en cada cosecha, es decir, la disponibilidad de información de la cadena de suministro es casi nula. En especial cuando las plantas de beneficio compran los RFF a palmicultores, con los cuales no se encuentran integrados a través de alianzas productivas o porque hacen parte del mismo grupo económico. Finalmente, los problemas de la logística de transporte del aceite extraído, que se deben en gran parte al mal estado de la infraestructura vial en las plantaciones y sus zonas de influencia, constituyen otro factor que incrementa el costo de producción del aceite de palma.

*Problemática fitosanitaria.* El cultivo de la palma en Colombia se ve afectado por las siguientes enfermedades: Pudrición del Cogollo, marchitez letal, marchitez sorpresiva, pudrición del estípite, anillo rojo, entre otras. De las enfermedades anteriores y atendiendo a lo manifestado por Fedepalma, la Pudrición del Cogollo es la mayor limitante del cultivo de palma en Colombia. Las zonas más afectadas han sido la sur occidental, específicamente en el municipio de Tuma-co, y la zona central con aproximadamente 70.000 hectáreas perdidas en los últimos siete años (Fedepalma, 2014). Esta crisis fitosanitaria es otro de los factores que ha contribuido a la disminución de los niveles de productividad del sector palmero. Frente a esta problemática, Fedepalma ha adelantado diferentes gestiones enfocadas en la intervención directa en Puerto Wilches, Santander, consecución de un incentivo para financiar la renovación de cultivos afectados y trabajos de investigación orientados al mejoramiento genético de las semillas de la palma con el fin de atacar al agente patógeno que origina la enfermedad.



*Incipientes programas de investigación, desarrollo e innovación.* Es fundamental fortalecer el proceso de investigación en el sector palmero, ya sea a través de Cenipalma o a través de la conformación de alianzas universidad-empresas-centros de investigación. Dichas exploraciones deben estar enfocadas en las modificaciones genéticas de las semillas de la palma, control fitosanitario, generación de productos de valor agregado, nuevas tecnologías en cultivos, cosecha y extracción, producción sostenible de biocombustibles, entre otros. Por su parte, Cenipalma ha desarrollado programas de mejoramiento enfocados en el control y manejo de las plagas y enfermedades, que se han integrado con trabajos de validación tecnológica con el fin de que los productores adopten tecnologías para atacar y /o prevenir el problema fitosanitario. Adicionalmente, el Programa Sectorial para el Manejo Sanitario (PSMS) ha propuesto estrategias (basadas en las investigaciones de Cenipalma) para contrarrestar el ataque de plagas y/o enfermedades de los cultivos de palma.

La oferta de conocimiento en Colombia se puede analizar teniendo en cuenta el número de programas de educación formal, grupos de investigación y centros de desarrollo tecnológico. En el país existen 14 programas de educación formal que se relacionan con el sector palmicultor y de biocombustibles: cuatro corresponden a doctorados, tres a maestría, uno a especialización, tres tecnológicos y tres de técnica-profesional (Millán, 2014). Estos, solo impactan la fase de cultivo y cosecha, es decir, que la oferta de conocimiento en los otros eslabones de la cadena es escasa o nula.

Con respecto a los grupos de investigación, de los 3.970 que existen a nivel nacional reconocidos por Colciencias, solo 35 poseen líneas de investigación relacionadas con el sector palmicultor y de biocombustibles. En el anexo 4 se presentan los resultados de una búsqueda de grupos de investigación enfocados en la cadena productiva del biodiésel (específicamente en los dos primeros eslabones). En lo que se refiere a la innovación en el sector palmero, esta se concentra en el eslabón de cultivo y ha sido dirigida específicamente por Cenipalma. Por su parte, en el eslabón de biocombustibles se hace necesario implementar procesos innovadores y la crear productos con valor agregado.

A manera de conclusión se afirma que uno de los grandes retos del sector palmicultor consiste en la implementación de tecnología por parte de los productores. Además, está el fortalecimiento de procesos de investigación y el desarrollo tecnológico enfocados en modificaciones de las semillas de la palma con el fin de obtener materiales genéticos resistentes a plagas y enfermedades, al déficit hídrico o la toxicidad por aluminio en el suelo; clonación de palmas con características deseables y rendimientos muy altos, entre otros.

A pesar de las debilidades antes señaladas, una importante fortaleza que tiene el sector palmicultor en Colombia es el alto nivel de encadenamiento que existe en su interior a través de las alianzas estratégicas entre cultivadores y proveedores de insumos agrícolas, y plantas extractoras y grupos empresariales, integrando a los productores de aceite de palma, refinadoras de aceites y grasas y plantas productoras de biodiésel. A finales de la década de los 90 el Ministerio de Agricultura adoptó el sistema de Alianzas Productivas Estratégicas - APÉs. Según Millán (2014), en los últimos 10 años se han conformado 127 asociaciones y cooperativas de product-

res, de las cuales hacen parte más de 6.000 cultivadores con aproximadamente 70.000 hectáreas distribuidas en todas las zonas palmeras. A su vez, estos palmicultores se encuentran integrados con plantas extractoras y conforman 116 Alianzas Productivas Estratégicas desarrollando de esta forma un modelo de crecimiento de proveedores. Los principales impactos de las APES se evidencian en la equidad redistributiva de los beneficios, en el acceso a recursos para el sector por parte de pequeños productores, contratos que garantizan la venta del fruto de palma, criterios técnicos en el diseño y financiamiento de las plantaciones, asistencia técnica y acompañamiento, acceso a créditos e incentivos (Mesa, 2011).

Los grupos empresariales están conformados por empresas familiares y en ellos se han integrado cada uno de los eslabones de la cadena productiva: cultivadores, extractores, refinadores, productos de biodiésel o de aceites y grasas vegetales. Un ejemplo es el grupo económico Bio D, del cual hacen parte empresas cultivadoras (Palmasol S.A.), extractoras (Guaicaramo S.A., Oleaginosas La Cabaña S.A., Oleaginosas San Marcos Ltda. y Palmeras Santana Ltda.) y empresas productoras de biodiésel (Bio D S.A.).

Estos mecanismos de cooperación que se han desarrollado en los sectores palmero, aceites y grasas y biocombustibles constituyen las bases para la consolidación de *clusters*, considerados como la mejor alternativa para mejorar la competitividad de toda la cadena productiva del aceite de palma (Millán, 2014).

#### **4.2. Materias primas alternativas para la producción de biodiésel**

Para el año 2007, el 84% del total de biodiésel producido a nivel mundial se elaboró a partir de aceite de colza; el 13% con aceite de girasol; el 1% con aceite de palma y, el 2% con aceite de soja y otros aceites (Thoenes, 2007). Es decir, que más del 95% del biodiésel producido a nivel mundial empleó como materia prima aceites comestibles. Sin embargo, y tal como se ha señalado anteriormente, esta situación ha generado preocupación en algunos sectores por los efectos que pueda tener en el suministro de alimentos y sus respectivas consecuencias económicas. Frente a esta problemática, la búsqueda de materias primas no comestibles para la producción de biodiésel ha adquirido mayor relevancia.

En general, se han identificado más de 300 materias primas para la producción del biodiésel (Shahid & Jamal, 2011). En la tabla 8 se observan diferentes tipos de materias primas cuyos autores clasifican en convencionales y no convencionales. A su vez, estas materias primas incluyen aceites vegetales vírgenes, grasas animales, aceites de cocina usado y aceites no comestibles. Los aceites vegetales más conocidos y sobre los cuales se han realizado más investigaciones para su uso como materia prima en la producción de biodiésel son: aceite de colza, de mostaza, de canola, de girasol, de semilla de algodón, de palma, de soja, de linaza, de maíz, de oliva, de coco, de pistacho, de jatropha, de sésamo, y de jojoba. En la mayoría de países tropicales, el biodiésel es producido a partir de aceite de palma; en Estados Unidos se emplea en su mayoría el aceite de soja; y en la Unión Europea, aceite de colza (Demirbas, 2007). Mientras que en India y el sudeste de Asia emplean el árbol de jatropha como una fuente importante para producir combustible (Demirbas, 2008a).

**Tabla 8.** Diferentes materias primas para la producción de biodiésel

Materias primas convencionales		Materias primas no convencionales
Mahua	Aceite de cocina usado	Manteca de cerdo
Nile Tilapia	Linaza	Sebo
Palma	Mostaza	Grasa de ave
Aves de corral	Soja	Aceite de pescado
Semillas de tabaco	Colza	Bacterias
Ficus	Canola	Algas
Salvado de arroz	Babasú	Hongos
Sésamo	Brasica Carinata	Microalgas
Girasol	Brassica Napus	Tarpenes
Cebada	Copra	Latexes
Coco	Maní	Pongamina Pinnata
Maíz	Cynara Cardunculus	Palanga
Semillas de algodón	Calabaza	Jatropha curcas
Aceite de jojoba	Camelina	Sea mango
Oliva		Okra

Fuente: Shahid y Jamal, 2011.

Según el IICA (2010), en Colombia, además de la palma de aceite existen otros cultivos que pueden ser empleados como materia prima para la producción de biodiésel: coco, higuera, aguacate, jatropha, colza, maní, girasol y soja.

Actualmente, en Colombia, la información recopilada por Fedebioenergías está orientada únicamente al biodiésel producido a partir de aceite de palma, pues las nueve plantas productoras utilizan como principal materia prima esta oleaginosa. Sin embargo, universidades del país, grupos de investigación y empresas públicas y privadas se encuentran realizando pruebas experimentales para analizar la producción de biodiésel a partir de materias primas alternativas.

Los resultados obtenidos en la revisión de la literatura en revistas nacionales, con respecto a la investigación de materias primas diferentes al aceite de palma, fueron clasificados en tres categorías. La primera de ellas, comprende trabajos científicos enfocados en 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 higuera (Benavides, Benjumea & Pashova, 2007; Hincapié, Moreno & López, 2011); aceite de semilla de algodón (Llorente & Sarmiento, 2013); microalgas (Plata, Kafarov & Moreno, 2009); aceite de cocina usado (Sánchez, 2014).

En el caso particular de la investigación enfocada en el análisis de la producción de biodiésel a partir de grasas animales y aceites de cocina usados, se ha detectado que estas materias primas poseen un alto contenido de AGL, que al reaccionar con el catalizador alcalino forman jabones, contaminando el biodiésel que se obtiene. Por lo tanto, se requiere un pre- tratamiento de la materia prima antes de iniciar el proceso de transésterificación con el fin de disminuir la cantidad de ácidos grasos libres.

La segunda categoría comprende trabajos científicos relacionados con el aspecto económico. Se destaca una tesis de postgrado cuyo principal objetivo era determinar la viabilidad financiera de una planta productora de biodiésel a partir del aceite de cocina usado (Chaverra & Mercado, 2012).

Finalmente, la tercera categoría está conformada por la producción científica enfocada en la búsqueda de legislaciones que regulen la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación. Se destaca la investigación realizada por Restrepo (2012).

Es importante resaltar 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.

A lo descrito anteriormente, se suman las investigaciones que adelantan en el país compañías petroleras como Chevron, Shell, Petrobras, BP, ConocoPhillips y Ecopetrol, con el fin de producir biodiésel a partir de microalgas. En este sentido, una de las conclusiones a la que han llegado a partir de estas investigaciones es que por cada hectárea de palma se pueden obtener 5.500 litros de aceite, mientras que por cada hectárea de microalgas se generan 58.700 litros de aceite. En ese orden de ideas, estas últimas pueden llegar a ser diez veces más productivas que la palma de aceite (Ecopetrol, 2009b). Sin embargo, la inversión que debe hacerse para generar biodiésel a partir de microalgas es significativamente alta y para algunas compañías no ha resultado ser económicamente viable<sup>7</sup>.

En general, es posible establecer que en el caso específico de Colombia la utilización de materias primas diferentes al aceite de palma para la producción de biodiésel se encuentra en una fase de investigación y de realización de pruebas experimentales. Básicamente, estas investigaciones están enfocadas en analizar las características físico-químicas de los aceites alternativos y las propiedades del biodiésel que se obtiene a partir de estos con el objetivo de determinar si cumple con los parámetros de calidad establecidos a nivel nacional e internacional.

<sup>7</sup> En Colombia, el centro de investigación y desarrollo de Ecopetrol, asociado con Solazyme líder mundial en biotecnología y modificación genética de algas, iniciaron en el 2008 una investigación con el fin de analizar la factibilidad técnica y económica para la producción de biodiésel a partir de microalgas. Para ello han desarrollado pruebas en plantas pilotos del instituto, y han obtenido en resultados preliminares biodiésel y bioetanol con propiedades físico-químicas muy similares a los parámetros de calidad establecidos (Ecopetrol, 2009b).

## ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Tal como se ha mencionado en capítulos anteriores el biodiésel se origina a partir de materias primas como los aceites vegetales, grasas animales, aceite de cocina usado y aceites de microalgas y bacterias. Desde el punto de vista químico, los aceites están compuestos en su mayor parte por triglicéridos y en una menor proporción de mono y diglicéridos. Los triglicéridos, a su vez, están constituidos por tres ácidos grasos y una molécula de glicerol. Las características físico-químicas de los aceites vegetales y las grasas animales difieren entre sí, principalmente por sus diferentes composiciones de ácidos grasos (Singh, S. & Singh, D., 2010). Es decir, los ácidos grasos están conformados por cadenas de carbonos de longitudes variables y diferentes cantidades de enlaces insaturados.

En ese sentido, los aceites pueden ser saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Se denominan saturados cuando los triglicéridos están conformados por tres ácidos grasos diferentes con gran cantidad de hidrógenos, sin presentar enlaces dobles entre sus átomos de carbono. La liberación de un átomo de hidrogeno en las cadenas carbonadas de ácidos grasos permite la conformación de un solo doble enlace entre carbono y carbono (una sola insaturación) dando origen a los denominados aceites monoinsaturados. Finalmente cuando se libera más de un átomo de hidrogeno, se conforman diversos enlaces dobles originando los llamados aceites poliinsaturados.

Tales niveles de saturación tienen un efecto directo sobre las propiedades del biodiésel. Por ejemplo, los aceites vegetales como el de girasol, soja y oliva poseen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, razón por la cual el biodiésel que se obtiene posee menor estabilidad, menor número de cetano y una menor temperatura de congelación. Por su parte, el biodiésel obtenido a partir de aceites como el de palma, coco y sebo animal posee mejores niveles de estabilidad y un alto número de cetano, pero tiende a solidificarse rápidamente cuando la temperatura del entorno físico empieza a disminuir. Lo anterior, obedece principalmente a la gran cantidad de ácidos saturados que poseen los aceites mencionados.

De acuerdo con lo anterior, para evaluar la producción de biodiésel a partir de diferentes materias primas se deben tener en cuenta una serie de propiedades físicas y químicas tanto de los aceites o grasas como del biodiésel que se obtiene a partir de estos. Estas propiedades incluyen viscosidad, densidad, número de cetano, punto nube, rango de destilación, punto de inflamación, contenido de cenizas, de azufre, residuos de carbono, índice de acidez, de yodo, corrosión del cobre y el máximo valor calorífico, entre otros (Goering, Schwab, Daugherty, Pryde & Heakin, 1982). Asimismo, cada una de estas propiedades se debe confrontar con las del diésel derivado del petróleo para poder determinar cuáles materias primas serían más prometedoras en términos de la calidad del biodiésel que producen.

Ayhan Demirbas (2008b), realizó las mediciones de viscosidad, densidad, punto de inflamación y valor calorífico de 22 aceites vegetales y de 11 metil ésteres obtenidos a partir de aceites vegetales. En la presente publicación, esta información fue complementada con los datos presentados por Talebian-Kiakalaieh, Amin & Mazaheri (2013). En las tablas 9 y 10, se muestran algunos de los resultados obtenidos en dichas investigaciones.

**Tabla 9.** Propiedades de diferentes aceites y grasas.

Aceite o grasa	“Viscosidad (cSt)”	“Densidad (g/cm <sup>3</sup> )”	“Punto de inflamación (°C)”	“Valor calorífico (MJ/kg)”	“Valor de acidez (mg KOH/g)”	“Número de Cetano (C)”	Punto nube °C	Punto de fluidez °C
Palma	24,1	0,92	228	39,74	0,1	42	31	-
Soja	32,6	0,91	255	39,44	0,2	37,9	-3,9	-12,2
Sebo	-	0,92	-	40,05	-	-	-	-
Aceite de cocina usado	44,7	0,9	-	-	2,5	-	-	-
Maíz	35,4	0,914	258,85	39,66	-	37,6	-1,1	-40
Colza	37,3	0,912	257,85	39,52	2,92	37,6	-3,9	-31,7
Semilla de girasol	33,9	0,916	261,85	39,59	-	41,3	18,3	-6,7
Canola	38,2	-	-	-	0,4	-	-	-
Jatropha Curcas	29,4	0,92	225	38,5	28	-	-	-

Fuente: Demirbas, 2008b; Talebian-Kiakalaieh et al., 2013.

**Tabla 10.** Propiedades físicas y químicas de diferentes metil éster.

Combustible	“Viscosidad (cSt)”	“Densidad (g/cm <sup>3</sup> )”	“Punto de inflamación (°C)”	“Valor calorífico (MJ/kg)”	“Valor de acidez (mg KOH/g)”	“Número de Cetano (C)”	Punto nube °C	Punto de fluidez °C	Índice de yodo	Número de saponificación
Diésel	3,06	0,855	76	43,8	-	50	-	-16	-	-
Metil éster de aceite de palma	3,94	0,867	160,85	41,24	0,08	62	-	-	60,07	207
Metil éster de aceite de soja	4,08	0,865	167,85	41,28	0,15	52	3	-4	138,7	201
Metil éster de sebo	-	0,856	-	-	0,65	59	16	15	126	244,5
Metil éster de aceite de cocina usado	4-5,18	0,878-0,887	148	39,26-39,48	0,15	48	8	6	-	-
Metil éster de aceite de maíz	3,62	0,873	181,85	41,18	-	58-59	-	-	120,3	202
Metil éster de aceite de colza	4,6	0,857	179,85	41,55	0,25-0,45	49-50	-	-	-	-
Metil éster de aceite de girasol	4,16	0,863	165,85	41,33	0,24	49	-	-	142,7	200
Metil éster de aceite de canola	3,53	0,88-0,9	-	45	-	56	-3	-4	103,8	182
Metil éster de aceite de Jatropha Curcas	4,78	0,8636	-	40-42	0,496	61-63	-	-	108,4	202

Fuente: Adaptado de Demirbas, 2008b; Talebian-Kiakalaieh et al., 2013 y Departamento de Energía de EE.UU., 2004.



Las normas ASTM D-6751-08 de Estados Unidos; EN 12214/07 de la Unión Europea y la norma NTC 5444, para el caso de Colombia, definen las especificaciones químicas y físicas que debe cumplir el biodiésel producido (ver anexo 5). Para efectos de la presente publicación, a continuación, se analizarán algunas de las características presentadas en las normas ya mencionadas.

**Valor calorífico:** al analizar el valor calorífico de los diferentes metil éster-biodiésel (ver tabla 10) se observa que los valores obtenidos no difieren en gran medida con el poder calorífico del diésel. Si tomamos como referencia las cuatro materias primas analizadas en la presente publicación, el valor calorífico del biodiésel derivado del aceite de soja es el que menor variación presenta con respecto al del diésel de petróleo. No obstante, el contenido energético del biocombustible que se genera a partir del aceite de palma, sebo y aceite de cocina usado, no presenta mayores variaciones respecto al del diésel. Lo anterior obedece en gran parte a que la energía contenida en los aceites que se emplean para la producción de biodiésel no dista de ser semejante al contenido energético de los materiales usados para la obtención del diésel fósil (Ganduglia et al., 2009).

Para evaluar las propiedades frías del biodiésel, existen tres métodos: punto nube, punto de obstrucción del filtro en frío - POFF, y punto de fluidez. A continuación, haremos referencia al **punto nube**: este valor indica la temperatura a la cual se comienza a solidificar el biodiésel, lo que causa taponamientos y averías en los motores al impedir el suministro de combustible. En este sentido, en países de climas fríos, será más provechoso usar biodiésel con puntos nube bajos. Por ejemplo, en los países escandinavos sería mejor emplear biodiésel cuya materia prima fuera el aceite de canola, antes que biodiésel derivado del sebo no comestible o del aceite de palma.

Luego está la **viscosidad**, otra propiedad importante del biodiésel porque se relaciona directamente con el funcionamiento de los equipos de inyección del combustible. Cuando la viscosidad es alta afecta la fluidez del combustible, especialmente, a bajas temperaturas. Después del proceso de transesterificación que se realiza para la producción del metil éster, la viscosidad de los aceites vegetales se disminuye considerablemente, ya que estos se caracterizan por poseer una viscosidad que es de 11 a 17 veces mayor que la del diésel de petróleo (Goering et al., 1982). Se ha establecido que el biodiésel debe tener una viscosidad igual o muy cercana a la diésel fósil. En este sentido, los biodiésel que emplean aceite de canola, maíz y palma, son los que registran viscosidades similares a las diésel (ver tabla 10). Por su parte la jatropha, colza, aceite de cocina usado y soja producen metil éster con viscosidades superiores a las del diésel fósil.

El **número de cetano**, es una medida que indica la calidad de ignición del motor y del proceso de combustión. Lo recomendable es obtener biodiésel con altos números de cetano, ya que un mayor valor indica un menor porcentaje de depósitos en el motor, y menor desgaste del mismo. Los aceites saturados como la palma y el sebo tienden a producir metil ésteres con mayor número de cetano, contrario a lo que ocurre con los aceites insaturados como la soja y la colza.

Otras de las propiedades del biodiésel que se relacionan directamente con la materia prima empleada son: el **índice de yodo**, asociado con la estabilidad del biodiésel; el **índice de acidez** y la **den-**

*sidad*. En primer lugar, existen dos tipos de estabilidad del biodiésel, la primera es denominada “estabilidad a la oxidación”. Esta propiedad se refiere al grado de envejecimiento del biodiésel. Los aceites insaturados (soja, colza, oliva), tienden a acelerar el proceso de oxidación. En este sentido el biocombustible derivado de aceites insaturados no podrá permanecer almacenado por un tiempo prolongado (Lapuerta, Fernández & De Mora, 2009), ya que podrá a envejecerse rápidamente, y se alterarán muchas de sus propiedades. Asimismo, los altos índices de yodo tienden a aumentar la oxidación del biodiésel. Por esa razón, el biocombustible para uso en motores diésel con altos valores de yodo, probablemente experimentarán un acelerado proceso de envejecimiento. En este orden, el biodiésel derivado del aceite de girasol, soja, maíz y sebo tiene más probabilidad de oxidarse en un menor tiempo si se compara con el biodiésel obtenido a partir del aceite de palma. No obstante este indicador no es tan fiable para determinar la estabilidad de oxidación del biodiésel (Ganduglia et al., 2009).

Y la estabilidad térmica del biodiésel, hace referencia a la persistencia de este biocombustible cuando es sometido a altas temperaturas dentro del motor. En términos generales, se afirma que el biodiésel posee una buena estabilidad térmica.

Por su parte, el *índice de acidez* hace referencia al contenido de ácidos grasos libres del biodiésel. Es importante controlar el porcentaje de esta medida, ya que los altos valores de acidez conducen a un deterioro del biodiésel. Además, permiten la formación de contaminantes en los inyectores del motor. Tal como se observa en la tabla 10, el biodiésel obtenido a partir de sebo, jatropha curcas y colza son los que mayor índice de acidez registran. Mientras que el biodiésel de palma es el que menor cantidad de AGL posee.

La *densidad* es una medida que depende del aceite y del proceso productivo del biodiésel. Básicamente, esta propiedad indica la cantidad de alcohol que queda como residuo después del proceso de transesterificación. Altos porcentajes de densidad demuestran que es poco el exceso de alcohol.

Finalmente, el *punto de inflamación* indica, entre otros factores, qué tan volátil puede llegar a ser un combustible. El biodiésel, independientemente del tipo de materia prima que se emplee para su producción, se caracteriza por poseer un punto inflamación superior al del diésel fósil. Lo anterior le otorga ventajas al biodiésel en términos de manipulación, transporte y almacenamiento.

Para concluir con lo anterior se destaca que al no existir una homogeneidad en las características químicas y físicas de las materias primas empleadas en el proceso de transesterificación, se pueden obtener diversos ésteres metílicos con características variadas. En ese orden de ideas, el país o región de procedencia, la calidad del aceite elegido, el proceso productivo del biocombustible, entre otros factores, influyen fuertemente en la calidad del biodiésel. Es pertinente mencionar que durante el proceso de producción de este biocombustible se realizan pre y post procesos que corrigen las limitantes de los aceites vegetales o grasas animales con el fin de ajustar las características del biodiésel a los parámetros exigidos por la normatividad.

A lo descrito anteriormente se debe añadir que no se ha encontrado hasta el momento una materia prima que produzca un “biodiésel perfecto”, ya que existen aceites vegetales, grasas animales, o residuos de aceites usados que producen biodiésel con ciertas características deseables, pero a su vez generan otras propiedades no tan deseables. Si por ejemplo comparamos el metil éster de aceite de soja con el de sebo, se observa que el primero registra menores porcentajes de acidez. No obstante, el biodiésel de sebo posee un menor índice de yodo, es decir, su proceso de envejecimiento u oxidación tiende a ser más lento que el del biodiésel de soja.

En términos generales, es posible afirmar que de las cuatro materias primas analizadas en la presente publicación, las características del biodiésel de palma son las que más se ajustan a los parámetros establecidos en la normativa colombiana (ver anexo 5). Cabe resaltar una vez más que las propiedades físicas y químicas de los aceites vegetales y grasas animales son muy variables pues dependen de una serie de factores endógenos y exógenos. Entre los factores endógenos se encuentra la composición química de los aceites y los factores exógenos se relacionan con aspectos propios del entorno, tales como el país de origen de la materia prima. En este sentido, el aceite de palma producido en Colombia, por ejemplo, puede tener características diferentes al aceite de palma producido en Malasia que se asocian a las variaciones genéticas de las semillas de la palma, al sistema de cultivo, a los fertilizantes utilizados, a las técnicas de extracción, entre otros.

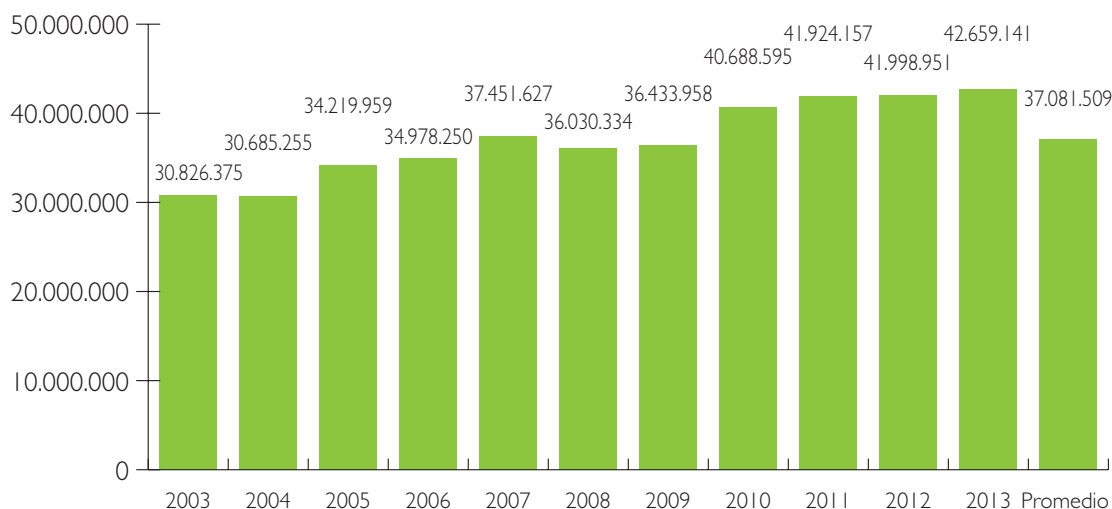
A continuación, se realizará un estudio de mercados de algunas materias primas alternativas para la producción de biodiésel: aceite de soja, sebo de res y aceites de cocina usados. Se iniciará con un análisis de la producción mundial de cada una de ellas para determinar cuáles son los países con mayor capacidad de producción, y paso seguido se analizará de manera particular la producción e importaciones realizadas de estas materias en Colombia, con el fin de analizar las posibilidades de uso de materias primas alternativas.

## **ACEITE DE SOJA**

Durante el período 2012-2013, la producción del frijol de soja presentó un buen comportamiento, especialmente en los países del hemisferio sur: Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay y Bolivia. Sin embargo, los altos niveles de inventario del aceite de soja registrados en el año 2013, impulsaron a una disminución en su precio internacional equivalente al 16% con respecto al año inmediatamente anterior.

### **Análisis del mercado internacional del aceite de soja**

Para realizar el análisis de la producción mundial de aceite de soja se utilizó la base de datos FAOSTAT de la dirección de estadística de la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura - FAO.

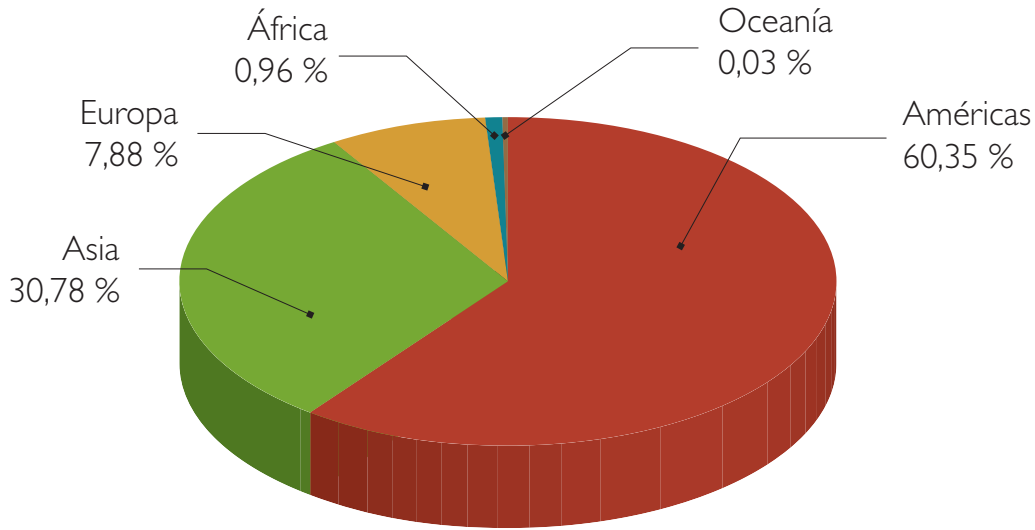


Fuente: Elaboración propia. Datos: FAOSTAT s.f.b. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QD/S>.

**Gráfico 22.** Producción mundial de aceite de soja período 2003-2013. Cifras en toneladas

En el gráfico 22 se observa la producción mundial de aceite de soja en el período 2003-2013. Se destaca el año 2013 porque registró la mayor producción. Además, en este año los grandes productores (China, Estados Unidos, Brasil, Argentina e India) presentaron buenos comportamientos. Por otra parte, el año en el que se presentó la menor producción fue el 2004 y la producción mundial promedio en el período analizado fue de 37.081.509 toneladas.

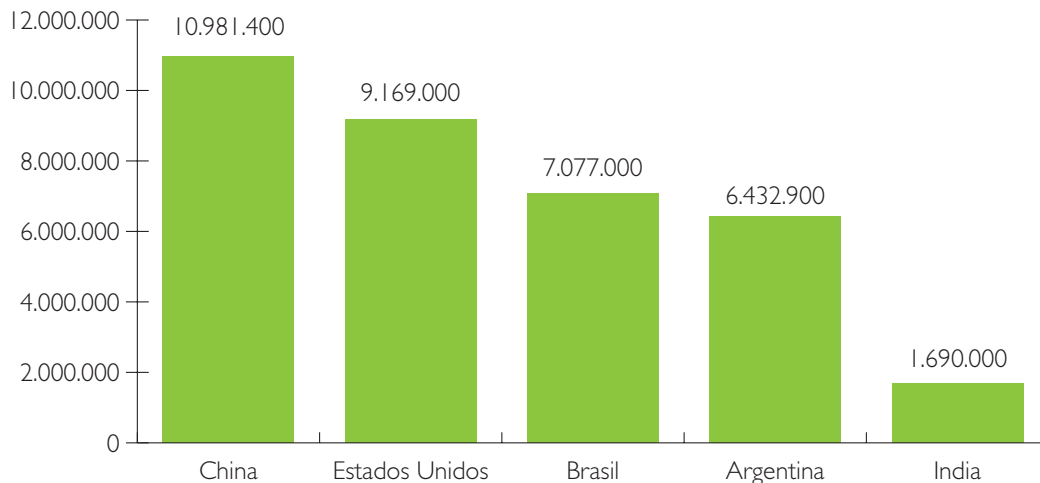
En términos generales la producción mundial presentó una tendencia al alza, con ligeras disminuciones en los años 2004 y 2008, y mostró recuperación en los años siguientes. En el año 2013 se registró un leve incremento en la producción de aceite de soja equivalente al 1,57% con respecto al 2012. No obstante, esta cifra se ubica por debajo de la tasa promedio de crecimiento interanual equivalente al 3,4%. La variación total entre el 2003 y el 2013 fue del 38%, es decir, que en 10 años la producción mundial de aceite de soja se incrementó en 11.832.766 toneladas. Las anteriores cifras ponen de manifiesto el lento dinamismo que ha experimentado la producción de aceite de soja en la década comprendida entre el 2003 y el 2013.



Fuente: FAOSTAT s.f.b. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QD/S>

**Gráfico 23.** Proporción de producción promedio de aceite de soja por región período 2003-2013

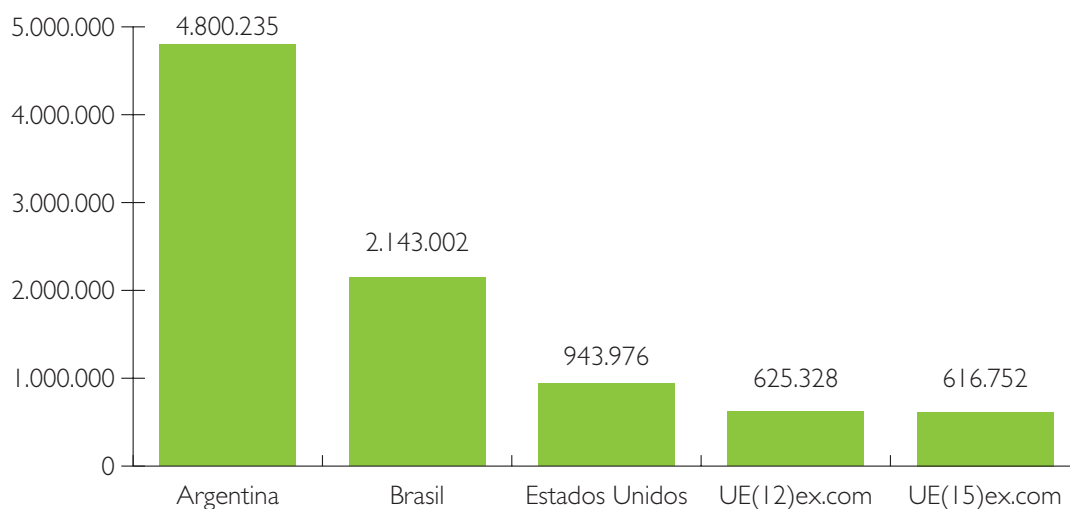
En el gráfico 23 se observa la distribución de la producción de aceite de soja por continente durante el período 2003-2013. De acuerdo con estos datos, la producción mundial de aceite de soja se concentra principalmente en el continente americano y asiático, específicamente en los siguientes países: Estados Unidos, Brasil, Argentina, China e India. En el año 2013 solamente la producción de estos cinco países representó el 82% de la fabricación mundial.



Fuente: FAOSTAT s.f.b. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QD/S>

**Gráfico 24.** Principales países productores de aceite de soja año 2013. Cifras en toneladas

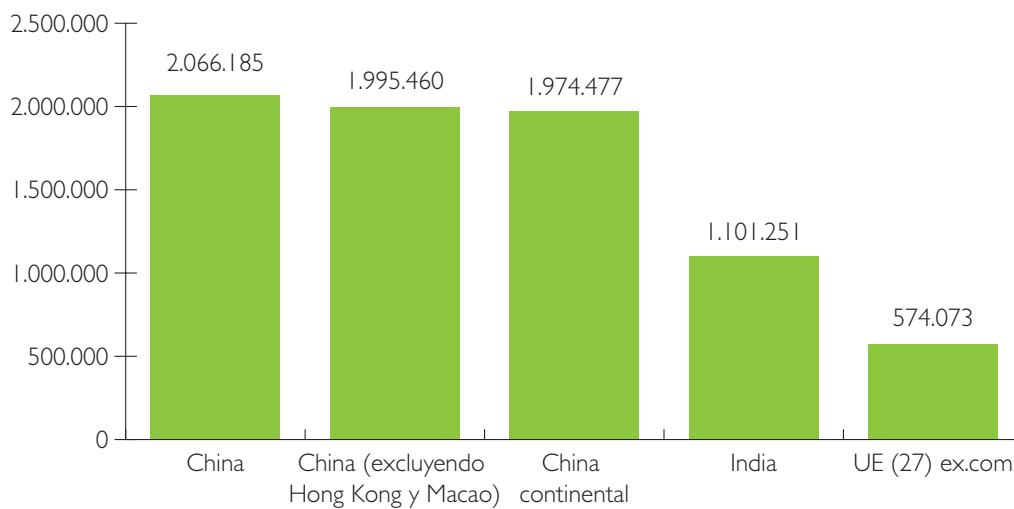
De acuerdo con el gráfico 24, China es el mayor productor de aceite de soja, y Estados Unidos ocupa el segundo lugar. No obstante, es importante mencionar que el país norteamericano fue el mayor productor de aceite de soja durante seis años consecutivos del período analizado (2003-2009); solo hasta el año 2010, China asumió el liderazgo en la producción de este aceite vegetal.



Fuente: FAOSTAT s.f.c. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/T/TP/S>

**Gráfico 25.** Exportaciones promedio de aceite de soja los cinco principales países período 2003-2012. Cifras en toneladas

En el gráfico 25 se observa que Argentina es el país que lidera las exportaciones de aceite de soja a nivel mundial, sigue Brasil y en tercer lugar se encuentra Estados Unidos. Lo anterior permite afirmar que los mayores productores de aceite de soja no son los principales exportadores. China, que según lo mencionado anteriormente es el país que mayor cantidad de aceite de soja produce en todo el mundo, no registra en el listado de exportadores, por el contrario es el mayor importador de este aceite vegetal (ver gráfico 26). Estas cifras ponen de manifiesto que los principales exportadores de aceite de soja se concentran en el continente americano, mientras que los principales importadores en el continente asiático.



Fuente: FAOSTAT s.f.c. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/T/TP/S>.

**Gráfico 26.** Importaciones promedio de aceite de soja de los cinco principales países período 2003-2012. Cifras en toneladas

Ahora bien, los países que se observan en la tabla 11 son los mayores productores de aceite de soja de cada continente, pero algunos de ellos destinan porcentajes ínfimos al mercado internacional, razón por la cual fueron descartados como posibles proveedores. Para ver en detalle las cantidades exportadas, importadas y destinadas al consumo interno de cada país, leer anexo 6.

**Tabla 11.** Potenciales proveedores de aceite de soja.

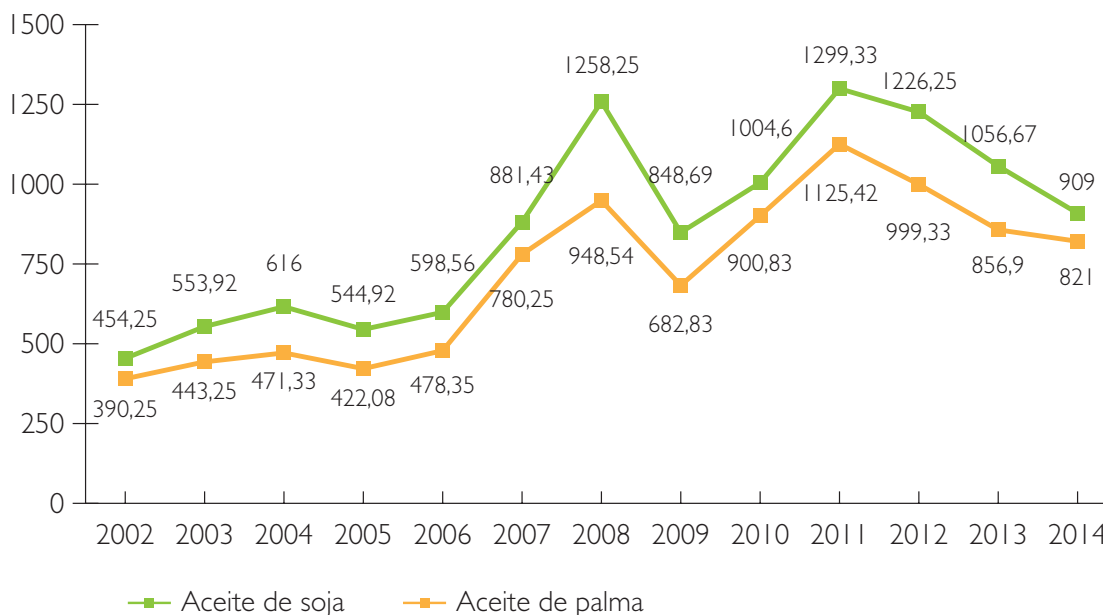
Continente	Potenciales proveedores de aceite de soja	Países descartados como proveedores de aceite de soja
América	Argentina	Canadá
	Brasil	México
	Estados Unidos	
	Bolivia	
	Paraguay	
Europa	Alemania	Italia
	Países Bajos	Portugal
	España	
Asia		China (incluyendo a Taiwán)
		India
		Japón
		Indonesia
		Tailandia

Continente	Potenciales proveedores de aceite de soja	Países descartados como proveedores de aceite de soja
África		Egipto
		Marruecos
		Sudáfrica
		Uganda
		Túnez
Oceanía		Australia

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 11, además de los tres principales exportadores (Argentina, Brasil y Estados Unidos), existen otros potenciales proveedores de aceite de soja: Bolivia, Paraguay, Alemania, Países Bajos y España, que a pesar de no ser grandes productores destinan una parte significativa de su producción al mercado internacional.

En África y Oceanía los niveles de producción de aceite de soja son relativamente bajos, razón por la cual deben comprar esta materia prima a países del extranjero para poder atender la demanda nacional (ver anexo 6).



Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank.

**Gráfico 27.** Precios internacionales del aceite de soja y de palma período 2002-2014. Cifras en (US\$/mt)

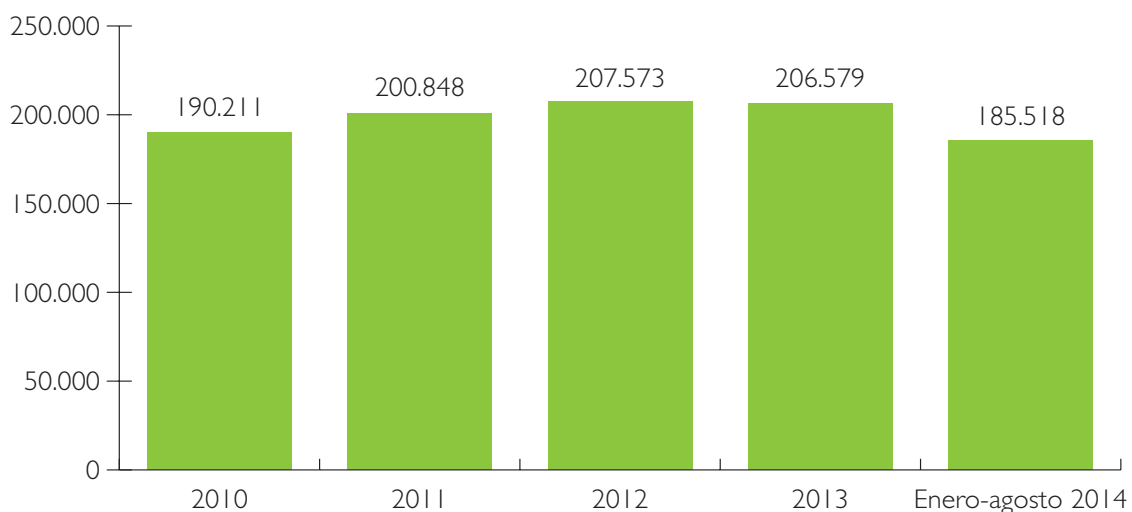


En el gráfico 27 se observan los precios nominales del aceite de soja y de palma desde el año 2002 hasta el 2014. Con respecto al precio del aceite de soja, se ha incrementado en \$454,75 dólares por tonelada métrica (US\$/mt) en 12 años. Estos precios, proporcionados por el Banco Mundial, aplican para el aceite de soja crudo originario de cualquier país. Como se observa en los tres primeros años se presentó un crecimiento continuo y luego una leve caída en el 2005. A partir de este año el precio comenzó a subir considerablemente hasta sobrepasar la barrera de los US\$1000/ mt, en el año 2008. Sin embargo, en el año 2009 nuevamente se presentó una disminución que fue superada en el año siguiente. A partir del 2011 el precio empezó a caer hasta situarse en US\$909/mt en el 2014.

Tal como se observa en el gráfico 27, los precios del aceite de soja siempre han estado por encima de los precios del aceite de palma. En ese orden de ideas, el precio promedio del aceite de soja en este lapso fue de US\$865,53/mt, mientras que el del aceite de palma fue US\$716,95/mt. Este comportamiento de los precios impulsó el incremento de la demanda del aceite de palma, especialmente en el sector de energía y biocombustibles en países de la Unión Europea. No obstante, en términos de precios, el aceite de soja no ha representado una amenaza fuerte para el aceite de palma.

### Análisis del mercado nacional del aceite de soja

Durante el período 2003-2013, Colombia ocupó la posición No. 8 de los mayores productores de aceite de soja en América con una producción promedio de 67.255 toneladas por año. Se destaca también que durante dicho período se evidenció un comportamiento decreciente en la producción de este aceite, y registró una tasa de crecimiento negativa de 26%.



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda.

**Gráfico 28.** Cantidad importada de aceite de soja en bruto año 2010 - enero-agosto de 2014. Cifras en toneladas

Para analizar las importaciones de aceite de soja realizadas en Colombia se empleó la base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda. y la subpartida arancelaria 1507100000, correspondiente a aceite de soja (soya) y sus fracciones, incluso refinado, pero sin modificar químicamente (aceite en bruto, incluso desgomado).

En el gráfico 28 se observa que durante el período comprendido entre el año 2010 y agosto de 2014 las cantidades de aceite de soja importadas en Colombia oscilaron entre 190.211 y 207.573 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. Los proveedores que se registran en la base de datos se mantienen, en su mayor parte, durante todos los años analizados, lo que evidencia una relación de fidelidad entre el cliente y la empresa que puede ser producto de alianzas con los proveedores, precios y descuentos especiales, buena calidad de la materia prima, entre otros (anexo 7).

Las tablas 12 y 13 presentan los países de origen y los países de procedencia de las importaciones realizadas por Colombia<sup>8</sup>. Argentina, Bolivia y Estados Unidos son los principales países en los cuales se ha producido el aceite de soja que se importó a Colombia durante el período analizado (ver tabla 12). Desde el año 2010 hasta el 2012, Argentina fue el país que obtuvo el liderazgo en la producción; sin embargo, a partir del 2013 hasta agosto del 2014, la mayor cantidad del aceite de soja que importaron las empresas ubicadas en Colombia fue elaborado en Bolivia (ver tabla 12).

**Tabla 12.** País de Origen de las importaciones realizadas empleando la subpartida arancelaria 1507.10.00.00.

Año/ País de origen	Argentina	Bolivia	EE.UU.	Brasil	Paraguay	Perú	España	Venezuela
2010	49%	43%	5%	3%	-	-	-	-
2011	39%	27%	32%	-	1,14%	0,10%	-	-
2012	51%	39%	9%	1%	-	-	0,00001%	-
2013	15%	69%	16%	-	-	-	-	0,42%
Enero-agosto 2014	6%	75%	19%	-	-	-	-	0,05%

Fuente: Elaboración propia.

<sup>8</sup> Según la cartilla de declaración de importación, expedida por la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN, el país de origen hace referencia a donde fueron producidas, cultivadas, manufacturadas, elaboradas o extraídas las mercancías objeto de importación. El país de compra indica el territorio donde se realizó la operación de compra de la mercancía y el país de procedencia es en el cual fue embarcada la mercancía.

**Tabla 13.** País de Procedencia de las importaciones realizadas empleando la subpartida arancelaria 1507.10.00.00.

Año/ País de Procedencia	Argentina	Bolivia	EE.UU.	Brasil	Perú	Panamá	Venezuela	Alemania	Islas Caimán	Uruguay
2010	65%	4%	6%	3%	21%	0,42%	-	-	-	-
2011	48%	7%	32%	-	13%	-	-	-	-	-
2012	62%	12%	9%	1%	16%	-	-	0,00001%	0,14%	-
2013	36%	16%	16%	-	31%	-	0,42%	-	-	0,53%
Enero-agosto 2014	25%	19%	19%	-	36%	-	0,05%	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se observa que la mayor cantidad de toneladas fueron embarcadas desde Argentina (2010-2013), pero en el período de enero hasta agosto de 2014, se despachó desde Perú el mayor porcentaje de aceite de soja.

La tabla 14 presenta una clasificación general de las empresas proveedoras del aceite de soja que importaron a Colombia en función de su actividad económica. Tal como se observa, los proveedores de aceite de soja poseen diversas actividades económicas que van desde el cultivo, cosecha y procesamiento de oleaginosas hasta el comercio de los productos finales. También existen otras que solo se dedican a comercializar aceites y grasas vegetales y animales, productos químicos, ácidos grasos, entre otros. Es importante destacar que todas estas empresas atienden industrias alimenticias y no alimenticias, es decir, que el aceite de soja que venden no solamente es destinado para consumo humano, sino también es de uso industrial.

**Tabla 14.** Clasificación de acuerdo a la actividad económica de los proveedores de aceite de soja.

Clasificación	Actividad económica
Grupo 1	Compañías multinacionales líderes en el agro negocio y en la industria de alimentos. Operan de manera integrada toda la cadena de suministro de las semillas oleaginosas desde la producción y cosecha en el campo, procesamiento y refinación de aceites y grasas vegetales hasta el comercio al por menor de los mismos.
Grupo 2	Compra y procesamiento de semillas oleaginosas y la posterior comercialización de los productos que se obtienen a partir de estas, tales como aceites vegetales, harinas, alimentos para el ganado.
Grupo 3	Centro de recepción de su casa matriz de semillas oleaginosas, aceites vegetales, cereales, granos, entre otros, con el fin de comercializarlas posteriormente.
Grupo 4	Comercio internacional de oleaginosas, aceites vegetales, margarinas, granos, soja, entre otros.
Grupo 5	Distribuidoras de productos químicos, materias primas e insumos para la industria cosmética, panificadora, alimenticia, farmacéutica, plásticos, detergentes y de alimentación animal; aceites de origen vegetal y animal, ácidos grasos, alcoholes grasos saturados e insaturados, entre otros.
Grupo 6	Prestación de servicios de agenciamiento aduanero, transporte de carga, entre otras operaciones logísticas.

Fuente: Elaboración propia.

Las empresas ubicadas en Colombia que realizaron importaciones de aceite de soja durante el período de análisis se clasifican en cuatro categorías (tabla 15). La primera categoría comprende empresas que fabrican y distribuyen aceites y grasas para consumo humano, ya sea aceites vegetales líquidos envasados, margarinas, aceites sólidos, mantecas, entre otros; otras emplean el aceite de soja que compran para la industria panificadora, pastelerías, confiterías y restaurantes y para la producción de alimentos concentrados para animales. Es importante destacar que existen empresas que pertenecen a esta categoría que no solo producen y venden aceites sino que poseen otras unidades negocio como productos para el cuidado personal y la salud, productos de aseo del hogar, entre otros.

**Tabla 15.** 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, 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 el cuidado personal.
Grupo 4	Operadores logísticos.

Fuente: Elaboración propia.

La segunda categoría comprende subsidiarias de compañías multinacionales líderes en el mercado mundial del agro negocio y de la producción y comercialización de aceites y grasas vegetales. Estas sedes ubicadas en Colombia actúan como un centro de recepción de productos para su posterior comercialización en el país.

La tercera categoría incluye un grupo de empresas dedicadas únicamente a la comercialización de granos, aceites y grasas vegetales, y otros insumos, algunas de ellas operan bajo la modalidad de importación y comercialización.

Por último, la cuarta categoría comprende el grupo de empresas que prestan servicios logísticos para la importación y exportación de productos.

Con respecto a los medios de transporte empleados en las importaciones realizadas con la subpartida arancelaria 1507.10.00.00 correspondiente al aceite de soja en bruto se observa que la mayor cantidad de este producto se movilizó por vía marítima y tuvo como principal puerto de ingreso el puerto de Buenaventura, seguido del puerto de Barranquilla y pequeñas cantidades ingresaron por Cartagena y Santa Marta. Por vía aérea solo se transportaron pequeñas cantidades que no superaron las 0,2 toneladas de aceite de soja e ingresaron por el aeropuerto

de Medellín y de Bogotá. A partir del 2013 se ha empleado la vía terrestre para transportar este producto desde Venezuela, y la ciudad de ingreso de la mercancía ha sido Cúcuta.

### **Perspectivas del mercado de aceites vegetales según la FAO y la OCDE**

Según el informe de Perspectivas Agrícolas 2013-2022 de la FAO y la Organización para el Crecimiento y Desarrollo Económico - OCDE (2013), se espera que en los próximos años el precio de las semillas oleaginosas suba moderadamente así como el de los productos obtenidos a partir de estas. En particular, se proyecta un incremento en los precios de los aceites vegetales por la alta demanda para el consumo humano y para la producción de biocombustibles. Desde el año 2010 los aceites vegetales registraron precios elevados, los cuales se agudizaron por la sequía que se vivió en Estados Unidos durante el 2012 (FAO & OCDE, 2013).

Adicionalmente, se espera que para el año 2022 América reafirme su rol como principal exportador de semillas oleaginosas, China consolide su posición como el principal importador, y que la producción mundial de aceite vegetal se concentre en las regiones productoras de la actualidad: Malasia, Indonesia, China, Estados Unidos, Argentina, Brasil, Unión Europea e India. Se prevé que durante el período 2013-2022, el consumo de aceite vegetal comestible para la producción de biodiésel aumente de 11 millones de toneladas a 30 millones de toneladas por año.

Adicionalmente, se proyecta que en el 2022 el 46% de las importaciones de aceites vegetales estén concentradas en la Unión Europea, China e India. Se espera que en los próximos años Malasia e Indonesia mantengan las dos terceras partes del total de exportaciones de aceites vegetales y que Argentina llegue a ser el tercer mayor exportador, y destine el 66% de su producción al mercado internacional.

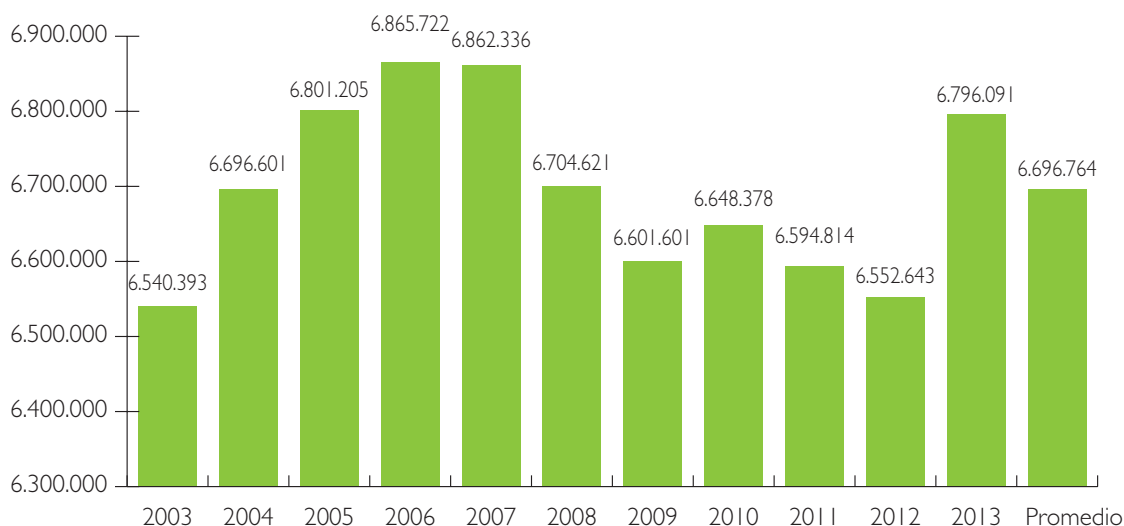
### **SEBO DE RES**

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. Históricamente, el sebo ha sido considerado como una materia prima de bajo valor (Nelson & Schrock, 2006). 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.

Según la FAO y la OCDE (2013), la cantidad de ganado en los principales países exportadores ha disminuido, situación que limita al mercado de la carne de vacuno. De este modo, se proyecta para el período 2013-2022 un incremento en los precios de la carne como consecuencia del lento crecimiento en su producción, que se originaría a su vez por los altos costos de producción y por la creciente demanda. Por tanto, una disminución en los niveles de producción de la carne vacuna conduce a una disminución en la producción de sebo, tal como se ha evidenciado en los últimos años y sobre lo cual se hará referencia en el siguiente apartado.

## Análisis del mercado internacional del sebo de res

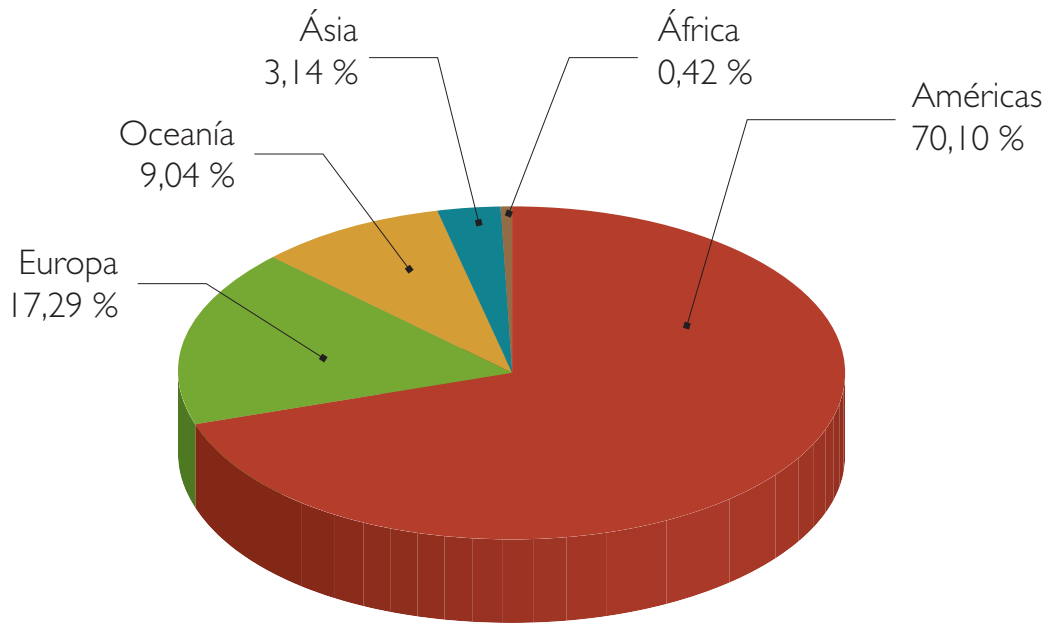
La producción mundial de sebo en el período 2003-2013 ha fluctuado entre 6.540.393 y 6.865.722 toneladas (gráfico 29). Se destacan los años 2003 y 2006, porque presentaron la menor y mayor producción de sebo, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos: FAOSTAT s.f.e.

**Gráfico 29.** Producción mundial de sebo período 2003-2013. Cifras en toneladas

En términos generales, la producción mundial de sebo mostró una tendencia al alza entre los años 2003 y 2006, pero a partir de este último año dicha tendencia se revirtió manteniéndose así hasta el año 2009. En el 2010, se registró una leve recuperación, opacada por una caída en los niveles de producción en los dos años siguientes. Posteriormente, en el 2013, la industria del sebo adquirió un mayor dinamismo, lo que se hizo evidente en el incremento de la producción cercano al 4% con respecto al año inmediatamente anterior. Cabe resaltar que este ha sido el crecimiento más alto registrado en la década 2003-2013. La tasa de crecimiento promedio interanual en el período analizado fue 0,40%, una cifra bastante insignificante, por lo que puede afirmarse que la producción mundial de sebo no ha tenido una tendencia positiva en los últimos años.

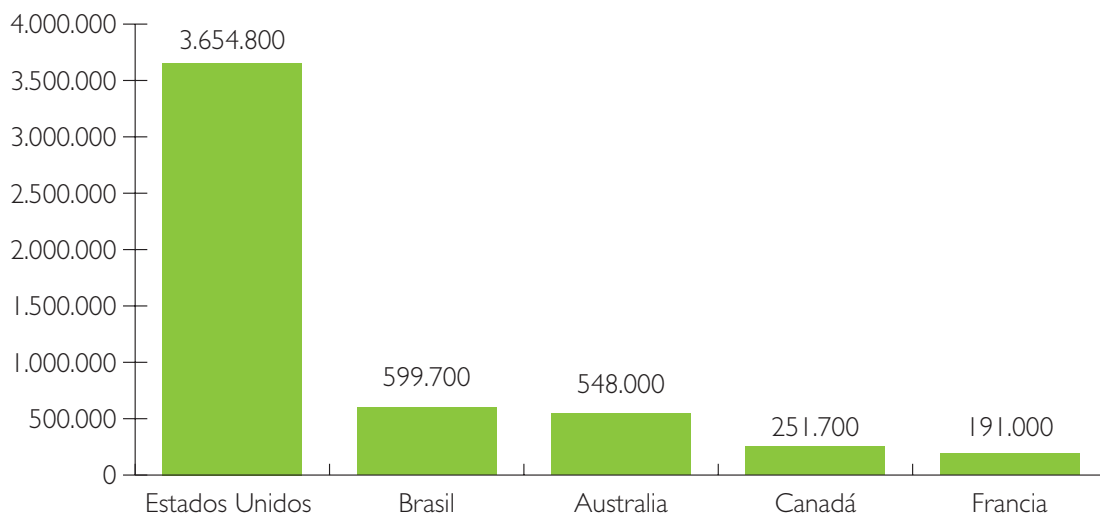


Fuente: FAOSTAT s.f.e. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QP/S>.

**Gráfico 30.** Proporción de producción de sebo por continente período 2003-2013

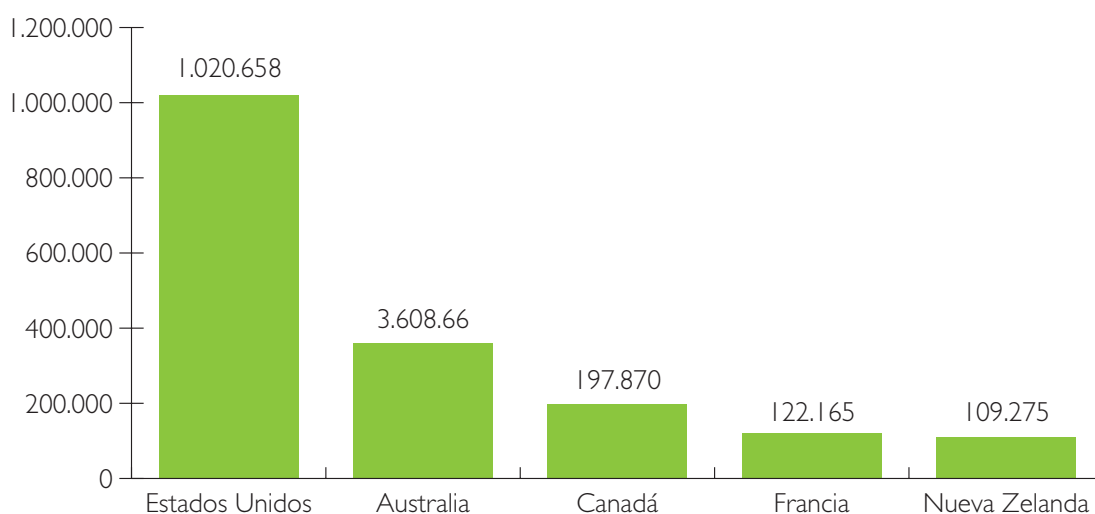
Las cifras presentadas en el gráfico 30 ponen de manifiesto que durante el período 2003-2013, aproximadamente las tres cuartas partes de la producción mundial de sebo se concentraron en el continente americano, mientras que el resto de la producción se registró en Europa y Oceanía y en un menor porcentaje en Asia y África. En cuanto a los países, en el año 2013, los mayores productores de sebo fueron: Estados Unidos, Brasil, Canadá, Argentina y México, por parte de América; Francia, Reino Unido y Países Bajos, en Europa; Australia y Nueva Zelanda en Oceanía; India en el continente asiático, y Sudáfrica en representación del continente africano.

De acuerdo al gráfico 31, los cinco mayores productores de sebo a nivel mundial se encuentran en América, Oceanía y Europa. No obstante, es importante destacar que la producción mundial de sebo está prácticamente concentrada en los países americanos; por ejemplo, solo la producción promedio de Estados Unidos (2003-2013) representa el 61% del promedio mundial en ese mismo período.



Fuente: FAOSTAT s.f.e. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QP/S>.

**Gráfico 31.** Principales países productores de sebo año 2013. Cifras en toneladas



Fuente: FAOSTAT s.f.f. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/S>.

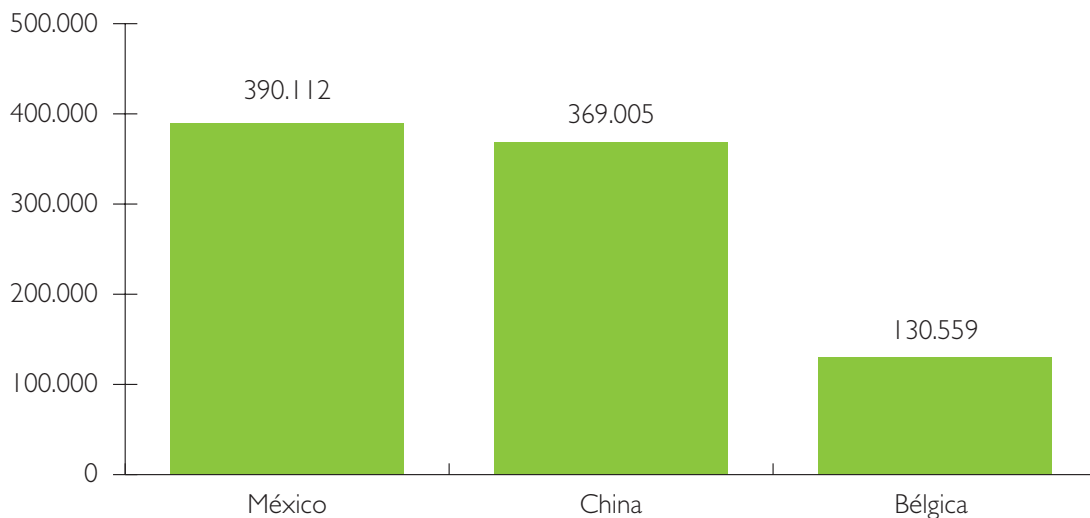
**Gráfico 32.** Exportaciones promedio de sebo período 2003-2012. Cifras en toneladas

Estados Unidos no solo es el principal productor de sebo en el mundo, sino también el mayor exportador con un promedio anual de 1.020.658 toneladas (entre el período 2003-2012), lo cual representa cerca del 27% de su producción promedio en este mismo período de tiempo. Australia que está en el tercer lugar de producción de sebo, ocupa el segundo puesto en cuanto a ex-



portaciones. En este país, el 76% de su producción promedio anual durante el período analizado se destinó al mercado internacional. Por su parte, Canadá y Francia, en promedio, exportaron cada año el 68% y 65%, respectivamente, mientras que Nueva Zelanda exportó el 62%. En definitiva, los países antes mencionados se caracterizan por destinar más de la mitad de su producción nacional de sebo a los mercados internacionales. Este comportamiento no se evidencia en Brasil y Argentina, que si bien están en la lista de los principales productores no tienen un peso significativo en el ranking de los países exportadores de este producto. Por ejemplo, en el caso de Brasil 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 un importador de esta materia prima (Ruitenbergh, 2013).

A lo señalado anteriormente se agrega que México, China y Bélgica son los tres principales importadores de sebo durante el período de análisis.



Fuente: FAOSTAT s.f.f. <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/S>.

**Gráfico 33.** Importaciones promedio de sebo período 2003-2012. Cifras en toneladas

Los países que se observan en la tabla 16 son los mayores productores de sebo de cada continente. No obstante, algunos de ellos destinan porcentajes ínfimos al mercado internacional razón por la cual fueron descartados como posibles proveedores. En el anexo 8 se describen en detalle las cantidades exportadas, importadas y destinadas al consumo interno de cada país.

En el período comprendido entre el año 1996 y el 2006 el precio de una tonelada de sebo era más bajo en comparación con el de una tonelada de aceite de soya y de colza, y no existía ninguna relación entre los precios de los aceites y grasas y los combustibles. Sin embargo, a partir del año 2007, los precios de los aceites y grasas empezaron a mostrar tendencias diferentes como consecuencia del vínculo que se estableció entre el mercado de aceites y los biocombustibles (Caparella, 2013). Así, por ejemplo, según un informe publicado por Oil World (consultora de

oleaginosas y aceites y grasas con sede en Hamburgo), en 1998 una tonelada de sebo costaba USD\$ 446, mientras que en el 2012 el precio se incrementó a USD\$ 1.085.

**Tabla 16.** Potenciales proveedores de sebo.

Continente	“Potenciales proveedores de sebo”	Países descartados como proveedores de sebo
América	Estados Unidos	Venezuela
	Canadá	México
	Uruguay	Brasil
	Argentina	
	Paraguay	
Oceanía	Australia	
	Nueva Zelanda	
Europa	Francia	Países Bajos
	Alemania	
	Irlanda	
	Reino Unido	
Asia		China (incluyendo a Taiwán)
		India
África		Sudáfrica

Fuente: Elaboración propia.

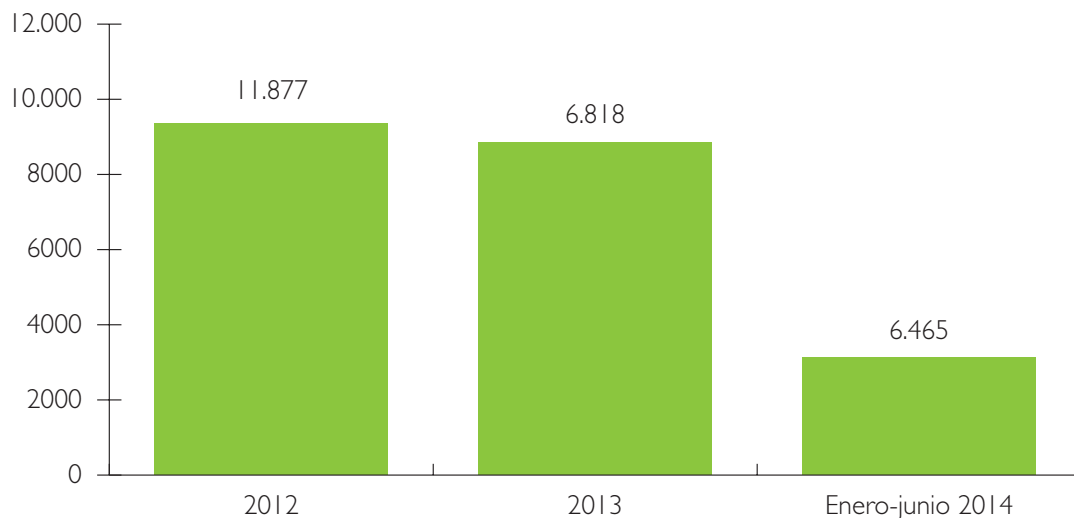
Según esta consultora, el precio del sebo ha sido “inusualmente alto” como consecuencia del estancamiento en su oferta mundial y por el creciente uso de este producto como materia prima para producir biodiésel. En el 2012, el uso mundial de sebo para generar biodiésel alcanzó las 1,6 millones de toneladas frente al millón de toneladas empleadas en 2010 (Ruintenberg, 2013). Hay quienes afirman que el sebo se ha convertido en una materia prima mucho más costosa que los demás aceites (Caparella, 2013). Otra de las razones que ha influido en el aumento del precio del sebo es una disminución en su oferta, la cual se originó por una política implementada por la Unión Europea que sostiene que cada litro de biodiésel producido a partir de aceites de cocina usado o de sebo se cuenta como dos litros al momento de cumplir con los mandatos de producción de este biocombustible.

Según la FAO y la OCDE (2013) se espera que en los próximos años, el precio de la carne bovina se mantenga elevado, como consecuencia de la disminución de sus inventarios y de los altos costos de producción y del forraje. Sin embargo, si en el largo plazo se incrementa el número de cabezas de ganado, se espera que el precio de la carne disminuya un poco y por ende el precio del sebo también.

### Análisis del mercado nacional del sebo

Según la FAO, durante el año 2003 y el 2013 la producción promedio de sebo en Colombia fue 13.564 toneladas por año, cifra que equivale al 0,27% de la producción promedio de sebo de todos los países americanos. Adicionalmente, en 10 años la tasa de crecimiento interanual 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 que lo convierta en una materia prima alternativa para la producción de biodiésel.

A través de la base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda., se obtuvieron las importaciones de sebo desnaturalizado realizadas en Colombia desde enero de 2012 hasta julio de 2014<sup>9</sup>. La subpartida arancelaria de este producto fue consultada en la página web de la DIAN en el enlace MUISCA<sup>10</sup>.



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda.

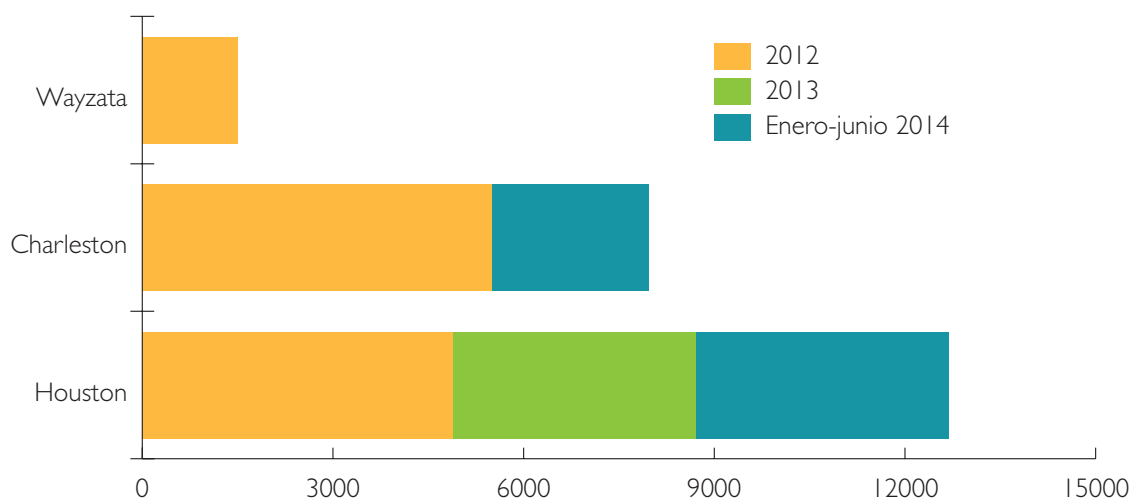
**Gráfico 34.** Cantidad importada de sebo desnaturalizado año 2012-Enero-Junio 2014. Cifras en toneladas

Según el gráfico 34, las cantidades importadas de sebo desnaturalizado en el período de análisis oscilaron entre 6.000 y 11.000 toneladas por año.

<sup>9</sup> Durante los años 2010 y 2011 no se registraron importaciones de este producto.

<sup>10</sup> Subpartida arancelaria 1502101000, cuya descripción corresponde a: Grasas y aceites animales o vegetales; productos de su desdoblamiento; grasas alimenticias elaboradas; ceras de origen animal o vegetal. Grasas de animales de las especies bovina, ovina o caprina, excepto las de la partida 15.03. Sebo: desnaturalizado. 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 cifras de importaciones en el período analizado.

Los proveedores de las importaciones de sebo desnaturalizado en el período analizado se encuentran ubicados en Estados Unidos, específicamente de las ciudades de Charleston, Carolina del Sur; Houston, Texas, y Wayzata, Minnesota. Durante el período 2012 - primer semestre de 2014, la mayor cantidad de importaciones provinieron de la ciudad de Houston, Texas, con un total de 12.691 toneladas de sebo desnaturalizado (ver gráfico 35).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda.

**Gráfico 35.** Importaciones de sebo desnaturalizado por ciudad proveedora. Cifras en toneladas

Las empresas que proveyeron sebo desnaturalizado a Colombia en el período analizado son empresas cuya actividad económica está orientada a procesar, importar y exportar productos agrícolas tales como el sebo, la grasa amarilla, aceites y grasas animales, y aceites vegetales.

En el anexo 9 se encuentra un listado de posibles empresas proveedoras de sebo ubicadas en los países que fueron seleccionados como potenciales exportadores de sebo. Adicionalmente, en el anexo 10 se presenta una lista de empresas colombianas que procesan y comercializan diversos tipos de sebo tales como: sebo RBD, sebo jabonero, centrifugado tipo comestible, entre otros; subproductos de la carne bovina como harina de carne; aceites y, grasas vegetales y animales. De acuerdo a la base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda., las empresas proveedoras de sebo ubicadas en Colombia no registraron importaciones de ningún tipo de sebo en el período de enero de 2010 hasta julio de 2014. Tampoco realizaron exportaciones de algún tipo de sebo o grasa animal en dicho lapso, lo cual indica que el sebo producido en Colombia está destinado en su totalidad para el consumo interno.

Las empresas importadoras de sebo desnaturalizado, ubicadas en Colombia, durante el 2012 y el primer semestre de 2014 son compañías cuya actividad económica está enfocada en la producción de alimentos, productos para el cuidado del hogar y personal, específicamente jabones

para lavar loza y ropa, jabones de tocador, detergentes, desodorantes, cremas dentales, champús, entre otros productos de higiene y limpieza.

## **ACEITE DE COCINA USADO**

### **Análisis del mercado internacional del aceite de cocina usado**

Una de las materias primas alternativas que ha despertado un mayor interés por parte de los productores de biodiésel es el residuo de aceites comestibles, denominado UCO por sus siglas en inglés (Used Cooking Oil), y que corresponde a los aceites animales o vegetales que han sido empleados previamente en restaurantes o cocinas domésticas para la preparación de alimentos y que no son aptos para el consumo humano<sup>11</sup> (Gui et al., 2008).

Anteriormente el UCO era utilizado como ingrediente en la elaboración de alimentos para animales, pero desde el año 2002 la Unión Europea prohibió este uso ya que durante la fritura se generan muchos componentes perjudiciales para la salud animal y para el resto de la cadena alimenticia (Cvengroš & Cvengrošová, 2004). En contraste, ciertos países han empezado a establecer medidas orientadas a estimular la utilización del aceite de cocina usado para la producción de biodiésel. Estados Unidos, por ejemplo, ha establecido incentivos económicos y tributarios al biodiésel que se produce a partir del UCO. Mientras que la Unión Europea le otorgó al biodiésel elaborado con UCO el beneficio de “conteo doble”, es decir, que cada litro de biodiésel elaborado a partir de esta materia prima vale por dos litros al momento de determinar el cumplimiento del mandato de producción de este biocombustible (PAER, s.f.).

El 80% del aceite de cocina usado se genera en los hogares (Talebian-Kiakalaieh et al., 2013). No obstante, en la mayoría de los países no existe un método sistemático para la recolección efectiva del UCO, a lo que se suma la ausencia de una conciencia ecológica en la mayoría de las personas. El proceso de eliminación de este tipo de aceites representa un serio problema para el medio ambiente, pues frecuentemente en los hogares y restaurantes el aceite usado se arroja por los desagües y esto contamina las fuentes de agua, destruye ecosistemas acuáticos y terrestres, afecta la salud de los animales y del ser humano. Por lo tanto, darle un uso alternativo a este aceite genera un beneficio doble, pues no solo ayuda a reducir la carga del gobierno y de empresas privadas para eliminar residuos de las fuentes de agua, sino que también contribuye a mejorar la red de mantenimiento de los alcantarillados, el tratamiento de aguas con alto contenido de grasas, y por último aporta a la disminución del costo de fabricación del biodiésel de manera significativa (Refaat, 2010).

<sup>11</sup> Es importante destacar que el aceite de cocina usado es clasificado de acuerdo a los ácidos grasos libres que posee. Así, cuando el contenido de ácidos grasos libres (FFA, por sus siglas en inglés) es menor a 15% se denomina grasa amarilla y si es mayor a 15% se conoce como grasa marrón (Canakci & VanGerpen, 2001). La grasa amarilla es producida por empresas que realizan procesos de rendering y generalmente se compone de aceite de cocina usado que a su vez puede contener grasas animales como sebo, aves de corral o manteca de cerdo (Pacific Alternative Energy Resource LLC [PAER]). En ese orden de ideas, los usos frecuentes del UCO son: obtener grasa amarilla, servir de componente de la mezcla del combustible para hornos y calderas y últimamente se ha estado empleando como materia prima para la producción de biodiésel (PAER, s.f.).

La producción de aceite de cocina usado varía en cada país, dependiendo de la utilización de aceites vegetales y animales para preparar alimentos. Sin embargo, lo claro es que existe una tendencia al alza que se deriva del incremento de la población y del consecuente incremento en el consumo de alimentos. Anualmente se generan, aproximadamente, más de 15 millones de toneladas de UCO (Gui et al., 2008). En la tabla 17 se muestra la producción de algunos países y grupos económicos.

**Tabla 17.** 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: Gui et al., 2008; Yaakob, Mohammad, Alherbawi, Alam y Sopian, 2013.

Alrededor del mundo existen empresas que prestan servicios para la recolección del aceite de cocina usado, actividad que realizan a través de la instalación de trampas de grasas en las cocinas de restaurantes o de tambores en donde se deposita el UCO para que luego lo recojan flotas de transporte especializadas.

En Estados Unidos existe la National Renderers Association - NRA, organización de la industria del reciclaje, ubicada en Alexandria (Virginia), la cual promueve el uso de los subproductos animales y de los aceites y grasas usados. Esta organización cuenta también con sedes en México y Hong Kong, y tiene consultores de mercados en Bruselas, China, Tailandia, Vietnam y Chile. Según la NRA, en Estados Unidos se reciclan anualmente alrededor de 59.000 millones de libras de material perecedero con el objetivo de producir jabones, pinturas, cosméticos, alimentos para animales, biocombustibles, entre otros. Las empresas que pertenecen a la NRA se caracterizan por realizar procesos de rendering a partir del cual se funde la grasa compacta (para el caso del procesamiento del sebo) y el aceite de cocina usado se somete a un tratamiento especial con el fin de disminuir el contenido de AGL, con lo cual se obtiene la grasa amarilla.

A partir de los procesos de rendering, cada año en Estados Unidos se producen 11.200 millones de libras de proteína derivada de los animales y 10.900 millones de libras de grasa fundida de

las cuales el 14% equivale a la producción de grasa amarilla (es decir, 1.500 millones de libras) (ver tabla 18).

**Tabla 18.** Grasa producida anualmente por la industria de rendering en Estados Unidos.

Fats	Quantity Produced
Edible Tallow	1,8 billion pounds
Inedible Tallow	3,9 billion pounds
Lard	0,3 billion pounds
Yellow Grease	1,5 billion pounds
Other Grease	1,2 billion pounds
Poultry Fat	1,2 billion pounds
Fats Used in pet food*	1,0 billion pounds
Total	10,9 billion pounds

Fuente: U.S. Census Bureau Current Industrial Report M31 IK, 2005 (citado por Hamilton, 2006).

Según la NRA, de los 10.900 millones de libras de grasa procesadas anualmente, entre el 3% y el 8% se emplea para producir biodiésel, lo que generan de 43 a 116 millones de galones de este biocombustible. Se dice que por cada 7,6 libras de grasa se obtiene un galón de biodiésel (NRA, s.f.a).

En el anexo 11 se presentan un listado de empresas que pueden llegar a ser proveedores de aceite de cocina usado, sus nombres fueron obtenidos a partir del Membership Directory elaborado por la NRA cuya última actualización fue en septiembre de 2014 (NRA, s.f.b). Estas empresas se caracterizan porque sus actividades económicas consisten en la recolección y reciclaje de aceite de cocina usado originado en los hogares, restaurantes, casinos, colegios, panaderías, cafeterías, entre otros, y de los subproductos de la carne. Muchas de estas empresas también ofrecen trampas de grasas para recolectar el UCO de las cocinas de restaurantes, así como servicios de limpieza y mantenimiento para las mismas.

Tal como se observa en la tabla 19, el aceite de cocina usado es la materia prima más económica para producir biodiésel, cuesta de dos a tres veces menos que el aceite vegetal fresco. En este sentido, si se emplea el aceite de cocina usado en la producción del biodiésel, su costo de fabricación se puede reducir entre un 60% y un 90% (Talebian-Kiakalaieh et al., 2013).

Sin embargo, los datos de producción mundial de este tipo de aceite y los requerimientos de calidad del combustible diésel, indican que el biodiésel que se obtiene a partir de UCO no podría sustituir el diésel por completo, pero ayudaría a disminuir la dependencia de los combustibles a base de petróleo (Kulkarni & Dalai, 2006). Uno de los inconvenientes de la utilización del UCO es el alto grado de impurezas que posee, pues contiene abundantes AGL que conducen a saponificación y liberación de agua que puede producir una hidrólisis, lo cual afecta la calidad

y el rendimiento del biodiésel que se obtiene. Por tal razón, se requiere de procesos previos a la transesterificación tales como limpieza, filtrado y purificación del aceite usado.

**Tabla 19.** 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 c; USDA/FAS.

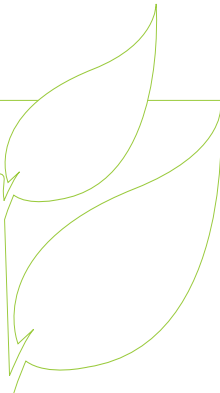
### Análisis del mercado nacional del aceite de cocina usado

En Colombia, así como en la mayoría de los países, el aceite empleado para freír alimentos resulta imprescindible tanto en las cocinas domésticas como en las industriales. Hoy día, los mayores generadores de UCO en el país son los restaurantes y los hogares de los colombianos, siguen en orden los hoteles y bares. No obstante, gran parte de los colombianos no le da un manejo correcto al aceite de cocina usado. Las principales razones de ello se centran en 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, se destaca la inexistencia de un sistema de recolección, transporte, almacenamiento y disposición final del aceite de cocina usado, lo que como sí ocurre con los residuos sólidos, y por la poca cultura ambiental de la mayor parte de la población colombiana (Solarte & Vargas, 2013).

Por otra parte hay que destacar que la Asociación Colombiana de Aceites y Grasas Comestibles (ASOGRASAS), ha denunciado que desde el año 2008 existe en Colombia el llamado “cartel pirata del aceite” o “el mercado negro del aceite”, el cual consiste en un gremio informal que se encarga de comprar el UCO generado en hoteles, restaurantes, panaderías, entre otros, para posteriormente procesarlo químicamente con el fin de devolverle la transparencia, alterando muchas de sus propiedades. Finalmente, este aceite es revendido, especialmente en barrios populares de las ciudades.

Este “cartel del aceite” también origina problemas económicos y sociales, ya que aproximadamente el 20% de la venta de aceites comestibles en Colombia es ilegal, es decir, que 1 de cada 5 aceites que se venden en el país provienen de esta industria clandestina. 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, 2013).





En Colombia no hay evidencias de legislaciones que regulen el aceite de cocina usado como materia prima para la generación de biodiésel (Restrepo, 2012). Adicionalmente, en el país no existe una política de recolección y reciclaje del UCO, pero sí existen disposiciones legales que rigen a los grandes generadores de este aceite y se expresan en los Decretos 1594 de 1984 y el 3077 de 1997, y en la Resolución 2154 de 2012 en la que se establece el reglamento técnico que debe cumplir los aceites y grasas vegetales y animales que se procesen, envasen, almacenen, exporten, importen y/o comercialicen en el país y que estén destinados para el consumo humano.

En Colombia el mercado del aceite de cocina usado se ha explorado poco. No obstante, en los últimos años se han constituido empresas encargadas de recolectar el aceite usado de cocinas domésticas, restaurantes, casinos, colegios y de la industria hostelera en general, para posteriormente procesarlo y comercializarlo en el mercado, específicamente en el sector de biodiésel. Bogotá y Medellín<sup>12</sup> son las dos ciudades colombianas que han presentado iniciativas en la recolección y tratamiento del aceite de cocina usado con el fin de convertirlo en un producto apto para la producción de biodiésel. Es importante destacar que la mayoría de las empresas que tienen por actividad económica la recolección y procesamiento del UCO para venderlo a la industria del biodiésel, son españolas y el aceite que procesan es exportado a Europa.

En función de lo expuesto anteriormente, el aceite que desecha la industria hotelera y los hogares de los colombianos posee tres usos principales. En primer lugar, es arrojado por los desagües de las cocinas, lo que incrementa 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 de los ciudadanos y de los animales. 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. Pero como se mencionó anteriormente el UCO que es procesado legalmente no es empleado por la industria colombiana sino que se destina al mercado internacional.

Lo anterior obedece en gran parte, a que el mercado potencial (productores de biodiésel) y las universidades del país cuentan con incipientes programas de investigación, desarrollo e innovación orientados a la producción de biocombustibles a partir de materias primas de segunda generación (por ejemplo, aceite de cocina usado), y a la recolección, procesamiento y usos alternativos del aceite de cocina usado. En definitiva, en Colombia la producción de biodiésel a partir de UCO se encuentra en una fase investigativa y de pruebas experimentales en plantas piloto. Por esta razón, la producción comercial de este biocombustible emplea principalmente el aceite de palma.

Un estudio de mercado de un proyecto sobre el reciclaje del aceite de cocina usado para obtener biodiésel llevado a cabo por los estudiantes de la Universidad Nacional en el año 2013, perte-

---

<sup>12</sup> Empresas recolectoras y procesadores de UCO en Colombia: Biogras S.A.S., Coindagro y Bioils ubicadas en Bogotá. Ecogras en Medellín.

recientes a las facultades de Ingeniería Civil e Ingeniería Química, reveló que las empresas de frituras podrían vender a un precio de \$800 pesos colombianos cada litro de UCO (Agenda de Noticias UN, 2013). Mientras que el precio al cual podría venderse el aceite de cocina usado (después de ser sometido a procesos de tratamiento y purificación) para la producción de biodiésel oscilaba entre \$1.660/litro y \$1.770/kilo (Chaverra & Mercado, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, en principio se puede afirmar que el aceite de cocina usado constituye una materia prima prometedora para la producción de biodiésel, no solo por la reducción de costos que supone, sino también por los beneficios que otorga en términos de seguridad alimentaria y preservación del medio ambiente. Adicionalmente, y en el caso específico de Colombia, los beneficios del uso del UCO como materia prima para la producción de biodiésel se extienden hasta el ámbito de la salud pública, al evitar que los aceites usados se vuelvan a comercializar como aceites comestibles.

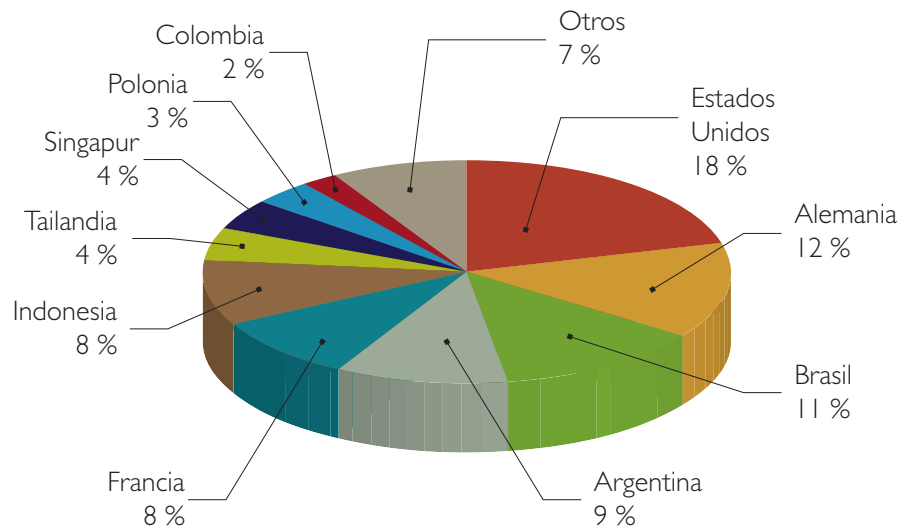
No obstante, cabe mencionar, que un criterio clave para emplear el UCO como materia prima en la producción de biodiésel, es la composición química de este aceite. En este sentido, el UCO que es recolectado de la industria hostelera, debe ser sometido a tratamientos químicos en plantas especializadas, 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.

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 existe 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.

Por último y no menos importante, es fundamental la labor del gobierno nacional en cuanto a la creación de estímulos tanto financieros como normativos orientados a potencializar la inversión y el crecimiento del sector del aceite de cocina usado en el país. Asimismo, es de gran relevancia para el mencionado sector, fortalecer las relaciones universidad-empresa-estado, con el fin de profundizar en los programas de investigación y 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.

## SEGUNDO ESLABÓN: PRODUCTORES DE BIODIÉSEL

En el año 2013, Colombia se ubicó en la posición No. 10 en el ranking de los principales países productores de biodiésel en el mundo con una producción de 600 millones de litros, aportando el 2% de la producción mundial (ver gráfico 36) (REN 21, 2014).



Fuente: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2014.

**Gráfico 36.** Top 16 de países productores de biodiésel a nivel mundial (2013)

Tal como se mencionó anteriormente el biodiésel que se produce en Colombia utiliza como principal materia prima el aceite de palma; sin embargo, para que se lleve a cabo el proceso de transesterificación es necesario abastecerse de otros insumos como los que se observan en la tabla 20.

**Tabla 20.** Materias primas y requerimientos energéticos para la producción de una tonelada biodiésel.

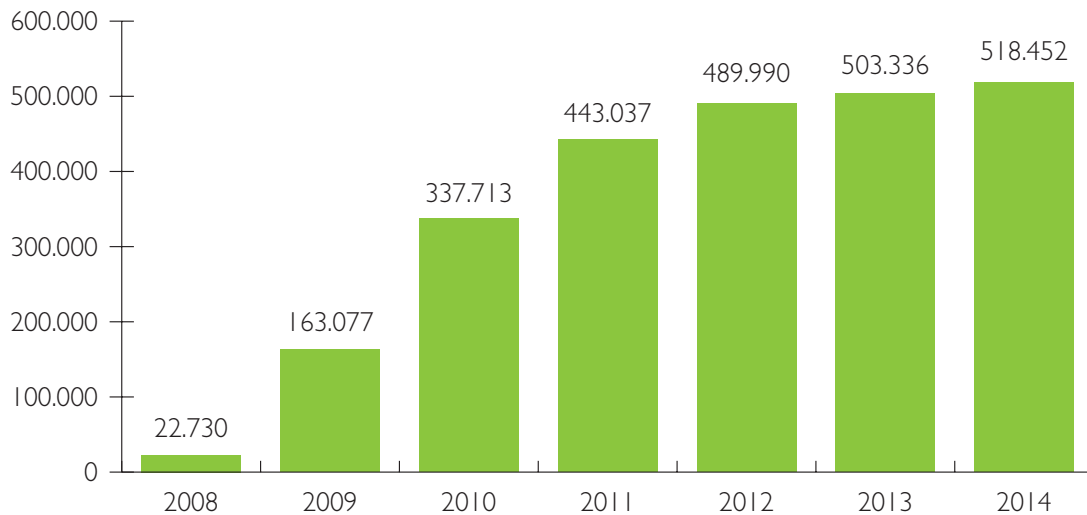
Entrada	Unidad	Escenario: "Promedio y optimizado"
Aceite RBD	ton	1,00
Metanol	kg	108,65
Métoxido de Sodio	kg	18,15
Ácido acético	kg	0,63
Ácido cítrico	kg	0,68
Ácido sulfúrico	kg	0,18
Ácido clorhídrico	kg	7,69
Hidróxido de Sodio	kg	0,48
N2 gas	m3	2,23
Ácidos grasos	kg	11,92
Electricidad de la red	kWh	28,18
Vapor	kg	361,42

Fuente: CUE, 2012.

Tanto el metanol como el etanol pueden ser usados para el proceso de transesterificación, pero la mayoría de las plantas de biodiésel emplean el metanol por ser menos costoso que el etanol. Además, en Colombia el etanol no puede competir como materia prima y biocombustible a la vez (Cardona, 2009).

### 5.1. Análisis de la producción de biodiésel en Colombia

En el año 2008 inició la producción industrial de biodiésel en Colombia empleando como materia prima el aceite de palma. En los tres primeros años (2008, 2009 y 2010) se presentaron las mayores tasas de crecimiento. Entre el año 2008 y 2009 se registró un incremento de la producción de biodiésel del 617%, mientras que entre el 2009 y 2010 el incremento de la producción fue del 107% (ver gráfico 37). Este incremento en los niveles de producción obedeció, en gran parte, a los estímulos financieros y tributarios que se establecieron en el país para incentivar la inversión en el sector biodiésel y a la disponibilidad de materia prima local (aceite de palma).



Fuente: Elaboración propia a partir de Fedebiocombustibles 2010, 2011, 2012, 2013b, 2014 a.

**Gráfico 37.** Producción de biodiésel de aceite de palma período 2008-2014. Cifras en toneladas

En los últimos tres años (2012, 2013 y 2014) la producción de biodiésel creció a un ritmo más lento que en los cuatro primeros años (ver gráfico 37). Entre el año 2010 y el 2011 el crecimiento que se registró fue de 31,18%, entre el 2011 y el 2012, 10,60%, y entre el 2012 y el 2013 se presentó un incremento del 2,72%. Para el año 2014, se había pronosticado un crecimiento en la producción de biodiésel equivalente al 3,63%, meta que no llegó a cumplirse, pues solo creció en un 3% con respecto al año 2013.

En la tabla 21 se presentan las plantas de biodiésel que se encontraban en funcionamiento durante el período 2008-2010. Las plantas Oleoflores S.A. en Codazzi, Cesar, y Odin Energy Ltda. en Santa Marta, Magdalena, fueron las primeras que entraron en funcionamiento. Posteriormente, en el primer semestre de 2009 empezaron operaciones Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A. en Santa Marta, y BioD S.A. en Facatativá, y en el segundo semestre de ese mismo año inició producción Aceites Manuelita S.A. Por su parte, Ecopetrol decidió realizar inversiones en la industria de los biocombustibles para ir acorde con la propuesta de diversificación energética y de mezclar fuentes no renovables con combustibles limpios. El proyecto de crear una planta productora de biodiésel por parte de Ecopetrol surgió en el año 2007, con la constitución de Eco diésel Colombia S.A., con un capital correspondiente al 50% de Ecopetrol y 50% de siete empresas del sector palmero del Magdalena medio. Esta planta inició su producción en junio de 2010.

Clean Energy S.A.S. se encontraba en construcción en el año 2009 y finalmente en junio de 2010 inició operaciones. En total, al finalizar el año 2010 se encontraban funcionando siete plantas productoras de biodiésel (ver tabla 21). Es importante destacar que inicialmente se tenía previsto que la planta Biocastilla de Castilla La Nueva (Meta) iniciaría producción en el segundo semestre de 2010, pero la resolución de inicio de operaciones fue otorgada en el año 2012.

La capacidad instalada en estos primeros tres años evolucionó satisfactoriamente, y esta fue una de las razones por las cuales la producción presentó un amplio crecimiento. En el 2008 solo dos plantas se encontraban produciendo biodiésel con una capacidad de 86.000 toneladas por año, pero en ese mismo año solo se produjeron 22.730 toneladas de biodiésel debido, entre otras razones, a que la cantidad de aceite de palma no era suficiente para cubrir la demanda de la industria del biodiésel ya que durante estos primeros años el mayor porcentaje estaba dirigido al mercado tradicional.

Sin embargo, entre 2008 y 2010 se registró un incremento del 500% en la capacidad instalada, que se originó por la puesta en marcha de nuevas plantas de transesterificación como, por ejemplo, Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A.; BioD S.A., Aceites Manuelita S.A. y Ecodiesel Colombia S.A., cada una con una capacidad instalada de 100.000 toneladas de biodiésel por año.

**Tabla 21.** Plantas de biodiésel en funcionamiento período 2008-2010

Año	Región	Plantas en funcionamiento	Capacidad (t/año)
2008	Norte, Codazzi	Oleoflores S.A.	50.000
	Norte, Santa Marta	Odin Energy Ltda.	36.000
	<b>Total</b>		<b>86.000</b>
2009	Norte, Codazzi	Oleoflores S.A.	50.000
	Norte, Santa Marta	Odin Energy Ltda.	36.000
	Norte, Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A.	100.000
	Oriental, Facatativa	Bio D S.A.	100.000
	Oriental	Aceites Manuelita S.A.	100.000
<b>Total</b>		<b>386.000</b>	
2010	Norte, Codazzi	Oleoflores S.A.	50.000
	Norte, Santa Marta	Odin Energy S.A.	36.000
	Norte, Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A.	100.000
	Oriental, Facatativa	Bio D S.A.	100.000
	Oriental, Meta	Aceites Manuelita S.A.	100.000
	Norte, Barranquilla	Clean Energy S.A.S.	30.000
	Barrancabermeja	Ecodiesel Colombia S.A.	100.000
<b>Total</b>		<b>516.000</b>	

Fuente: Elaboración propia. Datos: Mesa 2009, Fedebiocombustibles, 2010.

Entre el año 2011 y el 2013 la capacidad instalada presentó poco dinamismo. En el 2011 y el 2012 se mantuvo en 506.000 toneladas/año disminuyendo en 10.000 toneladas con respecto al año 2010 como consecuencia de la suspensión de las operaciones de la planta Clean Energy S.A. Sin embargo, en el 2013 ascendió a 581.000 toneladas/año (ver tabla 22). De forma adicional, en el

2013 entraron en funcionamiento las plantas: Biocastilla de Castilla La Nueva con 15.000 t/año; Romil de Colombia Zona Franca S.A.S. con 10.000 t/año, y Biodiésel de la Costa con 10.000 t/año, contribuyendo al incremento de la capacidad instalada total del año 2013 (ver tabla 22). El mejoramiento y optimización de procesos, la adquisición de nuevas maquinarias y las ampliaciones de las plantas de producción fueron elementos significativos que condujeron a este importante aumento.

**Tabla 22.** Plantas de biodiésel en funcionamiento período 2011 - enero a mayo de 2014.

Año	Región	Plantas en funcionamiento	Capacidad (t/año)
2011	Norte, Codazzi	Oleoflores S.A.	70.000
	Norte, Santa Marta	Odin Energy Ltda.	36.000
	Norte, Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A.	100.000
	Oriental, Facatativa	Bio D S.A.	100.000
	Oriental	Aceites Manuelita S.A.	100.000
	Barrancabermeja	Ecodiesel Colombia S.A.	100.000
<b>Total</b>			<b>506.000</b>
2012	Norte, Codazzi	Oleoflores S.A.	70.000
	Norte, Santa Marta	Odin Energy Ltda.	36.000
	Norte, Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A.	100.000
	Oriental, Facatativa	Bio D S.A.	100.000
	Oriental	Aceites Manuelita S.A.	100.000
	Barrancabermeja	Ecodiesel Colombia S.A.	100.000
<b>Total</b>			<b>506.000</b>
2013	Norte, Codazzi	Oleoflores S.A.	60.000
	Norte, Santa Marta	Odin Energy S.A.	36.000
	Norte, Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A.	100.000
	Oriental, Facatativa	Bio D S.A.	115.000
	Oriental, Meta	Aceites Manuelita S.A.	120.000
	Barrancabermeja	Ecodiesel Colombia S.A.	115.000
	Oriental, Meta	Biocastilla de Castilla La Nueva	15.000
	Norte, Barranquilla	Romil De Colombia Zona Franca S.A.S.	10.000
	Norte, Galapa	Biodiésel de la Costa	10.000
<b>Total</b>			<b>581.000</b>

Año	Región	Plantas en funcionamiento	Capacidad (t/año)
2014	Norte, Codazzi	Oleoflores S.A.	60.000
	Norte, Santa Marta	Odin Energy S.A.	36.000
	Norte, Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A.	100.000
	Oriental, Facatativa	Bio D S.A.	120.000
	Oriental, Meta	Aceites Manuelita S.A.	120.000
	Barrancabermeja	Ecodiesel Colombia S.A.	120.000
	Oriental, Meta	Biocastilla de Castilla La Nueva	15.000
	Norte, Barranquilla	Romil De Colombia Zona Franca S.A.S.	10.000
	Norte, Galapa	Biodiésel de la Costa	10.000
<b>Total</b>			<b>591.000</b>

Fuente: Elaboración propia. Fedebiocombustibles, 2011, 2012, 2013, 2014b.

A pesar de la mejora en el aprovechamiento a la capacidad instalada de las plantas de biodiésel, la oferta de este biocombustible aún no es suficiente para abastecer la demanda interna. En términos generales, puede decirse que el número y capacidad de plantas productoras de biodiésel todavía no es el adecuado y que persisten algunos inconvenientes relacionados con la cadena de suministro, entre ellos: la escasa capacidad de refinación del aceite de palma, las dificultades para transportar el biocombustible hasta los distribuidores (Franco, Flórez, & Ochoa, 2008), los altos costos de producción del aceite crudo de palma, los bajos niveles de productividad y rendimientos en la fase del cultivo de la palma, y la subutilización de la capacidad instalada en las plantas de extracción, entre otros (Millán, 2014).

El biodiésel en Colombia es empleado en los motores diésel como una mezcla con el diésel de petróleo o ACPM. El porcentaje de esta mezcla se representa con la letra B seguido del valor correspondiente. Esta proporción varía a través del tiempo dependiendo de la oferta, es decir, de los niveles de producción de biodiésel y de las decisiones que tome el Ministerio de Minas y Energía. En el 2008 comenzó a implementarse la mezcla de biodiésel con diésel fósil en la Costa Caribe específicamente en los departamentos de Atlántico y Bolívar con un porcentaje de B5. Con el transcurrir de los años este porcentaje empezó a expandirse a otros departamentos del país y a su vez se fue incrementando a B7 y B10.

Para el año 2010, en los departamentos de Cundinamarca, Casanare, Arauca, Vichada, Guainía, Meta, Guaviare, Vaupés y Amazonas se empleaba un porcentaje de mezcla de B7.

En Antioquia, Chocó, Valle del Cauca, Cauca, Eje Cafetero, Caquetá, Nariño, Santanderes, Boyacá y San Andrés y Providencia un porcentaje de B8. Y en Tolima, Huila, Putumayo y toda la Costa Caribe se comercializaba en las estaciones de servicio una mezcla de biodiésel con diésel fósil de B10.



La meta inicial del programa de biocombustibles en Colombia era alcanzar en el año 2010 un porcentaje de mezcla de B10 en todo el territorio colombiano, pero no se alcanzó. Para conseguir este objetivo, se requiere de la participación tanto del sector público como privado, no solo por la necesidad de contar con una política energética y agroindustrial, sino por los requerimientos en términos de infraestructura, capacitación y seguridad.

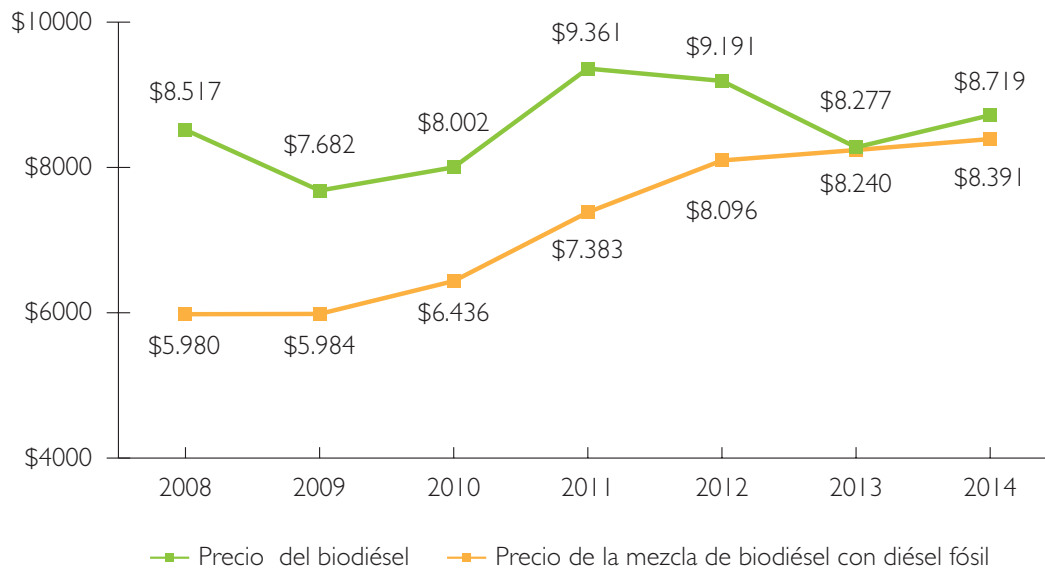
Para el año 2014 los departamentos de Santander, Antioquia, Chocó, Valle Del Cauca, Cauca, Nariño, Putumayo, Caquetá, Huila, Tolima, Eje Cafetero, San Andrés y Providencia, la Costa Caribe (exceptuando La Guajira) y Amazonas empleaban un porcentaje de mezcla de B10. En Boyacá, Cundinamarca, Casanare, Meta, Vaupés y Guaviare un porcentaje de B8 y en Norte de Santander, Arauca, Vichada y Guainía B2.

Aunque para el año 2014 no se logró cumplir la meta prevista del porcentaje de mezcla B10 en todos los departamentos del país, las perspectivas de Fedebiocombustibles indican que en el año 2020 se debe llegar a un porcentaje de B20 en mezcla de biodiésel con ACPM. Actualmente, el porcentaje está, en promedio, en 9,2% (8% en centro-oriente y 10% en el resto del país con excepción en las zonas de frontera con Venezuela) y se producen un poco más de 500.000 toneladas. Así que para alcanzar dicha meta es necesario duplicar la producción de biodiésel en un período de 5 años. Para lograrlo se están construyendo y ampliando varias plantas en el país: Biocastilla aumentará su capacidad instalada a 12.000 toneladas/año, una nueva planta en Santa Marta se está diseñando para producir 24.000 toneladas/año y 36.000 toneladas por parte de nuevas plantas pequeñas.

A pesar de estas proyecciones, el sector palmicultor ha manifestado cierta preocupación pues considera que el programa nacional de Biocombustibles se encuentra estancado. Un claro indicio de esto, es que no se ha homologado la mezcla de B10 en todo el territorio colombiano. Además, en varias regiones del país no se ha incrementado el porcentaje desde el año 2010, se mantiene en B10 y no se ha extendido esta mezcla a la minería que actualmente importa el combustible que utiliza. Según lo que afirman los representantes del sector palmero ya se encuentran sembradas las hectáreas de palma de aceite para alcanzar la meta de B20 en el 2020 y sí ha ocurrido una interrupción en el proceso gradual de incrementación del porcentaje de biodiésel con ACPM; lo más probable es que se presente una sobreoferta de aceite de palma, que genere una disminución en el precio, afectando la economía del sector palmicultor.

Una de las hipótesis que existe con respecto al estancamiento en los porcentajes de mezcla está relacionada con las posibles conformaciones de protestas o manifestaciones que se consolidan en los conocidos “paros camioneros” organizados por el gremio de los transportadores, quienes sostienen que los biocombustibles han encarecido el precio del ACPM. Por tanto, al incrementar los porcentajes de mezcla, se podrían elevar aún más dichos precios. Otra de las presunciones que existen es que el nivel de mezclas no ha presentado mayor variación por asuntos de cumplimiento de normas técnicas y porque el parque automotor del país aún no cuenta con la tecnología requerida para mayores porcentajes de mezcla del biodiésel con el ACPM.

Retomando el tema de los precios, el MME es la entidad encargada de regular los de los biocombustibles en Colombia. Según el Documento CONPES 3510 de 2008, como no existe un mercado de referencia para la definición de estos precios, el MME tiene en cuenta dos factores para su fijación: los costos de oportunidad de los productos complementarios y los de los usos alternativos de las materias primas empleadas en la producción, y los costos de eficiencia de la transformación de las materias primas. Los precios de los biocombustibles se fijan el primer día de cada mes y rigen hasta el último día del mes.



Fuente: Elaboración propia. Datos: Fedebiocombustibles s.f.

**Gráfico 38.** Precios promedios del biodiésel y de la mezcla con diésel fósil. Período 2008-2014. Cifras en pesos colombianos

En el gráfico 38 se pueden observar los precios promedio del biodiésel puro (B100), es decir, el valor que reciben los productores de este biocombustible por cada galón vendido. En el período comprendido entre el 2008 y 2014, estos precios han fluctuado entre \$7.600 y \$9.300 aproximadamente. Mientras que el precio de la mezcla del biodiésel con el diésel fósil es el que paga el consumidor final en las estaciones de servicio y en este mismo período ha oscilado entre \$5.900 y \$8.300, aproximadamente.

## 5.2. Comercio de biodiésel en Colombia

Para llevar a cabo el análisis de las operaciones de comercio exterior del biodiésel se empleó la subpartida arancelaria 3826.00.00.00 correspondiente a la mezcla de aceites vegetales sin aceites de petróleo o de mineral bituminoso o con un contenido de estos inferior al 70% de peso (biodiésel) y la base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda., que proporcionó información a partir del año 2010.

Durante los años 2010 y 2011 no se registraron importaciones correspondientes a la subpartida arancelaria del biodiésel y sus mezclas.

En el año 2012 se registró un total de importaciones de 15.320 kg equivalentes a 1,5 toneladas de biodiésel. En el año 2013 esta cifra disminuyó a 8,89 kg y en el primer semestre de 2014 las importaciones alcanzaron una cifra muy insignificante de 0,65 kg (ver tabla 23).

**Tabla 23.** Importaciones de biodiésel en Colombia período 2012-primer semestre de 2014.

Año	Importador	Ciudad	País proveedor	Ciudad proveedora	Proveedor	Forma de pago	Vía	Total peso neto (kg)
2012	C I Acepalma S.A.	Bogotá	Estados Unidos	Boston	World Asset Management LLC	Giro directo	Marítima	15.268,08
		Barranquilla	Estados Unidos	Miami	World Cargo Services INC	Importación que no genera pago al exterior	Marítima	16,00
		Barranquilla	Estados Unidos	Miami	World Cargo Services INC	Importación que no genera pago al exterior	Marítima	12,00
	Distrumédica S.A. Ltda.	Barranquilla	Estados Unidos	Miami	World Cargo Services INC	Importación que no genera pago al exterior	Marítima	3,00
		Barranquilla	Estados Unidos	Miami	World Cargo Services INC	Importación que no genera pago al exterior	Marítima	5,00
		Barranquilla	Estados Unidos	Miami	World Cargo Services INC	Importación que no genera pago al exterior	Marítima	16,00
<b>Subtotal</b>								<b>15.320,08</b>
2013	Distrumédica S.A. Ltda.	Barranquilla	Estados Unidos	Miami	World Cargo Services INC	Importación que no genera pago al exterior	Marítima	4,59
	Ecodiesel Colombia S.A.	Bucaramanga	Estados Unidos	Jefferson Hills PA	Clark Laboratories LLC	Importación que no genera pago al exterior	Aérea	3,20
	BioD S.A.	Bogotá	Corea del Sur	Yeosu	GS Bio Co Ltd.	Importación que no genera pago al exterior	Aérea	1,10
<b>Subtotal</b>								<b>8,89</b>

Año	Importador	Ciudad	País proveedor	Ciudad proveedora	Proveedor	Forma de pago	Vía	Total peso neto (kg)
2014	Polco S.A.S.	Antioquia	Estados Unidos	Shelton	Perkin Elmer Health Sciences INC	Giro directo	Aérea	0,50
	Polco S.A.S.	Antioquia	Estados Unidos	Shelton	Perkin Elmer Health Sciences INC	Giro directo	Aérea	0,10
	Polco S.A.S.	Antioquia	Estados Unidos	Shelton	Perkin Elmer Health Sciences INC	Giro directo	Aérea	0,05
<b>Subtotal</b>								<b>0,65</b>
<b>Total</b>								<b>15.329,62</b>

Fuente: Elaboración propia. Datos: Base de datos Sicex.

A partir de los datos consignados en la tabla 23, se infiere que las importaciones del biodiésel realizadas en Colombia pueden corresponder a pruebas de calidad del biocombustible, muestras del biodiésel producido en otros países y/o utilización del biodiésel como reactivos, ya que las cantidades importadas son relativamente pequeñas y la gran mayoría de estas importaciones se realizaron de tal forma que no generaron pago en el exterior. Las empresas que han suministrado el biodiésel que se ha importado en Colombia son prestadoras de servicio de pruebas de calidad, orientadas a la preservación del medio ambiente, conservación energética y salud humana, y laboratorios de pruebas de calificación y verificación de productos. El 99% de las importaciones provinieron de Estados Unidos, y el mayor porcentaje importado provino de la ciudad de Boston (99%), tan solo el 0,37% se envió desde la ciudad de Miami; el 0,02% de la ciudad de Jefferson y el 0,0042%, de Shelton. Finalmente, solo el 1% del total de importaciones realizadas en el período de análisis venían de la ciudad de Yeosu en Corea del Sur.

Las empresas que realizaron importaciones en Colombia son productoras y comercializadoras de aceites crudo de palma y sus derivados, glicerina; productoras de biodiésel a partir de aceite de palma; y empresas dedicadas a la comercialización de equipos de laboratorio y reactivos importados.

Con respecto a las exportaciones, de acuerdo a la información proporcionada por Sicex, durante el período 2010-2014 prácticamente no se registró ninguna exportación<sup>13</sup>, indicando con ello que el biodiésel que se produjo en el país se orientó a suplir la demanda interna.

<sup>13</sup> En el año 2013 se registró una exportación realizada por Ecopetrol S.A. hacia la ciudad de Tucson, Estados Unidos, pero en una cantidad muy pequeña indicando con ello que podría tratarse de una muestra del biodiésel que se produce en Ecodiésel Colombia S.A. y que fue enviada para ser analizada.

### 5.3. Retos del sector biodiésel en Colombia y atractivos para invertir en el sector

Uno de los aspectos que es prioritario para el desarrollo de la industria del biodiésel en el país es el incremento en el porcentaje de la mezcla de biodiésel con ACPM fósil, que requiere del apoyo gubernamental. Como se comentó anteriormente, la meta es llegar en el 2020 a una mezcla B20 en todo el territorio nacional, para lo cual desde hace algunos años se viene preparando el sector palmicultor y se dispone de suficientes áreas sembradas. De no lograrse dicho incremento, no solo se limitaría el crecimiento del sector de biodiésel en Colombia, sino que se generarían serios inconvenientes al sector palmicultor debido a una sobreoferta del cultivo de palma y se afectaría toda la cadena de suministro.

Por esa razón, es importante tomar medidas que permitan expandir el consumo interno de biocombustibles y fomentar la exportación de los excedentes a mercados internacionales potenciales como Estados Unidos, Unión Europea, Japón y Canadá. Sin embargo, este último aspecto está muy distante en el panorama nacional para varios analistas, si se tiene en cuenta que la disminución de las reservas de petróleo en Colombia probablemente estimulará una mayor demanda interna de biocombustibles y la producción se orientaría, en su mayor parte, para la satisfacción del mercado nacional.

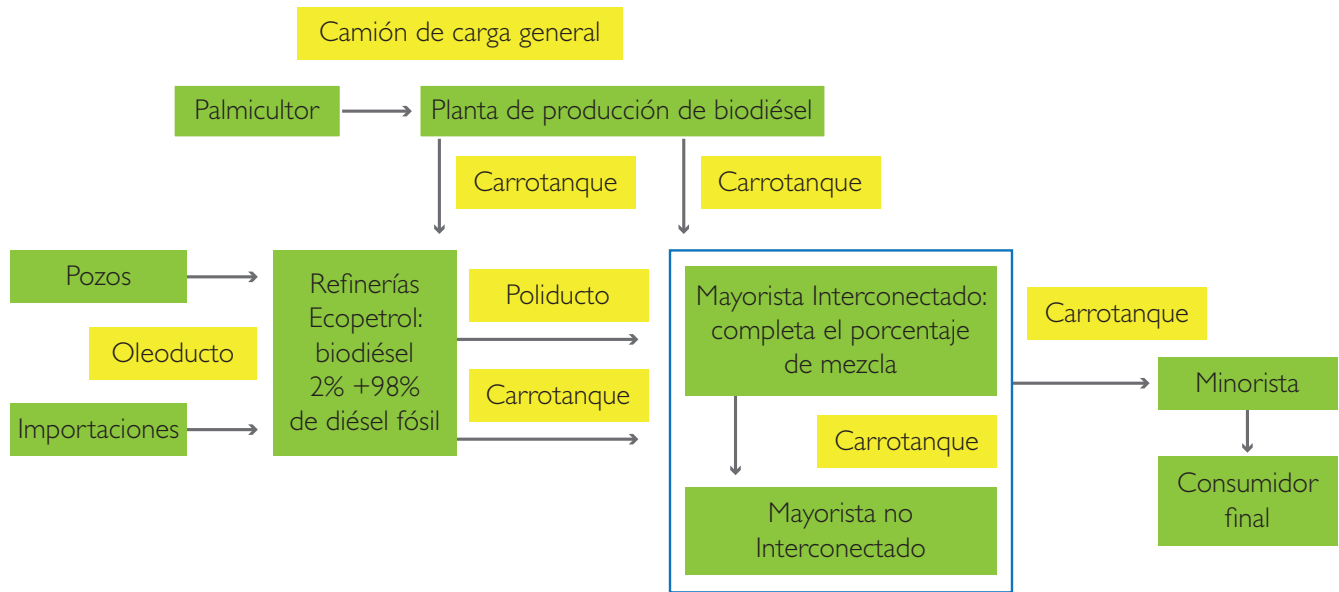
Según Proexport (2013), existen diversas razones por las cuales resulta atractivo invertir en el sector biodiésel en Colombia: los tratados de libre comercio que permiten la apertura de mercados en Estados Unidos y la Unión Europea para la exportación de biocombustibles y una proyección que indica un aumento progresivo de la demanda interna conforme se incremente el porcentaje de la mezcla de biodiésel con ACPM fósil. La meta del Gobierno nacional es incrementar el área cultivada con palma y caña en 3.000.000 de hectáreas en los próximos 10 años. Adicionalmente, Colombia tiene una disponibilidad de tierras cercana a 7,4 millones de hectáreas destinadas para la producción agroindustrial, cabe destacar que estas tierras no afectan los bosques naturales, y esta disponibilidad de tierras es cinco veces mayor que en Malasia (el segundo país productor de palma de aceite). Finalmente, la oferta local aún no abastece a la demanda interna, y se espera que en el 2020 la demanda interna de biodiésel sea de 1.200 litros anuales.

## TERCER ESLABÓN: DISTRIBUIDORES DEL BIODIÉSEL

Una vez el biodiésel es producido en las plantas de transesterificación se puede transportar en carrotanques hasta las refinerías en donde se mezcla un 2% de biodiésel con un 98% de diésel. Posteriormente, esta mezcla parcial se transporta por poliductos o carrotanques hasta los distribuidores mayoristas donde se termina de completar el porcentaje de mezcla estipulado por el Ministerio de Minas y Energía (Flórez, 2011). También se puede presentar la modalidad de transportar directamente el biodiésel por carrotanques desde las plantas productoras hasta los distribuidores mayoristas (sin pasar por las refinerías) y allí se realiza la totalidad de la mezcla con el diésel fósil (ver gráfico 39).

Según el Decreto 4299 de 2005, se consideran distribuidores mayoristas a aquellas plantas de abastecimiento autorizadas por el MME, previa presentación de documentos y requisitos específicos. Uno de estos requisitos es que dichas plantas tengan un contrato de suministro de combustibles líquidos derivados del petróleo con distribuidores mayoristas, minoristas o grandes consumidores por volúmenes superiores a dos millones seiscientos mil (2.600.000) galones al mes. De estos, el setenta por ciento (70%) como mínimo, debe corresponder a contratos suscritos con distribuidores minoristas a través de estaciones de servicio automotriz y fluvial, y el resto a ofertas, convenios o contratos de suministro suscritos con otros agentes de la cadena.

Cuando los distribuidores mayoristas realizan la totalidad de la mezcla, esta se transporta a través de carrotanques hasta los distribuidores minoristas, es decir, las estaciones de servicios donde llega el consumidor final (vehículos de carga, buses, camiones, equipos pesados y motores estacionarios).



Fuente: Adaptado de LOGIT & GSD+.

**Gráfico 39.** Distribución del biodiésel en Colombia

En Colombia los fletes para transportar el biodiésel desde las plantas productoras hasta los distribuidores mayoristas o refinerías, y para llevar la mezcla con diésel fósil hasta las estaciones de servicio se encuentran definidos por resoluciones expedidas por el MME. La definición de los fletes máximos que aplican para el transporte del biodiésel hasta las plantas de abastecimiento mayoristas ha presentado varias modificaciones que el lector podrá encontrar en las siguientes resoluciones: Resolución 181109 de 2007, Resolución 181661 de 2007, Resolución 180294 de 2009, Resolución 181452 de 2009; finalmente en la Resolución 91867 de 2012, el MME decidió unificar las tarifas de transporte terrestre tanto del alcohol carburante como del biocombustible para uso en motores diésel (biodiésel), con el fin de facilitar la consulta por parte del público en general. En la tabla 24 se pueden observar las diferentes tarifas máximas de transporte entre las plantas de biodiésel y los distribuidores mayoristas.

Adicionalmente, el MME estableció que este valor de flete se modificará el primero de febrero de cada año con base al Índice de Precios al Consumidor - IPC del año inmediatamente anterior y que en la medida en la que entren nuevas plantas productoras de biodiésel al país este Ministerio será el encargado definir los fletes de transporte que aplicarían desde estas refinerías hasta las plantas de abastecimiento mayoristas.

**Tabla 24.** Flete máximo de transporte de biodiésel desde las plantas de transesterificación hasta distribuidores mayoristas. Cifras en pesos colombianos/galón.

Destino, planta mayorista ubicada en	Flete máximo para transporte de biocombustible para uso en motores diésel
Yumbo	751,01
Buga	697,52
Cartago	683,33
Buenaventura	851,44
Manizales	654,95
Pereira	728,09
Gualanday	459,56
Mariquita	516,22
Neiva	546,56
Antioquia	696,43
Mansilla, Puente Aranda	294,73
Bucaramanga	399,61
Lisama y Sur del Cesar	381,98
Bolívar	326,69
Atlántico	281,98
Magdalena	281,98
La Dorada, Caldas	518,65
Betulia, Santander	381,98

Fuente: Resolución 91867 de 2012.

Según lo estipulado por la Resolución 90664 de 2014, el flete del transporte de los combustibles y biocombustibles entre las plantas de abastecimiento mayoristas y las estaciones de servicio, que aplicará en aquellos municipios, ciudades capitales y áreas metropolitanas que cuenten en su jurisdicción con distribuidores mayoristas tendrá un valor máximo de \$48,75 pesos colombianos por galón y esta tarifa se modificará el primero de febrero de cada año de acuerdo al IPC del año inmediatamente anterior. En aquellos municipios o ciudades que no cuenten con plantas mayoristas, la tarifa de transporte será definida por el respectivo alcalde municipal, quien deberá informar al MME el valor estipulado, fundamentado en argumentos que justifiquen el flete establecido (Resolución No. 90664, 2014).

Según la Dirección de Hidrocarburos del Ministerio de Minas y Energía (2014), la cadena de distribución de los biocombustibles está conformada por siete (7) empresas productoras de alcohol carburante ubicadas en el suroccidente y centro-oriente del país, específicamente, en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca; Risaralda, Antioquia y Meta. Nueve (9) plantas de



biodiésel ubicadas en la región Caribe y en el centro-oriente del país en: Atlántico, Magdalena, Cesar, Cundinamarca, Santander y Meta.

Actualmente, existen dieciocho (18) importadores de combustible entre los que se destacan Terpel Combustibles S.A.S., Exxon Mobil de Colombia S.A., Chevron Petroleum Company, Petróleos del Milenio C.I S.A.S., Biomax S., entre otros. Diecinueve (19) refinerías, ubicadas principalmente en el oriente del país y en la región Caribe y en una menor proporción en el centro y sur-occidente del país. Entre ellas se puede mencionar Ecopetrol S.A., que a su vez cuenta con sedes en Barrancabermeja, Villavicencio y Orito; Refinería de Cartagena S.A., TELBA S.A.S., entre otros.

De los veintiún (21) almacenadores que existen en Colombia, el 57% se encuentran localizados en la región Caribe, el 33% están ubicados en la región centro-oriente del país, y el 10% restante se encuentran localizados en el Valle del Cauca. Algranel S.A., Consorcio Aldeco, Oleoductos de los Llanos Orientales S.A., Central de Inversiones Piacenza S.A., son algunos de ellos.

Hoy día existen en Colombia 17 distribuidores mayoristas, ubicados en diferentes departamentos del país (ver anexo 12). Se destaca la Organización Terpel S.A. por estar presente en todas las regiones de Colombia. Así mismo Biomax S.A., Chevron Petroleum Company, Exxon Mobil de Colombia S.A. y Petrobras Colombia Combustibles S.A., se encuentran ubicados en un amplio número de departamentos.

En la cadena de distribución de los combustibles existen importadores que a su vez son almacenadores como es el caso de Bravo Petroleum Logistics Colombia o de importadores que también son distribuidores mayoristas como es el caso de Chevron Petroleum Company, Petromil, Exxon Mobil de Colombia, Biomax S.A. y Organización Terpel S.A. Así mismo existen agentes que son refinadores y a su vez almacenan combustibles, son: Refinería de Cartagena y TELBA S.A.S. A partir de esta información se puede inferir que en la cadena de distribución de los biocombustibles muchos de los agentes realizan todo o gran parte del proceso de transporte del biodiésel.

## DERIVADOS DEL BIODIÉSEL: PROPILENGLICOL

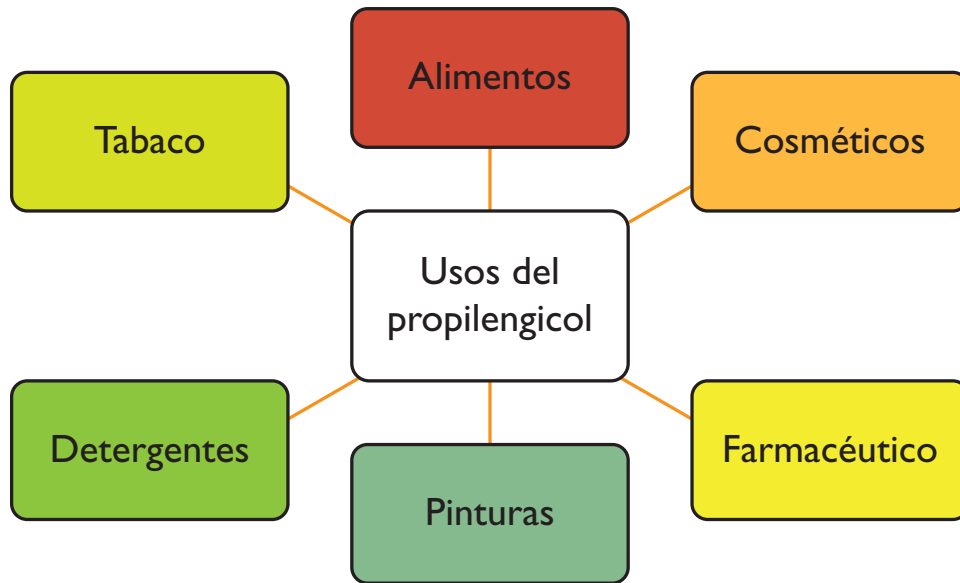
Teniendo en cuenta el importante crecimiento de la industria del biodiésel durante los últimos años, es necesario resaltar el comportamiento de la glicerina, que se considera el principal subproducto de esta industria. En promedio, se dice que se genera el 10% del total del biodiésel producido; por lo tanto, se convierte en un producto con un peso económico importante dentro de la rentabilidad de la industria.

Debido a lo anterior, y considerando las perspectivas de crecimiento del sector biodiésel, el desarrollo de un sector industrial que genere valor agregado a partir de los productos derivados del proceso de producción de biodiésel se muestra como una alternativa interesante. Por eso, una de las actividades de mayor auge a nivel internacional es la producción de propilenglicol a partir de la glicerina obtenida del proceso de producción de biodiésel. Esta actividad no se ha desarrollado en Colombia, y no existen en la actualidad empresas dedicadas a la producción de propilenglicol.

Inicialmente, solo se producía propilenglicol a partir de la refinación del petróleo, pero teniendo en cuenta que las reservas de esta fuente energética son escasas, surgió la necesidad de reemplazar dicha materia prima y así se encontró que podía producirse a través de la glicerina que resulta en la etapa de transesterificación durante la producción de biodiésel.

El propilenglicol es un compuesto orgánico que generalmente no tiene sabor, olor ni color; es un líquido aceitoso que tiene propiedades de absorber, exhalar y conservar la humedad. Puede ser mezclado con agua, acetona y cloroformo; a su vez, es ligeramente viscoso cuando se encuentra a temperatura ambiente. Su nombre sistemático es: 1,2-propanodiol.

En la actualidad, el propilenglicol se utiliza en un sinnúmero de productos de diferentes industrias, destacándose las señaladas en el gráfico 40.



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 40.** Usos del propilenglicol

El propilenglicol es un producto que pertenece a los alcoholes polihídricos, como la glicerina, el sorbitol y el manitol, que se utilizan con frecuencia en los alimentos; sin embargo, existe una característica que lo hace diferente de los otros alcoholes: y es que el propilenglicol es un producto que no aporta ningún tipo de olor. Algunas de sus aplicaciones en la industria alimenticia son:

- **Soluciones y emulsiones aromáticas:** como un agente de acoplamiento que mejora la estabilidad de un sistema.
- **Extractor de aromas o auxiliar en el proceso:** funciona como solvente para la extracción del aroma de la planta de vainilla, del aroma de café a partir del café tostado, extrae las grasas del cacao en polvo, entre otras materias primas aromatizantes naturales.
- **Humectación y rehidratación:** sirve para proporcionar humedad o balance humectante.
- **Solvente para antioxidantes y colorantes alimenticios:** funciona como solvente de antioxidantes como el hydroxianisolbutilado, el hidroxitoluenobutilado y el propilgalato, que se utilizan en alimentos para humanos y animales; por otro lado, la principal ventaja cuando se utiliza como solvente para colorantes alimenticios es que presenta baja volatilidad y resistencia a la luz.
- **Agente plastificador y suavizante:** sirve como agente plastificador para mantener la flexibilidad del corcho y las condiciones adecuadas para tapar el envase. También es utilizado como agente suavizante en alimentos semihúmedos.

- **Alimento para animales:** se utiliza para brindar humectación a productos que sean húmedos y semihúmedos, a su vez funciona como solvente y estabilizador en alimentos líquidos a base de remolacha.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las veces los alimentos están en contacto con otro medio, bien sea las máquinas en las que se producen, el envase en que se guardan, su etiqueta u otros, es necesaria la presencia de una materia prima que permita mantenerlos en condiciones adecuadas. Por lo anterior, el propilenglicol también puede utilizarse como:

- **Empaques y tintas:** en muchos casos los alimentos están en contacto con materiales impresos, como por ejemplo las etiquetas. Se utiliza el propilenglicol como solvente para tintas que tengan contacto directo o indirecto con los alimentos.
- **Medio de transferencia de calor:** generalmente se utiliza el propilenglicol como medio de transferencia de calor en la elaboración de cervezas, el procesamiento de la leche, la fabricación de helados y otras bebidas.
- **Limpieza de equipos:** luego de cualquier proceso de producción, por ejemplo de alimentos, pueden quedar pequeños restos que se descomponen y contaminan un nuevo proceso de producción; por este motivo, el propilenglicol puede usarse para prevenir la contaminación cuando los equipos de producción se encuentren fuera de operación.

El propilenglicol también es utilizado en la industria de cosméticos principalmente por su acción suavizante, emoliente, es decir que ablanda y humecta. Según el informe presentado por Dow Chemical, el Comité de Revisión de Ingredientes Cosméticos permite su uso en un 50%. Algunos usos específicos del propilenglicol en esta industria son:

- **Desodorantes y antitranspirantes:** es utilizado para reemplazar el alcohol etílico.
- **Productos para la piel:** es utilizado en cremas limpiadoras, antiedad e hidratantes tanto para cuerpo como para la cara; protectores solares, entre otros.
- **Productos para el cabello:** puede utilizarse en champú, acondicionador, tratamientos, gel, entre otros.
- **Maquillajes:** en términos generales se utiliza en el maquillaje por su característica humectante.

En la elaboración de productos farmacéuticos, bien sean orales, tópicos o inyectables, se utiliza el propilenglicol porque algunos ingredientes deben ser solubilizados; también se utiliza como emoliente y humectante que permite mejorar la apariencia de algunos productos.

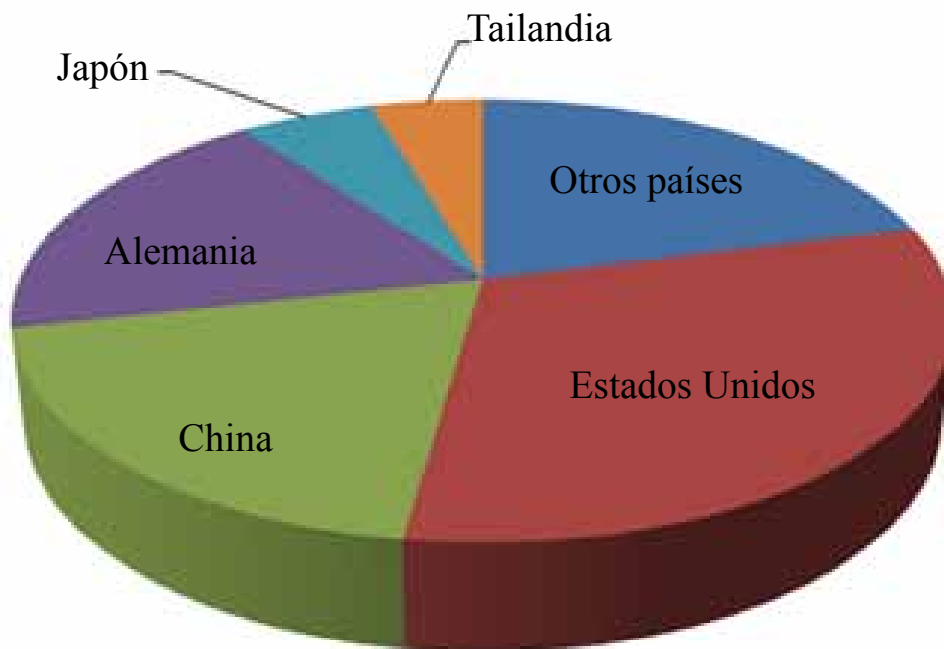
Finalmente, la acción humectante del propilenglicol permite que también sea utilizado en productos como los detergentes, las pinturas y el tabaco.



### 7.1. Panorama internacional

A partir del año 2013 la producción de propilenglicol en el mundo creció en un 8% respecto al año 2012, superándola en 2,18 millones de toneladas. Una de las razones a la que se le atribuyó este importante crecimiento fue la unión de dos de las empresas más importantes del sector de químicos a nivel mundial: SCG – DOW PG en Tailandia en el mes de marzo, cuya planta posee una capacidad instalada de aproximadamente 150.000 toneladas anuales. Sin embargo, Estados Unidos continúa siendo el mayor productor a nivel mundial, con más del 30% de la oferta mundial. (Merchant Research & Consulting Ltd., 2014)

En el gráfico que se presenta a continuación se muestran los principales países productores de propilenglicol a nivel mundial durante el año 2013 y su participación.



Fuente: <http://mcgroup.co.uk/news/20140418/propylene-glycol-market-reach-supplydemand-balance-2015.html>.

**Gráfico 41.** Producción mundial de propilenglicol por países

Como se mencionó anteriormente y como puede observarse en el gráfico 41, Estados Unidos es el principal productor de propilenglicol en el mundo; sin embargo, se destaca la importante participación de China. Estos dos países, en conjunto, elaboran un poco más del 50% de la producción mundial de propilenglicol.

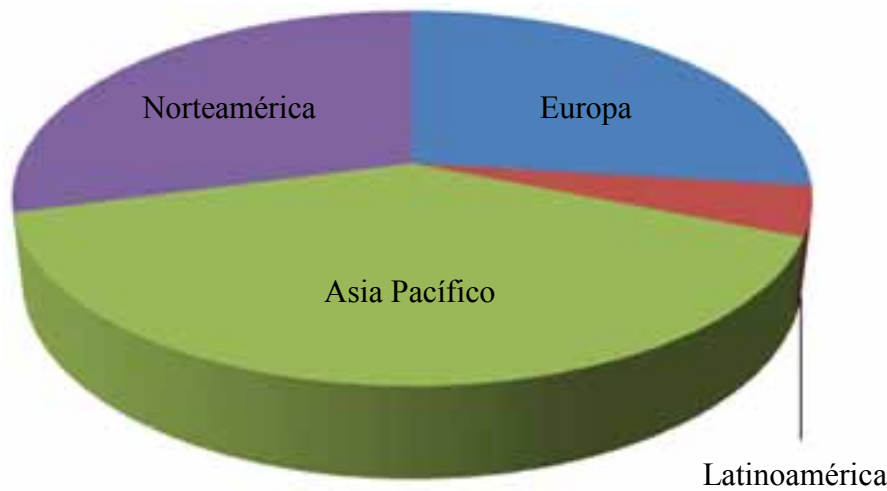


A su vez, las principales empresas presentes en el mercado mundial del propilenglicol son:

- The Dow Chemical Company
- Lyondell Chemical Company
- Global Bio-Chem Technology Group Company Limited
- Ineos Oxide
- Nihon Oxirane Co.
- SINOPEC Zhenhai Refining & Chemical Company
- Archer Daniels Midland Co.
- SKC Chemicals Group
- Shell Eastern Petroleum (Pte)
- Arrow Chemical Group Corp.
- BASF AG
- Repsol YPF Chemicals and Huntsman Corp

En el año 2013 el consumo de propilenglicol en el mundo superó los 2,12 millones de toneladas. A pesar de que se espera que el mercado global de este químico crezca aproximadamente en un 4,5% anual durante los próximos años, se prevé un desequilibrio entre la oferta y la demanda a nivel mundial en el año 2015, que para el año 2017 podría traducirse en un excedente en la oferta de 2,56 millones de toneladas. El principal argumento de dicho desequilibrio, se basa en los nuevos aumentos en la capacidad de producción y a su vez el aumento de las tasas de utilización de dicha capacidad.

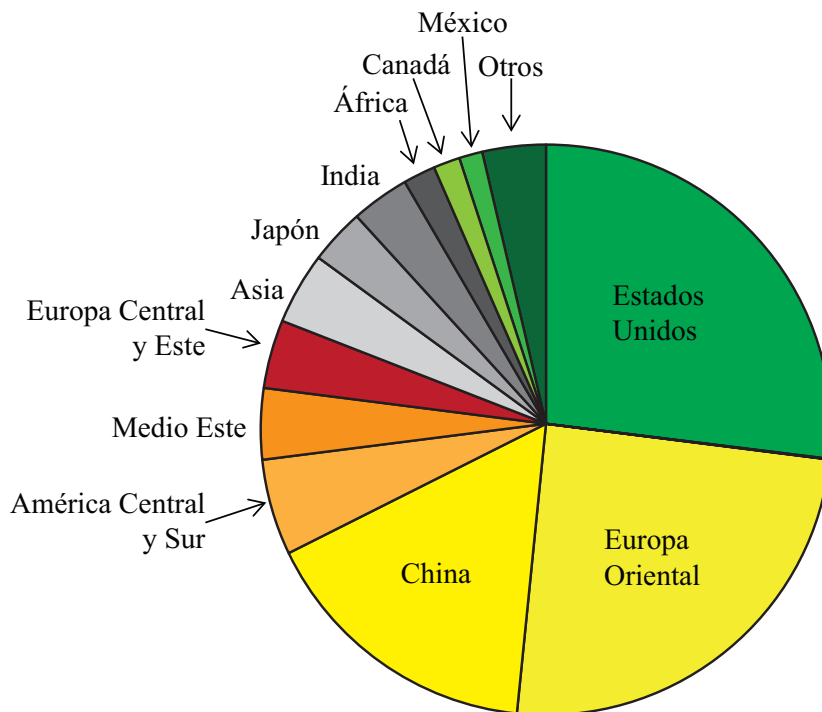
Por otro lado, se espera que el crecimiento más fuerte se registre en China y en otras regiones emergentes. En el gráfico que se presenta a continuación se muestran las regiones con mayor capacidad de producción durante 2013.



Fuente: <http://mcgroup.co.uk/news/20140418/propylene-glycol-market-reach-supplydemand-balance-2015.html>.

**Gráfico 42.** Capacidad mundial de propilenglicol por regiones

Según IHS Chemical, los principales consumidores de propilenglicol a nivel mundial se muestran en el gráfico que aparece a continuación:



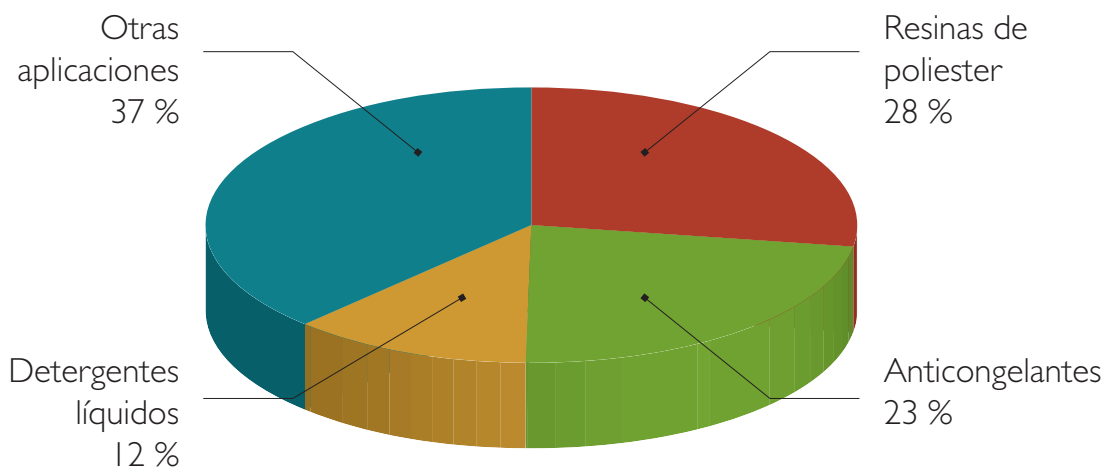
Fuente: <https://www.ihs.com/products/propylene-glycols-chemical-economics-handbook.html>.

**Gráfico 43.** Consumo de propilenglicol en el mundo

De acuerdo al informe sobre el propilenglicol publicado por IHS Chemical (2013), en Europa Central y Oriental y China el propilenglicol es utilizado principalmente en las resinas de poliéster no saturadas. Por su parte, en América del Norte y Europa Occidental se utiliza principalmente como solvente de detergentes líquidos. Asimismo, cabe resaltar que en el mercado anticongelante ha aumentado el uso del propilenglicol, aun cuando su demanda representa un bajo porcentaje del total del mercado a nivel mundial.

En este mismo informe se definen aquellos mercados en los que se espera que se aumente el consumo de propilenglicol. Así, por ejemplo, en Estados Unidos se proyecta un crecimiento en los productos para el cuidado personal, mientras que en Europa Occidental se espera un incremento de su uso en alimentos, cuidado personal y en el sector farmacéutico.

Como enuncia el informe publicado por la firma Merchant Research & Consulting Ltd. (2015), una de las principales razones del crecimiento del propilenglicol durante los últimos años es la tendencia positiva de los principales sectores que utilizan el propilenglicol, algunos de ellos son: la construcción, el transporte marítimo, entre otros. Otra razón es el aumento en la producción de biodiésel, que proporciona un crecimiento en la producción de glicerol, que a su vez es materia prima para la producción del propilenglicol. En el año 2013 el propilenglicol se utilizó principalmente para las resinas de poliéster insaturado, los líquidos anticongelantes, los detergentes líquidos, entre otros, tal como se muestra en el siguiente gráfico:



Fuente: Merchant Research & Consulting Ltd.

**Gráfico 44.** Principales usos del propilenglicol en 2013

Merchant Research & Consulting Ltd. (2015) también menciona que se espera un crecimiento en un 4,5% anual, como resultado del aumento en la producción y consumo, principalmente en la región de Asia Pacífico y China.

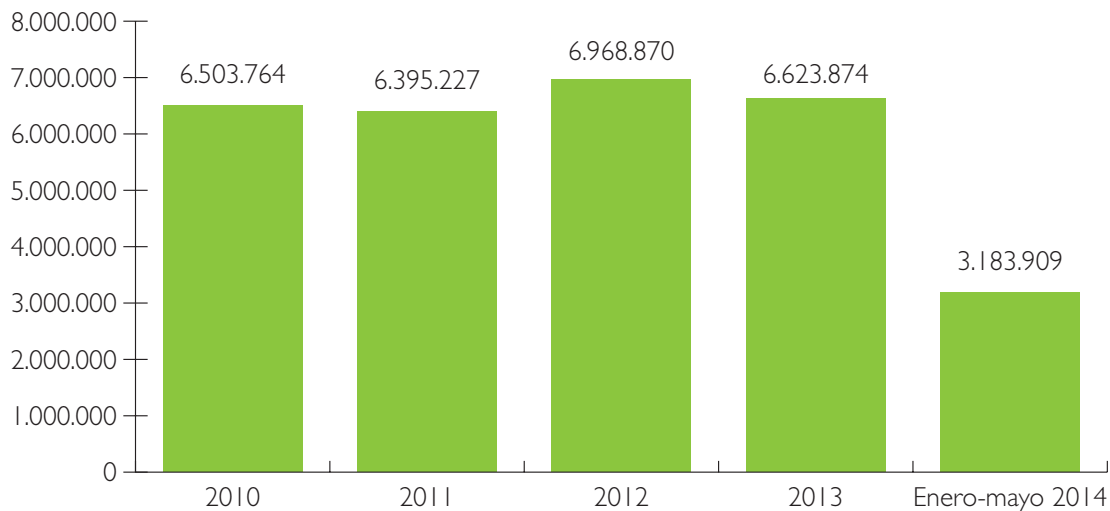


## 7.2. Panorama nacional

En Colombia, la industria del propilenglicol puede considerarse poco explotada, teniendo en cuenta que este compuesto orgánico no se produce en nuestro país (Millán, 2014).

A pesar de esto, son muchas las empresas a nivel local que requieren de propilenglicol para el óptimo desarrollo de sus procesos productivos. En la actualidad, estas empresas recurren a las importaciones para abastecer su necesidad de consumo de dicho compuesto orgánico.

Según la base de datos Sicex de Quintero Hermanos Ltda., el total de kilogramos de propilenglicol importados durante el período 2010 – mayo de 2014 son los que se muestran a continuación:



Fuente: Base de datos Sicex de Quintero Hnos. Ltda. Elaboración propia.

**Gráfico 45.** Total de importaciones de propilenglicol período 2010 - mayo 2014. Cifras en Kilogramos

Como se observa en el gráfico 45, durante el año 2012 se reportó la mayor cantidad de propilenglicol importado; sin embargo, vale la pena resaltar que si se proyecta el comportamiento obtenido durante los cinco primeros meses del año 2014, se obtendrían 7.641.374,4 kilogramos de propilenglicol importado.

A su vez, según Sicex, las cantidades importadas de propilenglicol durante el período 2010 – mayo de 2014 provinieron en su mayoría de Estados Unidos, China, República de Corea del Sur, Alemania, Hong Kong y Panamá.

Durante este período las empresas que mayor cantidad de propilenglicol importaron fueron:

**Tabla 25.** Principales empresas importadoras de Propilenglicol período 2010 - mayo 2014.

Empresa	2010	2011	2012	2013	Enero - mayo 2014
Andercol S.A.	1.458.040	1.316.606	1.539.644	1.573.595	747.000
Disan Colombia S.A.	1.029.543	1.008.029	479.153	661.634	264.745
Distribuidora Córdoba S.A.S.	658.330	817.000	909.450	1.186.800	395.600
Dow Química de Colombia S.A.	718.545	491.124	1.078.581	779.147	435.530
Brenntag Colombia S.A.	699.900	576.564	663.816	321.988	260.389

Fuente: Elaboración propia. Base de datos Sicex de Quintero Hnos. Ltda.

Según la información publicada por cada una de las empresas que se muestran en la tabla anterior solo una de ellas, Dow Química de Colombia, menciona procesos de producción de propilenglicol. Esta empresa pertenece al grupo Dow Chemical Company, que es considerada una de las empresas más importantes de esta industria. Las otras empresas solo hacen referencia a procesos logísticos para la distribución de este y otros químicos.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con lo mencionado en capítulos anteriores, el sector de biocombustibles en Colombia, específicamente el sector biodiésel, se encuentra en una fase de crecimiento y desarrollo. Los inicios de esta industria en el país se remontan al año 2008, por tal razón es un sector relativamente joven que aún se encuentra en proceso de exploración, de atracción de nuevos inversionistas, de implementación de nuevas tecnologías, de investigación de materias primas alternativas, de innovación en procesos, maquinarias y equipos, entre otros. El surgimiento de esta industria obedece a diversos factores de índole ambiental, económico y de abastecimiento energético.

Desde el punto de vista ambiental, el uso del biodiésel como un aditivo en la mezcla con el diésel fósil permite que durante el proceso de combustión se disminuyan las emisiones de GEI, lo cual contribuye significativamente a reducir los índices de contaminación atmosférica, impactando positivamente la salud de los colombianos, y también el bienestar y la calidad de vida de la población mundial. La reducción de GEI constituye la principal razón por la que el uso de fuentes renovables de energía como el biodiésel adquiere cada vez más relevancia. Adicionalmente, emplear biodiésel en motores de combustión interna genera beneficios ambientales que contribuyen al cuidado y preservación del medio ambiente en general, por ejemplo de las fuentes hídricas.

Desde la perspectiva económica, el sector biodiésel contribuye a disminuir los índices de uno de los mayores flagelos que tanto aqueja al país: el desempleo; pues permite la generación de puestos de trabajo en el campo y en las ciudades. En el agro a través de la contratación de personal para trabajar en las labores de los cultivos energéticos –para el caso colombiano es la palma de aceite– que abarcan una amplia gama de actividades tales como la siembra, el mantenimiento del cultivo, la recolección de la cosecha, el transporte de la misma, entre otros. En las ciudades se genera empleo en las plantas extractoras del aceite de palma, en su posterior proceso de refinación, en el transporte del aceite, en las empresas productoras de biodiésel, entre otros.

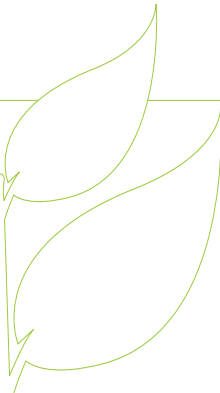
También es importante destacar que Colombia ocupa la posición No. 10 en la clasificación de los 16 mayores productores de biodiésel del mundo. Estos resultados

son una muestra de que el país se encuentra inmerso en el “boom mundial de la ola verde”, es decir, en la generación y utilización de combustibles limpios o fuentes de energías renovables que contribuyan a disminuir el cambio climático. Adicionalmente, la producción de biodiésel representa para Colombia una alternativa importante para contrarrestar la escasez de reservas de petróleo que tanto preocupa al gobierno colombiano. Es decir, el biodiésel constituye una fuente de energía que permitirá al país garantizar su abastecimiento energético en tal caso de presentarse un déficit de crudo. Este último beneficio, asociado con la producción de biodiésel, se ha convertido en una razón fundamental para apoyar y estimular el crecimiento del sector.

Desde el nacimiento de la industria del biodiésel hasta el año 2014, el número de plantas en funcionamiento ha evolucionado satisfactoriamente teniendo en cuenta que el requerimiento de capital que se necesita para el montaje de una planta es muy alto y que es una industria nueva sobre la cual aún se realizan diversas investigaciones. Mientras en el año 2008, existían solo dos plantas con una capacidad instalada total de 86.000 toneladas de biodiésel por año, en 2014 nueve plantas ubicadas en diversas zonas del país (norte y centro-oriente) contaban con una capacidad de generar 591.000 toneladas de biodiésel cada año.

A pesar de este incremento considerable en la capacidad de producción, en los últimos años se ha evidenciado un menor dinamismo del sector, y se registraron tasas de crecimiento muy bajas comparadas con las que se presentaron durante los primeros años de desarrollo de la industria. Este comportamiento está asociado, en gran parte, al estancamiento en el programa nacional de mezcla del biodiésel con el diésel convencional. En este sentido, algunos analistas sostienen que el crecimiento y desarrollo del sector ha empezado a frenarse como consecuencia de la falta de acciones por parte del Gobierno y probablemente esta situación ha desestimulado la inversión privada para el desarrollo del sector. Por lo tanto, es necesaria la intervención estatal para reactivar los niveles de crecimiento, porque es precisamente la política pública la que ha definido los diferentes mecanismos que han estimulado la inversión en el sector biodiésel, como la obligatoriedad de la mezcla del biodiésel con el diésel, el incremento gradual de los porcentajes de dicha mezcla y las exenciones tributarias para el biodiésel.

Después de haber analizado cada uno de los eslabones que componen la cadena productiva del biodiésel en Colombia, es importante resaltar las fortalezas que tiene el sector. Desde el punto de vista ambiental, el biodiésel que se produce en Colombia, obtenido a partir del aceite de palma, reduce hasta en un 83% las emisiones de GEI. Una cifra relevante si se tiene en cuenta que el biodiésel que se produce en Estados Unidos emplea el aceite de soja como insumo y reduce sus emisiones en un 44% y el que se produce en Malasia a base de aceite de palma los reduce en un 35%. Desde el punto de vista normativo, en Colombia existe un marco legislativo que regula la producción de biodiésel y su mezcla con diésel fósil, así como el establecimiento de leyes, decretos y resoluciones que impulsaron el nacimiento del sector biodiésel en el país. La gestión y el apoyo de Fedebiocombustibles es considerada como otra fortaleza del sector biodiésel, ya que esta entidad vela por los intereses de cada uno de los actores del sector y sus acciones están encaminadas a incrementar el crecimiento, desarrollo y competitividad de la industria.



Además, vale la pena señalar como una fortaleza importante del sector su nivel de encadenamiento productivo, en particular con los agentes proveedores de materia prima. Este encadenamiento se evidencia en la construcción de grupos económicos que desarrollan diversas actividades que, a su vez, conforman la cadena de producción de biodiésel y que han sentado las bases para el establecimiento de clústeres industriales. De este nivel de encadenamiento hacen parte: aguas arriba, las empresas productoras de insumos agrícolas y semillas de palma de aceite, y aguas abajo, productoras de biodiésel y de otros productos oleoquímicos; en medio de estos sectores se encuentran los palmicultores.

Los grupos económicos se consideran como un nivel intermedio entre las empresas que actúan independientemente y los clústeres (Millán, 2014). En este sentido, los grupos económicos que existen actualmente en el sector palma, aceite y grasas vegetales y biocombustibles van encaminados a la conformación de un clúster cuyo principal objetivo es el aumento de la productividad de toda la cadena, a través de procesos de optimización de costos de producción, implementación de tecnología en las fases de cultivo y cosecha de la palma y transporte de los frutos, mejor utilización de la capacidad instalada de las plantas extractoras e innovación en procesos de las plantas productoras de biodiésel.

Los primeros grupos empresariales del sector se conformaron en la década de los 40 y fueron creados por líderes empresariales. Con el transcurrir de los años se han consolidado nuevos grupos con la integración de empresas de otros eslabones, como las productoras de biodiésel y de otros productos oleoquímicos, con el objetivo en común de generar sinergias, desarrollar productos con valor agregado como el biodiésel y sus derivados, poseer una mayor capacidad de negociación en el mercado, entre otros. En la actualidad, existen diez grupos económicos constituidos por empresas cultivadoras, extractoras, refinadoras y productoras de biodiésel y otros productos como jabones y detergentes (Millán, 2014).

Frente a este panorama de creación y consolidación de clúster en la cadena productiva del biodiésel y de la palma, la Corporación Internacional de Productividad (2014) ha propuesto un 'modelo competitivo regional' que consiste en la creación de "ecosistemas de innovación regionales", que en el largo plazo pueden llegar a conformar un clúster. Una característica esencial de estos ecosistemas es la interacción de los recursos de una empresa con los recursos que son ofrecidos en el entorno por otras empresas, universidades, instituciones públicas y privadas (Millán, 2014). En este sentido, las empresas no podrán incrementar su productividad si trabajan de forma aislada; en otras palabras, la sinergia es la clave para superar las brechas de productividad.

Así mismo, en el entorno se evidencian oportunidades que pueden favorecer el crecimiento y competitividad del sector biodiésel en Colombia. El establecimiento de acuerdos comerciales con países como Estados Unidos, Chile, México, Corea del Sur y la Unión Europea permitirá la apertura de mercados para la exportación del biodiésel en el largo plazo. La disponibilidad de 7,4 millones de hectáreas de tierras aptas para cultivos energéticos, que no interfieren con las zonas de conservación y de reservas naturales, constituye otra oportunidad para la producción de aceite de palma destinado a la elaboración de biodiésel.

Otra oportunidad que se evidencia en el entorno está relacionada con las materias primas alternativas para la producción de biodiésel. Tal como se mencionó en el capítulo cuatro, el biodiésel es un biocombustible que puede ser producido a partir de diversos tipos de aceites y grasas vegetales y animales. En el mundo existen más de 300 materias primas para la producción de biodiésel, particularmente en Colombia se han establecido ocho cultivos alternativos al aceite de palma, entre los cuales se destacan los aceites no comestibles que al ser no ser aptos para el consumo humano no generan conflicto con la seguridad alimentaria del país, como la jatropha y la higuera. Además de las grasas animales como el sebo y de los aceites usados en la preparación de alimentos.

Asociada al uso de materias primas alternativas, otra oportunidad son las investigaciones desarrolladas por universidades y centros investigativos del país orientadas a determinar la viabilidad económica y técnica de la producción de biodiésel a partir de dichas materias primas. Sin embargo, en la actualidad las investigaciones de este tipo son muy limitadas y por tanto debe fortalecerse aún más la investigación enfocada en la producción y uso de biocombustibles de segunda y tercera generación.

Se ha identificado una oportunidad relacionada con la elaboración de productos de valor agregado, por ejemplo el propilenglicol obtenido a partir de la glicerina que se genera como subproducto en el proceso de producción del biodiésel. Hoy día en Colombia, no existe una empresa que produzca propilenglicol. La demanda de este compuesto orgánico por parte de las industrias de alimentos, de cosméticos, de pinturas, de detergentes, entre otros, es abastecida a través de importaciones de otros países. La oportunidad para las empresas productoras de biodiésel radica en la fabricación y venta del propilenglicol para suplir la creciente demanda de este producto en el ámbito nacional o a través de la venta de la glicerina a empresas que deseen incursionar en esta actividad económica.

Con respecto a las debilidades del sector, un aspecto que se destaca es el alto costo de producción de biodiésel, lo cual se debe al alto costo de los aceites vegetales. En Colombia, el costo del aceite de palma es superior al costo del mismo producto en países como Malasia e Indonesia. Otra debilidad que se manifiesta en el sector la constituye la pobre articulación entre empresas y universidades, lo cual limita el desarrollo de procesos de innovación orientados a mejorar la productividad del sector. La producción de biodiésel y la transformación de la biomasa en Colombia no se encuentran ajustadas a los estándares ambientales y de calidad de algunos mercados internacionales, lo cual podría constituir en una barrera al momento de exportar biodiésel a dichos mercados.

Dentro de los factores del entorno que pueden actuar como amenazas para el desarrollo del sector se pueden mencionar los siguientes: la dependencia del precio de otros combustibles (volatilidad del precio del crudo); la deficiente infraestructura vial del país; la escasa y dispersa oferta de servicios de I+D+I específicamente en el sector automotriz, y la escasez de programas académicos relacionados con los sectores de oleoquímica y biodiésel (Millán, 2014). Una última amenaza identificada en la literatura es la ausencia de una normatividad en Colombia que rija la producción de los biocombustibles de segunda, tercera y cuarta generación. En un principio,

la falta de este tipo de legislaciones se podría convertir en un obstáculo para la generación de biodiésel a partir de aceites o grasas vegetales y animales (ver anexo 13).

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, se podrían identificar como factores clave para el desarrollo competitivo del sector los siguientes: el papel de Gobierno nacional, el abastecimiento de materias primas y la relación universidad-empresa-estado.

El Gobierno nacional, sin lugar a dudas, tiene un papel fundamental en el desarrollo y crecimiento del sector biodiésel con la promulgación de leyes, resoluciones, decretos y normas que generen un marco regulatorio adecuado. Se ha mencionado en los capítulos anteriores que el gobierno colombiano le ha apostado al fortalecimiento del sector de biocombustibles en el país gracias a todos los beneficios que genera a nivel ambiental, económico y social. En este sentido, gran parte del crecimiento del sector biodiésel en Colombia está determinado por las decisiones que tome el gobierno, específicamente el Ministerio de Minas y Energías, en torno al programa nacional de mezclas del biodiésel con el ACPM, a la regulación de los precios y al establecimiento de mecanismos orientados a estimular la inversión en el sector.

Adicionalmente, el apoyo por parte del gobierno también es fundamental para el sector biodiésel en la medida en que se aprovechen los Tratados de Libre Comercio, con el fin de disminuir aranceles y otros impuestos y así estimular la exportación de biodiésel en un mediano o largo plazo.

Un segundo factor de éxito está relacionado con el *abastecimiento de la materia prima grasa*. Según los datos proporcionados por Fedepalma, en Colombia existen suficientes hectáreas sembradas de palma de aceite para suplir la demanda de biodiésel destinado a alcanzar un porcentaje de mezcla con el diésel fósil equivalente a B20 en el año 2020. El problema radica en el rezago tecnológico que disminuye la productividad del sector palmicultor y encarece los costos de producción del aceite de palma, lo que al mismo tiempo afecta su competitividad. Por tal razón es de vital importancia mejorar los niveles de productividad del sector palmicultor colombiano a través de la implementación de técnicas mecanizadas o automatizadas en la fase de cultivo, mantenimiento, recolección y transporte de la cosecha; de un control exhaustivo de plagas y enfermedades orientado a la prevención y al ataque de los agentes patógenos causantes de la problemática fitosanitaria que afecta los cultivos de palma en el país.

Con la implementación de tecnología, el cultivo de palma se hace menos intensivo en mano de obra y esto disminuye los costos de las labores del cultivo. A su vez, una mejor utilización de la capacidad instalada de las plantas de extracción influye positivamente en la estructura de costos de producción del aceite de palma. Un mejoramiento en los niveles de productividad de la agroindustria de la palma repercute en la competitividad de toda la cadena productiva, incluyendo la producción de biodiésel.

Siguiendo con este segundo factor de éxito, las empresas productoras de biodiésel, en especial las que se encuentran en proceso de creación y de adecuación de las plantas, han mostrado interés por conseguir materias primas alternativas que supongan menores costos. Cabe recordar

en este punto que el costo de la materia prima representa entre el 60 y el 80% del costo total de producción del biocombustible. De esta forma y de acuerdo con la investigación de mercados de materias primas alternativas (cuyos resultados se presentaron en el capítulo 4), en principio se considera que el aceite de cocina usado se convierte en el insumo más prometedor para hacer parte de la producción de biodiésel debido al doble beneficio que este posee: su bajo costo de adquisición y 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 contamina las fuentes de recursos hídricos.

No obstante, tal como se mencionó anteriormente, es importante tener en cuenta, que el aceite de cocina usado, es una materia prima que ha sufrido alteraciones en su composición química y que por tanto, debe ser sometida a tratamientos previos para poder ser usada en los procesos de producción del biodiésel. Estos tratamientos suponen altos costos, que repercuten en el precio final del UCO procesado. En este sentido, para determinar finalmente si el aceite de cocina usado es el insumo más prometedor en términos económicos, es necesario evaluar la proporción en que se incrementa el precio final del UCO que ha recibido tratamientos químicos (filtración, eliminación de impurezas, entre otros) y compararlo con el precio de las otras materias primas.

Con respecto al aceite de soja y al sebo se evidenció que en Colombia, la capacidad de producción de estas dos materias primas es limitada. Adicionalmente, tanto el precio del aceite de soja como del sebo son superiores al del aceite de palma por lo que, en principio, estas materias primas no se muestran como alternativas muy prometedoras.

Un tercer factor clave de éxito es el *fortalecimiento de las relaciones* universidad-empresa-estado, con el objetivo de mejorar los programas de Investigación, Desarrollo e Innovación en el sector de biocombustibles y la ampliación de la oferta de programas de educación superior a nivel de técnicos, tecnólogos, y profesionales que se relacionen con dicho sector. Así mismo, es importante desarrollar un sistema de transferencia tecnológica considerando las mejores tecnologías disponibles para la producción de biodiésel, de tal forma que se tengan en cuenta las mejores prácticas ambientales. En asociación a los programas de investigación, es necesario el desarrollo de un sistema de propiedad intelectual para las investigaciones realizadas en el sector biodiésel, así como la creación de un fondo de capital que brinde apoyo financiero a estas.





## REFERENCIAS

- Agenda de Noticias UN. (2013). *Reciclan aceite de cocina para obtener biodiésel y glicerina*. Recuperado de <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/articulo/reciclan-aceite-de-cocina-para-obtener-biodiésel-y-glicerina/index.html>
- Agrositio. (2013). *Argentina es el 1er exportador mundial de biocombustibles. ¿Cómo es su producción y uso?* Recuperado de <http://www.agrositio.com/vertext/vertext.asp?id=142716&se=1002>
- Ahmad, A. L., Yasin, N. M., Derek, C. J. C., y Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiésel production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 584-593.
- Álvarez, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa*, 359, 63-89.
- Amado, E., Villamizar, A., y Gafaro, 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).
- Benavides, A., Benjumea, P., y Pashova, V. (2007). El Biodiésel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores biodiésel. *Dyna*, 154, 141-150.
- American Society for Testing and Materials-ASTM (2009). ASTM D 6751-09, Standard Specification for Biodiésel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. West Conshohocken, PA: ASTM.
- Barón, M., Forero, I. H., y Castro, J. A. O. (2013). Gestión de la cadena de abastecimiento del biodiésel: una revisión de la literatura. *Ingeniería*, 18(1), 3.
- Base de Datos Sicex de Quintero Hnos Ltda.
- Bochno, E. (2011). *Estado del arte y la Bioenergía en Colombia-Informe de la Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura-oficina regional para Latinoamérica*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/019/as419s/as419s.pdf>
- Boyes, E., y Stanisstreet, M. (1993). The 'Greenhouse Effect': children's perceptions of causes, consequences and cures. *International Journal of science education*, 15(5), 531-552.
- BP. (2014). *Statistical Review World Energy June 2014*. [Tabla 3]. Recuperado de <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/statistical-review-downloads.html>
- Business Wire. (2014). *Research and Markets: Propylene Glycol Market Outlook 2019: Source (Petroleum, Bio-based) & Applications (Unsaturated Polyester Resin, Pharmaceuticals & Cosmetics, Antifreeze & Functional Fluid, Liquid Detergent, Plasticizer)*. Recuperado de: <http://www.businesswire.com/news/home/20141006006251/en/Re>

- Butler, R. A. (2006). *Why is oil palm replacing tropical rainforests? Why are biofuels fueling deforestation?* Recuperado de <http://news.mongabay.com/2006/04/why-is-palm-oil-replacing-tropical-rainforests/>
- Canakci, M., y Van Gerpen, J. (2001). Biodiésel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions-American Society of Agricultural Engineers*, 44(6), 1429-1436.
- Caparella, T. (2013). Sustainability and global markets in the Land Down Under. *Render Magazine*, 42(4), 16-21. Recuperado de <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.
- Chaverra, D., y Mercado, J. (2012). *Evaluación financiera de una planta productora de biodiésel a partir de aceites usados de cocina*. (Tesis de especialización). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Colciencias. (2015). *Búsqueda de grupos de investigación por área de conocimiento*. Recuperado de <http://scienti.colciencias.gov.co:8083/ciencia-war/BusquedaGrupoXArea.do;jsessionid=76D061C186C973E0F5879802C258E988>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2007). Documento CONPES 3477 de 2007. *Estrategia para el desarrollo competitivo del sector palmero colombiano*. Bogotá, Colombia.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (2008). Documento CONPES 3510 de 2008. *Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Millán, F. (2014). *Construyendo un Modelo Competitivo Regional para el Sector Palma, Aceite, Grasas Vegetales y Biocombustibles*. Corporación Internacional de productividad.
- Consortio CUE. (2012). *Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia*. Ministerio de Minas y Energía. Medellín, Colombia.
- Cvengroš, J., y Cvengrošová, Z. (2004). Used frying oils and fats and their utilization in the production of methyl esters of higher fatty acids. *Biomass and Bioenergy*, 27(2), 173-181.
- De Vries, S. C., van de Ven, G. W., van Ittersum, M. K., y Giller, K. E. (2010). Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques. *Biomass and Bioenergy*, 34(5), 588-601.
- Decreto 383. Diario oficial de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 12 de febrero de 2007.
- Decreto 4299. Diario oficial de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 25 de noviembre de 2005.
- Demirbas, A. (2007). Importance of biodiésel as transportation fuel. *Energy policy*, 35(9), 4661-4670.
- Demirbas, A. (2008a). *Biodiésel*. Londres: Springer.
- Demirbas, A. (2008b). Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiésel fuels. *Fuel*, 87(8), 1743-1748 [Tabla 9 y 10].
- Demirbas, A. (2008c). Economic and environmental impacts of the liquid biofuels. *Energy Education Science and Technology*, 22(1), 37-58 [Tabla 19].
- Demirbas, M. F., Balat, M., y Balat, H. (2011). Biowastes-to-biofuels. *Energy Conversion and Management*, 52(4), 1815-1828.
- Department Of Energy, U. (2006). *Biodiésel handling and use guidelines*. DOE/GO-102006-2358, US DOE, 3rd edn, 2006 Search PubMed. Recuperado de <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/40555.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas – DANE. (2012). *Cuenta satélite piloto de la agroindustria de la palma de aceite: Palma en desarrollo, en producción y su primer nivel de transformación 2005-2010*. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/agroindustria/metodologia\\_agroindustria.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/agroindustria/metodologia_agroindustria.pdf)

- Departamento de Impuesto y Aduanas Nacionales (s.f.). *Declaración de importación*. Recuperado de <http://www.dian.gov.co/descargas/Formularios/2014/500-2013.pdf>
- Departamento de Impuesto y Aduanas Nacionales (s.f.). *Consulta por arancel*. Recuperado de <https://muisca.dian.gov.co/WebArancel/DefConsultaNomenclaturaPorCodigo.faces>
- Downzoom. (s.f.). *Propilenglicol de Alimentos, Drogas y Cosméticos*. Recuperado de: [http://downzoom.com/propilenglicol-de-alimentos,-drogas-y-cosm%C3%A9ticos\\_585ab.html](http://downzoom.com/propilenglicol-de-alimentos,-drogas-y-cosm%C3%A9ticos_585ab.html)
- Duarte, E., y Gutterman, L. (2010). *Actualización de los Costos de Producción del Aceite de Palma (Informe para la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite)*, [Gráfico 20]. Recuperado de: [http://web.fedepalma.org/bigdata/fedepalma/pdf/EstudiosdeCostos2004-2010/EstudiocostosDuarteGuterman6\\_18-02-09.pdf](http://web.fedepalma.org/bigdata/fedepalma/pdf/EstudiosdeCostos2004-2010/EstudiocostosDuarteGuterman6_18-02-09.pdf)
- Dufey, A., y Stange, D. (2011). *Estudio regional sobre la economía de los biocombustibles en 2010: temas clave para los países de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3906/LCW412\\_es.pdf?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3906/LCW412_es.pdf?sequence=1)
- Dutta, K., Daverey, A., y Lin, J. G. (2014). Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation. *Renewable energy*, 69, 114-122. [Tabla 1].
- Dorado, M. P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gómez, J., y López, F. J. (2003). Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. *Fuel*, 82(11), 1311-1315.
- Ecopetrol. (2009a). Pasado, presente y futuro de los biocombustibles. *Innova*, 3. Recuperado de <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/RevistaInnova3ed/idi.htm>
- Ecopetrol. (2009b). Algas, microorganismos que cambiaran el mundo. *Innova*, 3. Recuperado de <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/RevistaInnova3ed/idi2.htm>
- EUROSTAT. (s.f.). *Ampliaciones de la Unión Europea*. Recuperado de: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Glossary:EU\\_enlargements/es](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:EU_enlargements/es)
- Fedebiocombustibles. (s.f.). *Estadística de precios*. Recuperado de <http://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-precios-titulo-Biodiésel.htm>
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2010). *Cifras informativas del Sector Biocombustibles-Biodiésel*. Recuperado de: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%287%29.pdf>
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2011). *Cifras informativas del Sector Biocombustibles-Biodiésel*. Recuperado de: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2823%29.pdf>
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2012). *Cifras informativas del Sector Biocombustibles-Biodiésel*. Recuperado de <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2835%29.pdf>
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2013a). *Mitos y realidades de los biocombustibles en Colombia*. Recuperado de: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/REVISTA%20MITOS%20Y%20REALIDADES%283%29.pdf>
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2013b). *Cifras informativas del Sector Biocombustibles-Biodiésel*. Recuperado de <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2853%29.pdf>
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2014a). *Información estadística del sector biocombustibles- producción y ventas del biodiésel*. Recuperado de <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Biodiésel.htm>

- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2014b). *Cifras informativas del Sector Biocombustibles-Biodiésel*. Recuperado de <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2855%29.pdf>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (s.f.). *Historia del aceite de palma*. Recuperado de <http://www.palmadeaceite.org/historia-de-la-palma-de-aceite>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (s.f.). *Transformación del aceite de palma*. Recuperado de <http://www.palmadeaceite.org/transformacion-de-la-palma-de-aceite>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (2013). *Mini anuario Estadístico 2013, principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Recuperado de [http://fedepalma.portalpalmero.com/bigdata/fedepalma/pdf/minianuario\\_estadistico\\_2013.pdf](http://fedepalma.portalpalmero.com/bigdata/fedepalma/pdf/minianuario_estadistico_2013.pdf)
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (2014). *Informe de gestión 2013*. Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/InformeGestionFedepalma2013.pdf>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (2015). *Mini anuario Estadístico 2015, principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Recuperado de <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Minianuario%20Estad%3%ADstico%202015.pdf>
- Fernando, S., Hall, C., y Jha, S. (2006). NO x reduction from biodiésel fuels. *Energy & Fuels*, 20(1), 376-382.
- Flórez, A. M. (2011). *Modelo regional de producción y transporte de biocombustibles en Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Fontanilla, C. A., Mogollón, D. I. N., y Urueta, J. C. U. (2015). Consideraciones sobre el transporte de fruto de palma de aceite en la Zona Norte de Colombia. *Revista Palmas*, 36(1), 41-53.
- Food and Agriculture Organization Statistic. (s.f.). *Producción de aceite de palma*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QD/S>
- Food and Agriculture Organization Statistic. (s.f.). *Cantidades de producción de aceite de soja por país*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QP/S>
- Food and Agriculture Organization Statistic. (s.f.). *Comercio de aceite de soja*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/T/TP/S>
- Food and Agriculture Organization Statistic (s.f.). *Comparación- comercio cultivos y productos de ganadería*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/compare/S>
- Food and Agriculture Organization Statistic. (s.f.). *Cantidades de producción de sebo por país*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QP/S>
- Food and Agriculture Organization Statistic (s.f.). *Comercio de sebo*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/T/TP/S>
- Food and Agriculture Organization Statistic (s.f.). *Comparación- comercio cultivos y productos de ganadería*. Recuperado el 13 de agosto de 2015 de <http://faostat3.fao.org/compare/S>
- Franco, C., Flórez, A., y Ochoa, M. (2008). Análisis de la cadena de suministros de biocombustibles en Colombia. *Revista de Dinámica de Sistemas*, 4(2), 109-133.
- Franco, P. (2010). *Cosecha del fruto de la palma de aceite*. Fedepalma, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Universidad Nacional, Abierta y a Distancia, Universidad de Nariño. Recuperado de <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/60992/60992.pdf>
- Freedman, B. E. H. P., Pryde, E. H., y Mounts, T. L. (1984). Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 61(10), 1638-1643.
- Ganduglia, F., León, J. G., Gasparini, R., Rodríguez, M. E., Huarte, G. J., Estrada, J., y Filgueiras, E. (2009). *Manual de biocombustibles*. IICA, ARPEL.

- García, H., y Calderón, L. (2012). *Evaluación de la política de Biocombustibles en Colombia*. Recuperado de <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/338>
- Glišić, S., Lukic, I., y Skala, D. (2009). Biodiésel synthesis at high pressure and temperature: Analysis of energy consumption on industrial scale. *Bioresource technology*, 100(24), 6347-6354.
- Green, C. (s.f.). *Usos del propilenglicol en la vida diaria*. Recuperado de: [http://www.ehowenespanol.com/ usos-del-propilenglicol-vida-diaria-info\\_508530/](http://www.ehowenespanol.com/ usos-del-propilenglicol-vida-diaria-info_508530/)
- Grupo Sectorial de óxido de Propileno Propilenglicoles. (2013). *Directrices para la manipulación y distribución del Propilenglicol USP/EP*. Recuperado de [http://www.propylene-glycol.com/uploads/Guideline-sUSP\\_2013\\_SP\\_HR.pdf](http://www.propylene-glycol.com/uploads/Guideline-sUSP_2013_SP_HR.pdf)
- Gobierno de Colombia. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010*. Estado comunitario desarrollo para todos, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá.
- Gobierno Nacional de Colombia. (2010). *Plan de Desarrollo Nacional 2010-2014*. Prosperidad para todos, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá.
- Goering E., Schwab W., Daugherty J., Pryde H., y Heakin J. (1982). Fuel properties of eleven vegetable oils. *Trans ASAE*, 25, 1472-83.
- Gualteros Sánchez, J. M. (2011). *Estudio prospectivo de la cadena productiva del Biodiésel a partir de palma africana en Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gui, M. M., Lee, K. T., y Bhatia, S. (2008). Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiésel feedstock. *Energy*, 33(11), 1646-1653 [tabla 17].
- Guterman, L. (2014). Costos de producción e indicadores de productividad laboral en la agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2011- 2012. *Palmas*, 35(3), 23-40 [Gráfico 21].
- Hamilton, C. R. (2006). An overview of the rendering industry. *Essential Rendering*, 1 [Tabla 18].
- Hernández, P. N. B., Santamaría, J. R. A., y Rios, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Universidad de Antioquia.
- Herreras, Y., Lumbreras, J., Postigo, J., y Sánchez, E. (2007). *Producción de biodiésel: aplicaciones a países en desarrollo*. Ingeniería Sin Fronteras. [Gráficos 1, 2 y 3] Recuperado de <http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2011/08/INFORME-2-BIODIÉSEL.pdf>
- Hincapié, G., Moreno, J., y López, D. (2011). Transesterificación de aceite de higuera crudo utilizando catalizadores heterogéneos-estudio preliminar. *Dyna*, 78(169), 176-181.
- IHS Chemical. (2013). *Propylene Glycols*. Recuperado de <http://www.ihs.com/products/chemical/planning/ceh/propylene-glycols.aspx>
- Infante, A., y Tobón, S. (2010). *Bioenergía para el desarrollo sostenible: políticas públicas sobre biocombustibles y su relación con la seguridad alimentaria en Colombia*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i1475s.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2002). Cap. II. Cobertura y uso actual de las tierras en Colombia. *Zonificación de los conflictos de usos de suelo en Colombia*. Recuperado de [https://www.siac.gov.co/documentos/DOC\\_Portal/DOC\\_Suelo/Conflictos%20Uso%20de%20la%20Tierra/20120730\\_Zon\\_%20conf\\_uso\\_tierra\\_\(Cap%202%20Cobertura\)%20.pdf](https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Suelo/Conflictos%20Uso%20de%20la%20Tierra/20120730_Zon_%20conf_uso_tierra_(Cap%202%20Cobertura)%20.pdf)
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2010). *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas. II. Biodiésel*. San José, Costa Rica.
- Janaun, J., y Ellis, N. (2010). Perspectives on biodiésel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1312-1320.

- Kemp, W. H. (2006). *Biodiésel, basics and beyond: A comprehensive guide to production and use for the home and farm*. Aztext Pr. [Tabla 2]
- Knothe, G., Krahl, J., y Van Gerpen, J. (Eds.). (2005). *The biodiésel handbook*. Champaign, IL: AOCS press.
- Kulkarni, M. G., y Dalai, A. K. (2006). Waste cooking oil an economical source for biodiésel: a review. *Industrial & engineering chemistry research*, 45(9), 2901-2913.
- Lapuerta M., Fernández J. R., de Mora E. F. (s.f.). Correlation for the estimation of the cetane number of biodiésel fuels and implications on the iodine number. *Energy Policy* 2009, 37, 4337-44.
- Leung, D. Y., Wu, X., y Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiésel production using catalyzed transesterification. *Appliedenergy*, 87(4), 1083-1095.
- Ley 693. Diario oficial año CXXXVII. No. 44564, Bogotá, Colombia, 9 de septiembre de 2001.
- Ley 939. Diario oficial año CXL. No. 45778, Bogotá, Colombia, 31 de diciembre de 2004.
- Ley 1111. Diario oficial año CXLII. No. 46494, Bogotá, Colombia, 27 de diciembre de 2006.
- Llorente, J. J., y Sarmiento, R. A. (2013). *Estudio de la influencia de la temperatura y la humedad en un proceso de extracción de aceite de semillas vegetales*. (Tesis de Pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- Logit GSD+. (2010). *Transporte de biocombustibles en Colombia*. Recuperado de <http://www.minminas.gov.co/documents/10180/592418/Consultoria+transporte+de+Biocombustibles+-+Presentaci%C3%B3n+Final+Modo+de+compatibilidad.pdf>
- Ma, F., Clements, L. D., y Hanna, M. A. (1998). Biodiésel fuel from animal fat. Ancillary studies on transesterification of beef tallow. *Industrial & engineering chemistry research*, 37(9), 3768-3771
- Ma, F., y Hanna, M. A. (1999). Biodiésel production: a review. *Bioresource technology*, 70(1), 1-15.
- Markets and Markets. (s.f.). *Propylene Glycol worth \$4.2 Billion by 2019*. Recuperado de: <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/propylene-glycol.asp>
- Masjuki, H., Abdulmuin, M. Z., y Sii, H. S. (1996). Investigations on preheated palm oil methyl esters in the diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 210(2), 131-138.
- Mata, T. M., Martins, A. A., y Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiésel production and other applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(1), 217-232.
- Math, M. C., Kumar, S. P., y Chetty, S. V. (2010). Technologies for biodiésel production from used cooking oil: A review. *Energy for Sustainable Development*, 14(4), 339-345.
- Meher, L. C., Sagar, D. V., y Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiésel production by transesterification—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(3), 248-268.
- Merchant Research & Consulting ltd. (2014). *World Propylene Glycol Market to Reach Supply-Demand Balance in 2015*. Recuperado de <http://mcgroup.co.uk/news/20140418/propylene-glycol-market-reach-supplydemand-balance-2015.html>
- Merchant Research & Consulting ltd. (2015). *Propylene Glycol (PG): 2014 World Market Outlook and Forecast up to 2018*. Recuperado de <http://mcgroup.co.uk/researches/propylene-glycol-pg>
- Mesa, J. (Marzo de 2009). Programa de biodiésel en Colombia y su potencial para la generación de energía eléctrica. Segundas Jornadas de Generación. Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica. Conferencia llevada a cabo en Bogotá, Colombia.
- Mesa, J. (agosto de 2011). La palma de aceite: un actor relevante para la reconciliación, los biocombustibles y el desarrollo de la Orinoquía. En foro: *Reconciliación-Urbanismo-Energía*. Foro llevado a cabo en la Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.

- Mesa, J (septiembre de 2014). Modelo Regional de Competitividad, Sector Palma, Aceites y Biocombustibles - Zona Norte. Foro llevado a cabo en la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
- Mingorance, F., Minelli, F., y Le Du, H. (2004). El cultivo de la palma africana en el Chocó. *Legalidad Ambiental, Territorial y Derechos Humanos*.
- Ministerios de Minas y Energía-Dirección de hidrocarburos. (2014). *Agentes de la cadena de distribución de los combustibles - Octubre 14 de 2014*. Bogotá, Colombia. Recuperado de [http://www.sicom.gov.co/apc-aa-files/495052435f5052454445465f30303139/AGENTES\\_DE\\_LA\\_CADENA\\_OCTUBRE\\_14\\_DE\\_2014.pdf](http://www.sicom.gov.co/apc-aa-files/495052435f5052454445465f30303139/AGENTES_DE_LA_CADENA_OCTUBRE_14_DE_2014.pdf)
- Mittelbach, M., y Renschmidt, C. (2004). *Biodiésel: the comprehensive handbook*. Martin Mittelbach.
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., y Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 578-597.
- National Renderers Association (s.f.). *The Rendering Process*. Recuperado de <http://www.nationalrenderers.org/about/process/>
- National Renderers Association (s.f.). *Membership Directory*. Recuperado de <https://d10k7k7mywg42z.cloudfront.net/assets/53459df24f720a5b9c0001f1/NRA2014Directory.pdf>
- Ng, J. H., Ng, H. K., y Gan, S. (2010). Recent trends in policies, socioeconomy and future directions of the biodiésel industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12(3), 213-238.
- Nelson, R. G., y Schrock, M. D. (2006). Energetic and economic feasibility associated with the production, processing, and conversion of beef tallow to a substitute diesel fuel. *Biomass and Bioenergy*, 30(6), 584-591.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2013-2022*, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo. [Gráficos 7 y 8]. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/018/i3307s/i3307s.pdf>
- Ojeda, Y., Sánchez, J., León, A., y Medina, J. (2007). *Informe de Vigilancia Tecnológica: Tecnologías de Producción de Biodiésel*. Programa Nacional de Energía y Minería. Colciencias. Recuperado de <http://disi.unal.edu.co/~jmsanchezt/documentos/Informes%20VT%20Colciencias/Biodiésel%20Ensamblado.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *Bioenergía y seguridad alimentaria. El Marco Analítico BEFS*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/i1968s/i1968s.pdf>
- Ortiz, R., y Fernández, O. (1994). El cultivo de la palma aceitera. *Universidad Estatal a Distancia*.
- Pacific Alternative Energy Resource. (s.f.). *Yellow Grease, Used Cooking Oil and Waste Vegetable Oil*. Recuperado de <http://pacaltenergy.com/uco.html>
- Pandey, A. (Ed.). (2009). *Handbook of plant-based biofuels*. Boca Ratón: CRC Press.
- Pérez, A. (2012). *1,3 Propanodiol de origen petroquímico u obtenido vía catálisis química y/ o Bioquímica: Diferentes productos obtenidos por medio catalítico o un bioproceso*. Recuperado de <http://quimiart.files.wordpress.com/2012/04/1-3-propanodiol-de-origen-petroquic3admico-u-obtenido-vc3ada-calc3a1lisis-quc3admica-y-o-bioquic3admica-diferentes-productos-obtenidos-por-medio-catalc3adtico-o-un-bioproceso.pdf>
- Plata, V., Kafarov, V., y 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.
- Proexport. (2013). *Inversión en el sector de Biocombustibles en Colombia*. Bogotá, Colombia Recuperado de <http://www.inviertaencolombia.com.co/sectores/agroindustria/biocombustibles.html>
- Propilenglicol.com (s.f.). *Usos del Propilenglicol*. Recuperado de: <http://propilenglicol.com/>

- TheDowChemicalCompany (s.f.). *PurityPlus. Dow Propilenglicol USP/E.P.* Recuperado de [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_003b/0901b8038003bfb7.pdf?filepath=propyleneglycol/pdfs/noreg/117-01143.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_003b/0901b8038003bfb7.pdf?filepath=propyleneglycol/pdfs/noreg/117-01143.pdf&fromPage=GetDoc)
- Rajeev M. P. (2014). *Markets and Potential for Non-polymer Derivatives of Propylene.* Recuperado de: <http://platts.com/IM.Platts.Content/ProductsServices/ConferenceandEvents/2014/xc450/presentations/PropyleneIts%20Derivatives-Feb%202014.PDF>
- El Tiempo. (2013). Mercado negro del aceite, un riesgo en su mesa. *Huella social.* Recuperado de [http://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/responsabilidadsocial7/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR\\_MULTIMEDIA-12581710.html](http://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/responsabilidadsocial7/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_MULTIMEDIA-12581710.html)
- Refaat, A. A. (2010). Different techniques for the production of biodiésel from waste vegetable oil. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(1), 183-213.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2013). *Global Status Report 2013.* Recuperado de [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf)
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2014). *Global Status Report 2014.* [Gráficos 4 y 36]. Recuperado de [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014\\_full%20report\\_low%20res.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf)
- Resolución 18 - 1780. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 29 de diciembre de 2005.
- Resolución 18 - 1109. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 25 de julio de 2007.
- Resolución 18 - 1661. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 23 de octubre de 2007.
- Resolución 18 - 0134. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 29 de enero de 2009.
- Resolución 18 - 0294. Diario Oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 26 de febrero de 2009.
- Resolución 18 - 1452. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 27 de agosto de 2009.
- Resolución 18 - 1120. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 28 de junio de 2010.
- Resolución 18 - 1966. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 24 de noviembre de 2011.
- Resolución 2154. Diario oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 02 de agosto de 2012.
- Resolución 91867. Diario Oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 28 de diciembre de 2012.
- Resolución 90664. Diario Oficial de Colombia, Bogotá, Colombia, 24 de junio de 2014.
- Restrepo, J. E. (2012). El desarrollo sostenible y el reciclaje del aceite usado de cocina a la luz de la jurisprudencia y el ordenamiento jurídico colombiano. *Producción Más Limpia*, 7(1).
- Ruitenbergh, R. (2013). U.S. Tallow Exports seen falling by Oil World on Biodiésel use. *Bloomberg.* Recuperado de <http://www.bloomberg.com/news/2013-06-18/u-s-tallow-exports-seen-falling-by-oil-world-on-biodiesel-use.html>
- Sánchez Torres, J. A. (2014). *Determinación de la relación entre parámetros de proceso y rendimiento de obtención de biodiésel a partir de aceites de cocina usados, con base en meta-análisis* (Tesis de Maestría). Universidad de la Sabana, Chía, Colombia.
- Schwab, A. W., Dykstra, G. J., Selke, E., Sorenson, S. C., y Pryde, E. H. (1988). Diesel fuel from thermal decomposition of soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 65(11), 1781-1786.
- Şensöz, S., Angin, D., y Yorgun, S. (2000). Influence of particle size on the pyrolysis of rapeseed (*Brassica napus* L.): fuel properties of bio-oil. *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 271-279.
- Shahid, E. M., y Jamal, Y. (2011). Production of biodiésel: a technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4732-4745. [Tabla 8].



- Singh, S. P., y Singh, D. (2010). Biodiésel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 200-216.
- Sistema de Información Estadística del sector palmero – SISPA. (s.f.). *Municipios con cultivos identificados de palma de aceite*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/areas.aspx>
- Sistema de Información Estadística del sector palmero – SISPA. (s.f.). Áreas en desarrollo y producción. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/areas.aspx>
- Sistema de Información Estadística del sector palmero - SISPA (s.f.). *Evolución del fruto de palma procesado y aceite de palma extraído*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/Home.aspx>
- Sistema de Información Estadística del sector palmero - SISPA (s.f.). *Distribución de las Ventas del aceite de palma por industria en Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/Home.aspx>
- Sistema de Información Estadística del Sector Palmero - SISPA (s.f.). *Evolución de los rendimientos de fruto de palma y de aceite de palma*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/Home.aspx>
- Solarte Burbano, N., y Vargas Doraro, M. C. (2013). Diseño de las estrategias de recolección del aceite de cocina usado para su reutilización en la producción de biodiésel en 4 barrios de la ciudad de Cali. (Proyecto de grado). Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Recuperado de <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/5196/1/TIA01580.pdf>
- Talebian-Kiakalaieh, A., Amin, N. A. S., y Mazaheri, H. (2013). A review on novel processes of biodiésel production from waste cooking oil. *Applied Energy*, 104, 683-710. [Tablas 9 y 10]
- Thoenes, P. (2007). *Biofuels and commodity markets-palm oil focus*. FAO, Commodities and Trade Division.
- United Nations Framework on Climate Change. (s.f.). *Un poco de historia- de la ratificación al cumplimiento*. Recuperado de [http://unfccc.int/portal\\_espanol/informacion\\_basica/protocolo\\_de\\_kyoto/historia/items/6216.php](http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/historia/items/6216.php)
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2009). *Biocombustibles en Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles\\_Colombia.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf)
- United Nations Conference on Trade And Development. (2014). *The global biofuels market: energy security, trade and development*. UNCTAD/PRESS/PB/2014/3 (Nº.30). Recuperado de [http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/presspb2014d3\\_en.pdf](http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/presspb2014d3_en.pdf)
- United States Energy Information Administration. (2014). *Monthly Biodiésel Production Report with data for April 2014*. [Tabla 5]. Recuperado de <http://www.eia.gov/biofuels/biodiésel/production/biodiésel.pdf>
- U.S. Food and Drug Administration. (1973). *Select Committee on GRAS Substances (SCOGS) Opinion: Propylene Glycol*. Recuperado de <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/SCOGS/ucm261045.htm>
- United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. (2014). *EU Biofuels Annual 2014*. [Gráfico 5; Tabla 4]. Recuperado de [http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_The%20Hague\\_EU-28\\_7-3-2014.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_7-3-2014.pdf)
- United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. (2014). *Argentina Biofuels Annual 2014*. [Gráfico 6]. Recuperado de [http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_Buenos%20Aires\\_Argentina\\_7-1-2014.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Buenos%20Aires_Argentina_7-1-2014.pdf)
- United States Department of Agriculture - USDA. (2015). *National Weekly Ag Energy Round-Up*. Recuperado de <http://www.ams.usda.gov/mnreports/lswagenergy.pdf> [Tabla 19].

- Venkataraman, N. S. (2002). Focus on bio-diesel. *Nandini Chem J IX*, 10, 19-21.
- Wimmer, T. (1992). Preparation of esters of fatty acids with short chain alcohols. *Austrian AT*, 250.
- World Bank. (2015). *Commodity Markets- Prices*. Recuperado de [http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/GEP/GEPcommodities/Price\\_Forecast\\_20150722.pdf](http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/GEP/GEPcommodities/Price_Forecast_20150722.pdf)
- World Bank. (s.f.). *Commodity Markets Outlook*. Recuperado de <http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTDECPROSPECTS/0,,contentMDK:21574907~menuPK:7859231~pagePK:64165401~piPK:64165026~theSitePK:476883,00.html>
- Xiao, G., y Gao, L. (2011). *First Generation Biodiesel*. INTECH Open Access Publisher.
- Yaakob, Z., Mohammad, M., Alherbawi, M., Alam, Z., y Sopian, K. (2013). Overview of the production of biodiesel from waste cooking oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 184-193 [tabla 17].
- Ziejewski, M., Kaufman, K. R., Schwab, A. W., y Pryde, E. H. (1984). Diesel engine evaluation of a nonionic sunflower oil-aqueous ethanol microemulsion. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 61(10), 1620-1626.

# ANEXOS

## Anexo I. Normatividad

Norma	Entidad emisora	Año	Descripción
<b>Marco legal</b>			
Ley 693	Congreso de la República	2001	Estableció como obligatoria la mezcla de la gasolina con alcohol carburante: biogasolina
Ley 939	Congreso de la República	2004	Estimulación y comercialización del biocombustible para uso en motores diesel: biodiésel
<b>Marco técnico y de calidad</b>			
Res. 1289	MME, MAVDT	2005	Parámetros técnicos y ambientales para la producción de biodiésel y se estableció como fecha de inicio de la distribución de la mezcla de B5 de biodiésel con ACPM el primero de enero de 2008
Res. 1180	MME, MAVDT	2006	Modifica los requerimientos de calidad definidos por la Resolución 1289 de 2005.
NTC 5444	Icontec	2006	Especificaciones técnicas del biodiésel como combustible o componente de la mezcla con ACPM
Res. 18 0782	MME, MAVDT	2007	Modifica los criterios de calidad del biodiésel como componente de la mezcla con diésel fósil
Res. 18 2087	MME, MAVDT	2007	Modifica parámetros de calidad del biodiésel como componente de la mezcla con diésel fósil
NTC 1438	Icontec	2013	Especificaciones que deben cumplir y los métodos de ensayo que se deben utilizar para los combustibles empleados en motores diésel disponibles en Colombia
<b>Marco de precios</b>			
Res. 18 1780	MME	2005	Estructuras de precios del ACPM que se mezcla con el biodiésel
Res. 18 0212	MME	2007	Modifica la estructura de precios definida en la resolución 18 1780 de 2005
Res. 18 1109	MME	2007	Define tarifas de transporte entre las plantas de biodiésel hasta los distribuidores mayoristas y /o refinerías
Re. 18 2158	MME	2007	Modifica la estructura de precios del ACPM mezclado con biodiésel
Res. 18 0106	MME	2008	Establece disposiciones relacionadas con la estructura de precios del ACPM y de la mezcla del mismo con el biocombustible para uso en motores diesel
Res. 18 0134	MME	2009	Ajuste de la fórmula del ingreso al productor de biodiésel basado en lo estipulado en el Documento Conpes 3510 de 2008
Res. 18 0294	MME	2009	Define tarifas máximas de los fletes de las plantas productoras de biodiésel hasta los distribuidores mayoristas en el suroccidente del país

Norma	Entidad emisora	Año	Descripción
Res. 18 1966	MME	2011	Modifica el artículo 2 de la resolución 18 1780 de 2005 con respecto al ingreso del productor de biodiésel
Res. 91867	MME	2012	Unifica las tarifas máximas de transporte terrestre de los biocombustibles desde las plantas productoras hasta las refinerías y/ o distribuidores mayoristas
<b>Estímulos tributarios y financieros</b>			
Ley 1111	Congreso de la República	2006	Deduce del 40% del impuesto a la renta a inversiones en activos fijos de proyectos agroindustriales
Decreto 383	Ministerio de Hacienda y crédito público	2007	Incentivos para la creación de zonas francas destinadas a la producción de biocombustibles
Decreto 2594	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	2007	Creación de un fondo de capital de riesgo para financiar proyectos de biocombustibles
Concepto 87 246	DIAN	2009	Disminuye la tarifa de retención en la fuente a título de renta en materia de biocombustibles
Marco ambiental			
Ley 1083	Congreso de la República	2006	Normas sobre planeación urbana sostenible, dispone que el MME y El MAVDT deben determinar cuales son los combustibles limpios
Res. 18 0158	MME, MAVDT y Ministerio de Protección Social	2007	Determinación de combustibles limpios
Ley 1205	Congreso de la República	2008	Mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos y el derecho a un ambiente sano. Disminución del porcentaje de azufre en el diesel fósil
<b>Marco de Porcentaje de mezcla</b>			
Decreto 2629	MME	2007	Promueve el uso de biocombustibles en el país, define medidas especiales de los vehículos que utilicen mezcla de biodiésel con diesel fósil, e incrementa el porcentaje de dicha mezcla a B10 a partir del primero de enero de 2010
Res. 18 0916	MME	2009	Incrementa a B7 el porcentaje de mezcla de biodiésel con diésel fósil en Santander y sur del Cesar
Res. 18 1318	MME	2009	Establece el porcentaje de mezcla de B5 en Bogotá, Llanos Orientales y centro del país
Res. 18 2111	MME	2009	Incrementa a B10 el porcentaje de mezcla de biodiésel con diesel fósil en la Costa Atlántica, Antioquia, Santander y sur del Cesar
Res. 18 2367	MME	2009	Disminuye a B7 el porcentaje de mezcla en la Costa Atlántica, Antioquia, Santander y sur del Cesar
Res. 18 1120	MME	2010	Incrementa a B10 el porcentaje de mezcla de biodiésel con diésel fósil en Antioquia, sur del Cesar, Santander, occidente del país, Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío. A B7 en Bogotá, centro del país y Llanos Orientales.

Norma	Entidad emisora	Año	Descripción
Decreto 4892	MME	2011	Establece que el MME y el MAVDT podrán definir porcentajes de mezcla de biodiésel con diesel fósil
Res. 91 664	MME	2012	Incrementa el porcentaje de mezcla a B8 en Bogotá, centro del país y Llanos Orientales
<b>Otras disposiciones</b>			
Res. 18 2142	MME	2007	Establece normas para el registro de productores y/o importadores de biodiésel y se establecen otras disposiciones con respecto a su mezcla con el ACPM de origen fósil
Documento Conpes 3510	Departamento Nacional de Planeación	2008	Creación de lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia
Decreto 2328	Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural	2008	Creación de la Comisión Interseccional para el manejo de biocombustibles
Programa PROURE	Ministerio de Minas y Energía	2010	Promoción y uso racional y eficiente de la energía y de otras fuentes de la misma. Para garantizar el abastecimiento energético del país, la protección del medio ambiente, la protección del consumidor y la competitividad de la economía nacional
Decreto 381	Presidencia de la República	2012	Modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía
Res. 01169	DIAN	2012	Establece la subpartida arancelaria del biodiésel
Decreto 1617	Presidencia de la República	2013	Modifica las funciones del Ministerio de Minas y Energía
Ley 1715	Congreso de la República	2014	Integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional

## Anexo 2. Principales tecnologías de transesterificación

Tecnología	P (atm)	T°C	Catalizador	Operación
Lurgi	1	60-70	Básico	Continuo
Desmet	50	200	Metilato sódico	Continuo
Energiea	1	60	KOH	Continuo
BDI	1	30-60	Básico	Batch
IFP axens	1	50-130	Básico/ácido	Batch
Conneman/field and Hahn	1	60-70	NaOH	Continuo
Westfalia	Baja	Baja	Básico	Continuo
Biofuels S.A.	1,5	90	NaOH	Batch

Tecnología	P (atm)	T°C	Catalizador	Operación
Comprimo/Vogel and Noot	1	Ambiente	KOH	Batch
Novamont/Technimont	1	Menor ambiente	Orgánico	Batch
Total fina	40	220	TiO2 soportado	Batch continuo
Biox	1	Ambiente	Básico	Continuo
Gratech	3,5	95		Continuo
Ekoi Biodiesel Production	Reducida	-	KOH	Continuo

Fuente: Briseño, Y, 2006.

### Anexo 3. Departamentos y municipios palmeros año 2014

Zona	Departamento	Municipios	Zona	Departamento	Municipio
Norte	Antioquia	Chigorodó, Mutatá, Carepa	Central	Antioquia	Yondó, Sonsón, Caucasia
	Atlántico	Repelón, Candelaria		Bolívar	Cantagallo, Morales, Río Viejo, San Martín de Loba, San Pablo, Simití
	Bolívar	Arjona, Mahates, María La Baja, San Estanislao, San Juan Nepomuceno		Cesar	Aguachica, La Gloria, Pailitas, Pelaya, Río de Oro, San Alberto, San Martín, Tamalameque
	Cesar	Agustin Codazzi, Becerril, Bosconia, Chimichagua, Chiriguana, Curumaní, El Copey, El Paso, La Jagua de Ibirico, La Paz, San Diego, Valledupar		Cundinamarca	Puerto Salgar
	Córdoba	Buenvista, Loricá, Montería, San Bernardo del Viento, Tierralta		Norte de Santander	Cúcuta, El Zulia, Sardinata, Tibú, Cachira
	La Guajira	Dibulla, Rioacha, Villanueva		Santander	Barrancabermeja, Betulia, Bucaramanga, Girón, Lebrija, Puerto Parra, Puerto Wilches, Rionegro, Sabana de Torres, San Vicente de Chucurí, Simacota

Zona	Departamento	Municipios	Zona	Departamento	Municipio
Norte	Magdalena	Algarrobo, Aracataca, Ariguaní, Ciénaga, El Piñón, El Retén, Fundación, Pivijay, Pueblo Viejo, Remolino, Salamina, Santa Marta, Zona Bananera	Suroccidental	Cauca	Guapi
				Caquetá	Belén de los Andaquíes
				Nariño	San Andrés de Tumaco
	Sucre	San Onofre, Palmito, Toluviéjo			
Oriental	Casanare	Aguazul, Maní, Monterrey, Nunchía, Orocué, Sabanalarga, San Luis de Palenque, Tauramena, Villanueva, Yopal			
	Cundinamarca	Medina, Paratebueno			
	Meta	Acacías, Barranca de Upía, Cabuyaro, Castilla La Nueva, Cumural, El Castillo, Fuente de Oro, Granada, Mapiripán, Puerto Concordia, Puerto Gaitán, Puerto Lleras, Puerto López, Puerto Rico, Restrepo, San Carlos de Guaroa, San Juan de Arama, San Martín, Villavicencio, Vista Hermosa			
Vichada	La primavera				

Fuente: Elaboración propia. Datos: SISPA s.f.

### Anexo 4. Grupos de investigación relacionados con la cadena productiva del biodiésel (primer y segundo eslabón)

No.	Grupo de investigación	Universidad	Ciudad	Categoría	Línea de investigación
<b>Palma de Aceite</b>					
1	Grupo de investigación en cultivos tropicales - INYUBA	Instituto Universitario de La Paz	Barrancabermeja, Santander	D	Seguridad alimentaria (cultivos de palma de aceite, entre otros)
2	Investigación en palma de aceite	Cenipalma	Bogotá, Cundinamarca	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>“1. Biorefinería y sostenibilidad</li> <li>2. Competitividad en plantas de beneficio</li> <li>3. Fisiología de la palma de aceite</li> <li>4. Investigación en plagas de la palma</li> <li>5. Investigación en enfermedades de la palma</li> <li>6. Validación de resultados y transferencia tecnológica</li> <li>7. Obtención de variedades de mejora de la palma de aceite”</li> </ul>
3	Grupo de investigación en enfermedades de la palma	Cenipalma	Bogotá, Cundinamarca	Grupo sin clasificación	Investigación en enfermedades de la palma de aceite
4	Manejo integrado de plagas de la palma de aceite	Cenipalma	Bogotá, Cundinamarca	Grupo sin clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>“1. Investigación de artrópodos, plagas y organismos benéficos del cultivo de palma de aceite</li> <li>2. Búsqueda, evaluación y desarrollo de entomopatógenos para el control de plagas de la palma</li> <li>3. Diagnóstico y reconocimiento de problemas de insectos plagas de la palma</li> <li>4. Estudios sobre la biología y comportamiento de las plagas insectiles de la palma de aceite</li> <li>5. Evaluación de la eficacia de insumos biológicos y químicos en el monitoreo y control de plagas de la palma de aceite</li> <li>6. Insectos relacionados con la diseminación de enfermedades de la palma”</li> </ul>
5	Procesos y usos del aceite de palma y subproductos	Cenipalma	Bogotá, Cundinamarca	Grupo sin clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>“1. Biorefinería y sostenibilidad</li> <li>2. Productividad competitiva y sostenible”</li> </ul>



No.	Grupo de investigación	Universidad	Ciudad	Categoría	Línea de investigación
6	Ingeniería agrícola	Universidad Nacional de Colombia	Medellín, Antioquia	B	"1. Agroindustria y postcosecha 2. Mecanización agrícola (palma de aceite, entre otros cultivos)"
7	Grupo de investigación en palmas silvestres neotropicales	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá, Cundinamarca	A	"1. Taxonomía, ecología de palmas 2. Uso sostenible de palmas"
<b>Biocombustibles</b>					
8	Procesos y soluciones energéticas (GP & SE)	Fundación Universidad Central	Bogotá, Cundinamarca	C	"1. Materiales y procesos limpios 2. Uso y diversidad de microalgas (biocombustibles)"
9	Grupo de investigación en aprovechamiento de residuos	Universidad Nacional de Colombia	Manizales, Caldas	C	1. Aprovechamiento energético y recuperación de compuestos valiosos de residuos industriales, agrícolas o municipales (producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado, palma de aceite, higuera y biocombustibles sólidos)
10	Grupo de investigación en procesos químicos y bioquímicos	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá, Cundinamarca	AI	Biomasa y biocombustibles
11	Grupo de diseño de productos y procesos	Universidad de Los Andes	Bogotá, Cundinamarca	AI	Ingeniería biológica: biocombustibles (etanol y butanol) a partir de residuos celulósicos
12	Grupo de investigación en catálisis y nanomateriales	Universidad Nacional de Colombia	Medellín, Antioquia	C	Energía: biocombustibles
13	Grupo procesos químicos industriales	Universidad de Antioquia	Medellín, Antioquia	C	Biocombustibles
14	Procesos químicos catalíticos y biotecnológicos	Universidad Nacional de Colombia	Manizales, Caldas	AI	Biocombustibles a partir de biomasa
15	Grupo de investigación en aplicación de nuevas tecnologías	Universidad Nacional de Colombia	Manizales, Caldas	AI	Intensificación de procesos para la producción de biocombustibles

No.	Grupo de investigación	Universidad	Ciudad	Categoría	Línea de investigación
16	Grupo de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía	Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga, Santander	AI	<p>“1. Biocombustibles y coproductos a partir de plantas oleaginosas            2. Análisis energético y exergético de las cadenas de producción de biocombustibles            3. Análisis del ciclo de vida de los biocombustibles            4. Biocombustibles a partir de biomasa sólida            5. Biocombustibles y coproductos a partir de material lignocelulósico            6. Cultivo de microalgas, biocombustibles y coproductos a partir de microalgas            7. Producción de biocombustibles de primera y segunda generación”</p>
17	Grupo de investigación en biocombustibles y biorefinerías -GRUBIOC	Universidad Autónoma de Occidente, Universidad del Valle, Universidad Libre de Colombia	Cali, Valle	A	Biocombustibles (enfocado en el proceso productivo del bioetanol)
18	Diseño de procesos y energía	Universidad del Cauca, Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Valle	Popayán, Cauca	C	Biorefinerías y biocombustible
19	Bioprocesos	Universidad del Atlántico	Barranquilla, Atlántico	C	Biocombustibles
20	IDAB - Grupo de investigación en diseño de procesos y aprovechamiento de biomásas	Universidad de Cartagena	Cartagena, Bolívar	D	<p>“1. Agroindustria            2. Producción de biocombustibles a partir de diversas materias primas (biodiesel y bioetanol)”</p>
21	Bioprocesos y flujos reactivos	Universidad Nacional de Colombia	Medellín, Antioquia	AI	Producción de bioetanol
22	Grupo de energías alternativas y biomasa	Universidad Popular del Cesar, Universidad de La Guajira	Valledupar, Cesar	B	Biocombustibles

No.	Grupo de investigación	Universidad	Ciudad	Categoría	Línea de investigación
23	Procesos químicos y bioquímicos sostenibles	Univesidad del Atlántico	Barranquilla, Atlántico	C	Biocombustibles
24	Uso racional de la energía y preservación del medio ambiente	Universidad del Norte	Barranquilla, Atlántico	AI	Biocombustibles
25	Mecanismos de desarrollo limpio y gestión energética	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá, Cundinamarca	A	Biomasa y biocombustibles
26	GMAE - Conservación y aprovechamiento de los recursos naturales	Universidad de Ibagué	Ibagué, Tolima	B	Biocombustibles y uso eficiente de la energía
27	(GIPAVE) Procesos y agroindustrias vegetales	Universidad de Córdoba	Montería, Córdoba	AI	Aprovechamiento de subproductos agroindustriales para biocombustibles
28	Centro de desarrollo agroindustrial del Tolima - Cedagritol	Universidad del Tolima	Ibagué, Tolima	B	Ciencia y tecnología en sistemas coloidales y dispersos para aplicaciones agroindustriales, biocombustibles, farmacéutico y cosmético
29	Bioindustrias	Universidad Autónoma de Colombia	Bogotá, Cundinamarca	D	"1. Bioalcohol, biodiesel, bioenergía 2. Nuevas fuentes de biomasa para la obtención de biocombustibles"
30	Grupo de Investigación en Biocombustibles ICP-ECOPETROL	Instituto Colombiano del Petróleo	Piedecuesta, Santander	Grupo sin clasificación	"1. Aprovechamiento de residuos generados en la obtención de biocombustibles 2. Biotecnología 3. Investigación en biocombustibles"
31	GINMEA	Universidad Santo Tomás	Bucaramanga, Santander	C	1. Biocombustibles
32	Aprovechamiento energético de recursos naturales	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá, Cundinamarca	C	"1. Química de los biocombustibles 2. Biotecnología aplicada a combustibles de segunda, tercera y cuarta generación 3. Generación de energía a partir de biomasa"
33	Yacimientos de hidrocarburos	Universidad Nacional de Colombia	Medellín, Antioquia	B	Gas Natural y biocombustibles

No.	Grupo de investigación	Universidad	Ciudad	Categoría	Línea de investigación
34	Ciencia, tecnología del gas y uso racional de la energía	Universidad de Antioquia	Medellín, Antioquia	AI	Combustibles alternativos: biodiesel y bioetanol
35	Grupo de investigación en eficiencia energética y energías alternativas - GEAL	Universidad Nacional de Colombia	Palmira, Valle	C	Biocombustibles

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Colciencias.

### Anexo 5. Especificaciones técnicas del biodiésel

Las especificaciones del biodiésel se encuentran definidas por marcos normativos delimitados y adoptados por cada país. No obstante las normas ASTM D 6751 de Estados Unidos y EN 14214 de la Unión Europea constituyen dos referentes internacionales en cuanto a parámetros de calidad del biocombustible de uso en motores diésel. La norma ASTM D 6751, brinda únicamente especificaciones técnicas que debe cumplir el biodiésel que se mezcla con diésel en un proporción de 20% o menos. Mientras que los requisitos presentados en la norma EN 14214 aplican tanto para el biodiésel puro-B100 como para aquel que se mezcle con el diésel en diferentes porcentajes. Esta última norma es más restrictiva pues solo aplica para el biodiésel que se produce empleando metanol, además presenta un mayor nivel de exigencia en comparación con la norma estadounidense.

Características	Unidades	Europa-EN 12214/07	E.E.U.U.ASTM D-6751-08	Colombia-NTC 5444
Contenido de éster	%m/m, mín.	96,5		96,5
Densidad a 15°C	g/cm <sup>3</sup>	0,860-0,900		0,86-0,900
Viscosidad a 40°C	cSt	3,5-5,0	1,9-6,0	1,9-6,0
Punto de inflamación	°C, mín	120	93	120
Azufre	%m/m, máx	0,001	0,0015-0,05	
Número de cetano	mín.	51	47	47
Contenido de agua	Mg/kg, máx	500		500
Agua y sedimentos	%v/v, máx		0,05	
Corrosión en lámina de cobre	máx	1	n°3	1
Metanol	%m/m, máx	0,2	0,2	0,2*
Glicerina libre	%m/m, máx	0,02	0,02	0,02

Características	Unidades	Europa-EN 12214/07	E.E.U.U.ASTM D-6751-08	Colombia- NTC 5444
Glicerina total	%m/m, máx	0,25	0,24	0,25
Índice/ No. de yodo	máx	120		120
Índice de acidez	mgKOH/g, máx	0,5	0,5	0,5
Cold soak filterability	Segundos, máx		360	
Metales alcalinos (Na +K)	Mg/kg, máx	5	5	5
Grupo II metales (Ca+Mg)	Mg/kg, máx	5	5	5
Contaminación total	Mg/kg, máx	24		24
Residuo carbonoso	%m/m, máx	0,3 (s/10%dest)	0,05	0,3
Cenizas sulfatadas	%m/m, máx	0,02	0,02	0,02
Estabilidad a la oxidación 110°C	horas, mín.	6	3	6
Éster metílico - ácido linoléico	%m/m, máx	12		12
Cont. Monoglicérido	%m/m, máx	0,8		0,8
Cont. Diglicérido	%m/m, máx	0,2		0,2
Cont. Triglicérido	%m/m, máx	0,2		0,2
Éster metílico polinsaturado (≥4 dobles enlaces)	%m/m, máx	1		
Fósforo	Mg/kg, máx	10	10	10
Temperatura equivalente atmosférica (90%R)	°C, máx		360	360
Punto de enturbiamiento	°C		Informar	Informar
Grado A	°C, máx	5		
Grado B	°C, máx	0		
Grado C	°C, máx	-5		
Grado D	°C, máx	-10		
Grado E	°C, máx	-15		
Grado F	°C, máx	-20		

Fuente: Ganduglia et al., 2009.

\* Aplica tanto para metanol como etanol.

### Anexo 6. Balanza comercial de los principales productores de aceite de soja. Período 2003-2012.

País	Producción promedio anual	Importaciones promedio anual	Toneladas de aceite de soja disponibles en promedio por año	Exportaciones promedio anual	Porcentaje destinado a la exportación	Porcentaje destinado al consumo interno
<b>Exportaciones e importaciones de grandes productores de América. Período 2003-2012. Cifras en toneladas</b>						
Argentina	5.991.094	1.093	5.992.187	4.800.235	80,11%	19,89%
Brasil	6.154.300	20.818	6.175.118	2.143.002	34,70%	65,30%
Estados Unidos	8.697.292	49.366	8.746.658	943.976	10,79%	89,21%
Canadá	261.280	64.958	326.238	38.764	11,88%	88,12%
México	335.410	173.647	509.057	3.224	0,63%	99,37%
Paraguay	271.040	2.866	273.906	203.224	74,19%	25,81%
Bolivia	260.173	226	260.399	212.683	81,68%	18,32%
Colombia	67.400	183.564	250.964	5.790	2,31%	98%
<b>Exportaciones e importaciones de grandes productores de Europa. Período 2003-2012. Cifras en toneladas</b>						
Alemania	642.978	149.393	792.371	344.108	43,43%	56,57%
Países Bajos	545.430	114.240	659.670	463.766	70,30%	29,70%
España	486.900	68.500	555.400	268.324	48,31%	51,69%
Italia	309.210	141.866	451.076	27.608	6,12%	93,88%
Portugal	144.010	59.958	203.968	66.372	32,54%	67,46%
<b>Exportaciones e importaciones de grandes productores, Asia. Período 2003-2012</b>						
China (incluyendo a Taiwán)	7.385.670	2.066.185	9.451.855	85.780	0,91%	99,09%
India	1.627.900	1.101.251	2.729.151	6.669	0,24%	99,76%
Japón	539.132	34.734	573.866	447	0,08%	99,92%
Indonesia	338.537	17.541	356.078	3	0,001%	99,999%
Tailandia	216.280	337	216.617	19.688	9,09%	90,91%
<b>Exportaciones e importaciones de grandes productores, África. Período 2003-2012</b>						
Egipto	179.104	166.400	345.504	55.387	16,03%	83,97%
Marruecos	54.781	363.256	418.037	5.987	1,43%	98,57%
Sudáfrica	34.090	218.956	253.046	17.953	7,09%	92,91%
Uganda	23.910	2.313	26.223	143	0,55%	99,45%
Tunés	23.670	169.902	193.572	19.717	10,19%	89,81%
<b>Exportaciones e importaciones de grandes productores, Oceanía. Período 2003-2012</b>						
Australia	9.088	20.197	29.285	1.484	5,07%	94,93%

Fuente: Elaboración propia. Datos: FAOSTAT s.f. Cifras en toneladas.

### Anexo 7. Empresas que proveen de aceite de soja a Colombia (2010-2014)

Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)	
<b>2010</b>							
Agrograin Ltda.			Bolivia	Islas Caimán	Perú	5.498	
	Caymand Island	Islas Caimán	Bolivia	Islas Caimán	Argentina	2.934	
			Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	150	
			Argentina	Islas Caimán	Argentina	1.094	
	<b>Subtotal</b>						<b>9.676</b>
			Bolivia	Islas Caimán	Perú	24.302	
			Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	5.951	
	Georgetown	Islas Caimán	Argentina	Islas Caimán	Argentina	11.484	
			Brasil	Islas Caimán	Brasil	496	
	<b>Subtotal</b>						<b>42.233</b>
			Bolivia	Islas Caimán	Perú	299	
	GrandCaymand	Islas Caimán	Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	946	
			Argentina	Islas Caimán	Argentina	1.177	
<b>Subtotal</b>						<b>2.422</b>	
<b>Subtotal Agrograin</b>						<b>54.331</b>	
Bunge Latin America Division			Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	10.386	
			Argentina	Estados Unidos	Argentina	50.804	
			Argentina	Estados Unidos	Estados Unidos	1.500	
			Argentina	Argentina	Argentina	497	
	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Argentina	17.092	
			Bolivia	Estados Unidos	Perú	1.784	
			Bolivia	Bolivia	Argentina	299	
			Bolivia	Bolivia	Bolivia	99	
			Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	1.194	
			Brasil	Estados Unidos	Brasil	5.488	
	<b>Subtotal</b>						<b>89.143</b>
		Miami	Estados Unidos	Argentina	Estados Unidos	Argentina	1.488
				Bolivia	Estados Unidos	Argentina	199
<b>Subtotal</b>						<b>1.687</b>	
<b>Subtotal Bunge Latin America</b>						<b>90.830</b>	
Cargill Americas Inc.			Bolivia	Estados Unidos	Perú	7.776	
	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Argentina	4.496	
			Bolivia	Estados Unidos	Panamá	795	
<b>Subtotal</b>						<b>13.067</b>	
Chemical Supply	Miami	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	0,62	
<b>Subtotal</b>						<b>0,62</b>	

Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)			
Nethgrain BV	Rotterdam	Países Bajos, Holanda	Argentina	Países Bajos, Holanda	Argentina	24.632			
			Bolivia	Países Bajos, Holanda	Argentina	7.351			
<b>Subtotal</b>						<b>31.982</b>			
<b>Total toneladas importadas de aceite de soja. Año 2010</b>						<b>190.211</b>			
<b>2011</b>									
Agrograin Ltda.	George Town	Islas Caimán	Argentina	Islas Caimán	Argentina	4.989			
			Argentina	Estados Unidos	Argentina	399			
			Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	6.077			
			Bolivia	Islas Caimán	Perú	13.871			
			Bolivia	Bolivia	Bolivia	1.194			
			Perú	Islas Caimán	Perú	199			
			Paraguay	Islas Caimán	Argentina	1.291			
			Estados Unidos	Islas Caimán	Estados Unidos	6.585			
	<b>Subtotal</b>						<b>34.604</b>		
	Caymand Island	Islas Caimán		Argentina	Islas Caimán	Argentina	2.895		
				Bolivia	Islas Caimán	Perú	3.288		
				Estados Unidos	Islas Caimán	Estados Unidos	3.977		
				Paraguay	Islas Caimán	Argentina	993		
	<b>Subtotal</b>						<b>11.152</b>		
	George Town	Estados Unidos		Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	300		
<b>Subtotal</b>						<b>300</b>			
				Islas Caimán	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	499	
Gran Caymand					Estados Unidos	Islas Caimán	Estados Unidos	100	
					Argentina	Islas Caimán	Argentina	200	
		Bolivia	Islas Caimán	Perú	298				
<b>Subtotal</b>						<b>1.096</b>			
<b>Subtotal Agrograin</b>						<b>47.152</b>			
Bunge Latin America Division	Coral Gables	Estados Unidos	Argentina	Estados Unidos	Argentina	45.832			
			Argentina	Estados Unidos	Estados Unidos	0,138			
			Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	46.503			
			Bolivia	Estados Unidos	Argentina	14.617			
			Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	248			
<b>Subtotal</b>						<b>107.200</b>			
Bunge Latin America Division	Miami	Estados Unidos	Argentina	Estados Unidos	Argentina	12.759			
			Argentina	Argentina	Argentina	199			
			Bolivia	Estados Unidos	Argentina	695			
			Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	4.510			
			Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	3.189			
<b>Subtotal</b>						<b>21.352</b>			
<b>Subtotal Bunge Latin America</b>						<b>128.551</b>			



Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)
CI Famar Inc.	Miami	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	628
			Argentina	Estados Unidos	Argentina	43
<b>Subtotal</b>						<b>671</b>
Cargill Americas Inc.	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	1.693
			Bolivia	Estados Unidos	Perú	8.432
<b>Subtotal</b>						<b>10.125</b>
Ceva Trade Servs	Brisbane	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	0,017
<b>Subtotal</b>						<b>0,017</b>
Chemical Supply	Miami	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	0,191
<b>Subtotal</b>						<b>0,191</b>
LD Claypool Holdings LLC	Kansas City	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	3.000
<b>Subtotal</b>						<b>3.000</b>
Louis Dreyfus Commodities. Sucursal del Perú S.A.	Ginebra	Suiza	Argentina	Suiza	Argentina	1.774
<b>Subtotal</b>						<b>1.774</b>
Nethgrain BV	Rotterdam	Países Bajos, Holanda	Argentina	Países Bajos, Holanda	Argentina	9.563
<b>Subtotal</b>						<b>9.563</b>
Pricesmart	San Diego	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	11
<b>Subtotal</b>						<b>11</b>
Sigma Aldrich Inc.	Saint Louis	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	0,002
<b>Subtotal</b>						<b>0,002</b>
<b>Total toneladas importadas de aceite de soja. Año 2011</b>						<b>200.848</b>

Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)	
<b>2012</b>							
	Caymand Island	Islas Caimán	Bolivia	Islas Caimán	Perú	998	
			Argentina	Islas Caimán	Argentina	100	
	<b>Subtotal</b>					<b>1.098</b>	
Agrograin Ltda.	Georgetown	Islas Caimán	Estados Unidos	Islas Caimán	Estados Unidos	10.384	
			Argentina	Islas Caimán	Argentina	3.938	
			Bolivia	Islas Caimán	Argentina	496	
			Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	7.026	
			Bolivia	Islas Caimán	Islas Caimán	299	
			Bolivia	Islas Caimán	Perú	17.048	
			Bolivia	Bolivia	Bolivia	499	
		<b>Subtotal</b>					<b>39.691</b>
		Grand caymand	Islas Caimán	Estados Unidos	Islas Caimán	Estados Unidos	4.503
				Argentina	Islas Caimán	Argentina	2.592
			Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	4.482	
			Bolivia	Islas Caimán	Perú	6.900	
	<b>Subtotal</b>					<b>18.477</b>	
	<b>Subtotal Agrograin Ltda.</b>					<b>59.266</b>	
Bunge Latin America Division	Coral Glabes	Estados Unidos	Argentina	Argentina	Argentina	1.969	
			Argentina	Estados Unidos	Argentina	81.206	
			Bolivia	Estados Unidos	Argentina	20.859	
			Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	597	
			Brasil	Estados Unidos	Brasil	3.000	
			Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	2.894	
		<b>Subtotal</b>					<b>110.524</b>
		Miami	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	596
				Bolivia	Estados Unidos	Argentina	1.343
				Argentina	Estados Unidos	Argentina	11.782
	<b>Subtotal</b>					<b>13.721</b>	
	<b>Subtotal Bunge Latin America</b>					<b>124.246</b>	
Cargill Americas Inc.	Coral Glabes	Estados Unidos	Argentina	Estados Unidos	Argentina	3.791	
			Bolivia	Estados Unidos	Argentina	1.000	
			Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	9.164	
			Bolivia	Estados Unidos	Perú	7.769	
			Bolivia	Bolivia	Bolivia	2.293	
	<b>Subtotal</b>					<b>24.018</b>	
Ceva Trade Servs	Brisbane	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	0,017	
	<b>Subtotal</b>					<b>0,017</b>	

Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)
Inter Hartz GMBH	Elmshorn	Alemania	España	Alemania	Alemania	0,025
<b>Subtotal</b>						<b>0,025</b>
Pricesmart Inc.	San Diego	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	43
<b>Subtotal</b>						<b>43</b>
<b>Total toneladas importadas de aceite de soja. Año 2012</b>						<b>207.573</b>
<b>2013</b>						
AAK USA KI LLC	Louisville	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	8
<b>Subtotal</b>						<b>8</b>
ADM Americas S De R L	Ciudad de Panamá	Panamá	Bolivia	Panamá	Bolivia	3.787
			Bolivia	Panamá	Perú	15.922
			Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	2.703
<b>Subtotal</b>						<b>22.413</b>
	Caymand Island	Islas Caimán	Argentina	Islas Caimán	Argentina	300
<b>Subtotal</b>						<b>300</b>
Agrograin Ltda.	Georgetown	Islas Caimán	Estados Unidos	Islas Caimán	Estados Unidos	2.592
			Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	5.284
			Bolivia	Islas Caimán	Perú	33.226
			Argentina	Islas Caimán	Argentina	700
			<b>Subtotal</b>			
	Grand Caymand	Islas Caimán	Bolivia	Islas Caimán	Bolivia	299
			Estados Unidos	Islas Caimán	Estados Unidos	2.595
<b>Subtotal</b>						<b>2.895</b>
<b>Subtotal Agrograin Ltda.</b>						<b>44.997</b>
Bunge Agritrade S.A.	Montevideo	Uruguay	Bolivia	Uruguay	Argentina	22.082
			Bolivia	Uruguay	Bolivia	550
			Bolivia	Uruguay	Perú	199
			Bolivia	Uruguay	Uruguay	1.094
			Argentina	Uruguay	Argentina	8.794
			Bolivia	Islas Caimán	Perú	99
			Bolivia	Estados Unidos	Argentina	596
<b>Subtotal</b>						<b>33.414</b>
	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Argentina	18.288
			Argentina	Estados Unidos	Argentina	21.134
			Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	14.065
<b>Subtotal</b>						<b>53.488</b>

Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)
Bunge Latin America Division	Miami	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	3.647
<b>Subtotal</b>						<b>3.647</b>
<b>Subtotal Bunge Latin America Division</b>						<b>57.134</b>
CAI Trading LLC	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	8.378
			Bolivia	Estados Unidos	Perú	6.675
<b>Subtotal</b>						<b>15.053</b>
Cargill Americas Inc.	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	11.464
			Bolivia	Estados Unidos	Argentina	2.149
			Bolivia	Estados Unidos	Perú	8.899
			Bolivia	Bolivia	Bolivia	3.067
<b>Subtotal</b>						<b>25.579</b>
Comercializadora y Productora Carraspor C.A.	San Antonio	Venezuela	Venezuela	Venezuela	Venezuela	62
<b>Subtotal</b>						<b>62</b>
Daabon Intl Inc.	Ciudad de Panamá	Panamá	Estados Unidos	Panamá	Estados Unidos	6.998
<b>Subtotal</b>						<b>6.998</b>
Golden Brands LLC	Louisville	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	2
<b>Subtotal</b>						<b>2</b>
Pricesmart Inc.	San Diego	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	109
<b>Subtotal</b>						<b>109</b>
Proactive Technology Business Inc.	Urena	Venezuela	Venezuela	Venezuela	Venezuela	713
<b>Subtotal</b>						<b>713</b>
Roger Dumon Trading CO S.A.	San Antonio	Venezuela	Venezuela	Venezuela	Venezuela	98
<b>Subtotal</b>						<b>98</b>
<b>Total toneladas importadas de aceite de soja. Año 2013</b>						<b>206.579</b>

Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)	
<b>2014</b>							
ADM Americas S De R L	Ciudad de Panamá	Panamá	Bolivia	Panamá	Argentina	3.884	
			Bolivia	Panamá	Bolivia	5.729	
			Bolivia	Panamá	Perú	17.339	
			Estados Unidos	Panamá	Estados Unidos	6.255	
<b>Subtotal</b>						<b>33.207</b>	
Agroandina S.A.	Talca	Chile	Bolivia	Chile	Perú	2.368	
			<b>Subtotal</b>				
Agrograin Ltda.	Caymand Island	Islas Caiman	Bolivia	Islas Caiman	Perú	879	
			<b>Subtotal</b>				
	Georgetown	Islas Caimán	Bolivia	Islas Caimán	Perú	9.021	
			<b>Subtotal</b>				
	Grand Caymand	Islas Caimán	Bolivia	Islas Caimán	Perú	399	
			<b>Subtotal</b>				
	Montevideo	Uruguay	Bolivia	Uruguay	Argentina	2.379	
			Bolivia	Uruguay	Bolivia	867	
			Bolivia	Uruguay	Perú	18.724	
	<b>Subtotal</b>						<b>21.971</b>
	<b>Subtotal Agrograin Ltda.</b>						<b>32.269</b>
	Broom Panamá S.A.	Ciudad de Panamá	Panamá	Bolivia	Panamá	Perú	598
<b>Subtotal</b>						<b>598</b>	
Bunge Agritrade S.A.	Montevideo	Uruguay	Argentina	Uruguay	Argentina	11.118	
			Bolivia	Uruguay	Argentina	29.480	
			Bolivia	Uruguay	Bolivia	13.646	
<b>Subtotal</b>						<b>54.244</b>	
Bunge Latin America Division	Coral Gables	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	13.433	
			<b>Subtotal</b>				
	Miami	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	11.365	
<b>Subtotal</b>						<b>11.365</b>	
<b>Subtotal Bunge Latin America</b>						<b>24.798</b>	

Proveedor	Ciudad proveedor	País proveedor	País de origen	País de compra	País de procedencia	Cantidad importada (toneladas)
	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Bolivia	15.644
CAI Trading LLC			Bolivia	Estados Unidos	Perú	11.198
	<b>Subtotal</b>					<b>26.841</b>
Cargill CAI Trading LLC	Coral Gables	Estados Unidos	Bolivia	Estados Unidos	Perú	1.095
	<b>Subtotal</b>					<b>1.095</b>
Comercializadora y Productora Carraspor C.A.	San Antonio	Venezuela	Venezuela	Venezuela	Venezuela	90
	<b>Subtotal</b>					<b>90</b>
LDC Trading y services S.A.	Montevideo	Uruguay	Bolivia	Uruguay	Perú	5.994
	<b>Subtotal</b>					<b>5.994</b>
Louis Dreyfus Commodities Suisse S.A.	Ginebra	Suiza	Estados Unidos	Suiza	Estados Unidos	3.999
	<b>Subtotal</b>					<b>3.999</b>
Pricesmart Inc.	San Diego	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos	12
	<b>Subtotal</b>					<b>12</b>
	<b>Total toneladas importadas de aceite de soja. Enero-agosto de 2014</b>					<b>185.518</b>

Fuente: Elaboración propia. Datos: Base de datos Sicex de Quintero Hnos Ltda. Cifras en toneladas

### Anexo 8. Balanza comercial de los principales productores de sebo. Período 2003-2012. Cifras en toneladas

País	Producción promedio anual	Importaciones promedio anual	Toneladas de sebo disponible en promedio por año	Exportaciones promedio anual	Porcentaje destinado a la exportación	Porcentaje destinado al consumo interno
<b>Exportaciones de grandes productores de América. Período 2003-2012</b>						
Argentina	175.860	10.742	186.602	20.875	11,19%	88,81%
Brasil	553.250	12.881	566.131	13.979	2,47%	97,53%
Canadá	292.320	28.148	320.468	197.870	61,74%	38,26%
Estados Unidos	3.715.340	39.771	3.755.111	1.020.658	27,18%	72,82%
México	105.790	390.112	495.902	311	0,06%	99,94%
Uruguay	61.000	1.450	62.450	61.314	98,18%	1,82%
Venezuela	39.061	18.429	57.490	0	0	100%
Paraguay	23.224	622	23.846	6.115	25,64%	74,36%
Colombia	13.564	24.179	37.743	28	0,07%	99,93%
<b>Exportaciones de grandes productores, Europa. Período 2003-2012</b>						
Francia	186.840	6.928	193.768	122.166	63,05%	36,95%
Reino Unido	146.100	0	146.100	44.884	30,72%	69,28%
Países bajos	125.520	44.828	170.348	23.291	13,67%	86,33%
Irlanda	35.937	5.066	41.003	38.004	92,69%	7,31%
Alemania	33.800	30.886	64.686	66.905	100,00%	0,00%
<b>Exportaciones de grandes productores, Oceanía. Período 2003-2012</b>						
Australia	475.295	39	475.334	360.866	75,92%	24,08%
Nueva Zelanda	176.400	35	176.435	109.275	61,93%	38,07%
<b>Exportaciones, Asia. Período 2003-2012</b>						
India	134.080	4	134.084	2.259	1,68%	98,32%
China	65.778	369.005	434.783	298	0,07%	99,93%
<b>Exportaciones e importaciones, África. Período 2003-2012</b>						
Sudáfrica	13.766	22.806	36.572	3.184	8,71%	91,29%

Fuente: Elaboración propia. Datos: FAOSTAT s.f. Cifras en toneladas.

## Anexo 9. Empresas proveedoras de sebo

Empresa proveedora	País/ciudad
Amato International	Miami, Estados Unidos
City Chemical LLC	Connecticut, Estados Unidos
The Neatsfood Oil Refineries Corp.	Filadelfia, Estados Unidos
Inland Products Inc.	Ohio, Estados Unidos
Lipids Logistic	Illinois, Estados Unidos
Darling Ingredients Inc.	Houston, Estados Unidos
Stevenson- Cooper Inc.	Filadelfia, Estados Unidos
West Coast Reduction Ltd.	Vancouver, Canadá
Sanimax	Canadá, Estados Unidos y México
HDK S.A.	Buenos Aires, Argentina
Mattievich S.A.	Rosario, Argentina
Evasio Marmetto S.A.	Buenos Aires, Argentina
Mapar	Buenos Aires, Argentina
Grabya S.R.L.	Buenos Aires, Argentina
Frigorífico Tacuarembo	Montevideo, Uruguay
Frigorífico Guaraní S.A.C.I	Itaiguá, Paraguay
Australian Tallow Exporting Company	Victoria, Australia
Tallow Products Pty Ltd.	Sydney, Australia
Australian tallow producers	Victoria, Australia
A.J. Bush & Sons (Manufactures) Pty Ltd.	Australia
Arrow Commodities Pty Ltd.	Australia
Ashton Pty Ltd. t/as Swan Hill Abattoirs	Victoria, Australia
Pridham Pty Ltd.	Victoria, Australia
Australian Country Choice Pty Ltd.	Australia
BEC Feed Solutions	Australia
Colyer Fehr Group	Australia
GrainCorp Oils	Sydney, Australia
Greenlife Oil	Australia
Iloura Resources	Australia
NH Foods Australia Pty Ltd.	Australia
Northern Co-operative Meat Company Ltd.	Australia
Oztek Holdings Pty Ltd.	Australia
Standar Commodities	Victoria, Australia
AFFCO	Nueva Zelanda
Saria	Reino Unido
Elbe Fetthandel GmbH (EFG)	Geesthacht, Alemania

Fuente: Elaboración propia.



### Anexo 10. Empresas proveedoras de sebo en Colombia

Empresa proveedora	Ciudad
Reciaceites	Cali
Procesadora de Materias Primas S.A.	Bogotá
Conalsebos Ltda.	Bogotá
Ospina Grasas y Aceites Ltda.	Copacabana, Antioquia
Sebagro S.A.	Girón, Santander
Agroindustriales Piave S.L.	Cajicá, Bogotá
Fábrica de sebo Luis Muñoz y Compañía Ltda.	Bogotá

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 11. Empresas proveedoras de aceite de cocina usado

Empresa proveedora	País/ciudad
Western Mass. Rendering Co., INC	Massachusetts, Estados Unidos
G.A. Wintzer & Son Co.	Ohio, Estados Unidos
Third Coast Commodities, LLC	Michigan, Estados Unidos
Kruger Commodities Inc.	Nebraska, Estados Unidos
DAR PRO Solutions	Irving, Texas
Florida By Products Inc.	Estados Unidos
Kaluzny Bros. Inc.	Illinois, Estados Unidos
Mendota Agri-Products Inc.	Illinois, Estados Unidos
Pascal Enterprises	Texas, Estados Unidos
Salinas Tallow Co. LLC	California, Estados Unidos
Rouse Marketing Inc.	Ohio, Estados Unidos
West Coast Reduction Ltd.	Vancouver, Canadá

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 12. Ubicación de los distribuidores mayoristas de combustibles en Colombia

Distribuidor mayorista	Departamentos
Biomax S.A.	Cundinamarca, Santander, Caldas, Antioquia, Tolima, Valle del Cauca, Huila, Risaralda, Bolívar y Atlántico
Chevron Petroleum Company	Antioquia, Bolívar, Atlántico, Cundinamarca, Bogotá, Tolima, Valle del Cauca y San Andrés Islas
Cooperativa Ayatawacoop	La Guajira
Exxon Mobil de Colombia S.A.	Bogotá, Cundinamarca, Antioquia, Caldas, Santander, Huila, Tolima, Valle del Cauca y Bolívar
Organización Terpel S.A.	Cundinamarca, Bogotá, Norte de Santander, Santander, Casanare, Arauca, Vichada, Guainía, Guaviare, Bolívar, Cesar, Atlántico, Antioquia, Caldas, Risaralda, Tolima, Huila, Valle del Cauca, Caquetá, Putumayo y Amazonas
Petrobras Colombia Combustibles S.A.	Bogotá, Cundinamarca, Antioquia, Santander, Huila, Tolima, Valle del Cauca, Bolívar y Atlántico
Mineroil Combustibles S.A.S	Atlántico y Bolívar.
Petroléos del Milenio C.I S.A.S-Petromil	Bolívar, Bogotá, Santander y Valle del Cauca
Zeuss Petroleum S.A.	Bolívar y Atlántico
C.I. Ecospetróleo S.A.	Atlántico y Bolívar
Prodain S.A.	Cundinamarca
Zapata y Velázquez S.A	Antioquia
Cooperativa Multiactiva de Pimpineros del Norte	Norte de Santander
Comercializadora Proxxon S.A.	Antioquia
Distribuidora de combustibles Wayuu Ltda.	La Guajira
Casamotor S.A.	Caldas, Tolima y Huila
Productores de Lubricantes S.A.	Santander, Bolívar y Tolima

Fuente: Elaboración propia. Datos: SICOM, 2014.

### Anexo 13. Matriz DOFA del sector biodiésel en Colombia

Fortalezas	Debilidades
El biodiésel de palma de aceite que se produce en Colombia reduce hasta en un 83% las emisiones de GEI	Altos costos de producción del biodiésel
Robusto marco regulatorio del biodiésel, de su mezcla con diésel y de los respectivos precios	La producción de biodiésel en Colombia no se encuentra ajustada a los estándares ambientales y de calidad de algunos mercados internacionales
Fedebiocombustibles como entidad que vela por los intereses de los actores del sector	Poca relación de las empresas con las universidades y centros de investigación
Diversificación de la canasta energética del país	
Importante nivel de encadenamiento productivo con los agentes proveedores de materia prima. Evidenciado en la conformación de grupos económicos que han sentado las bases para la conformación de clusters industriales	
Oportunidades	Amenazas
El establecimiento de acuerdos comerciales con Estados Unidos, Chile, México, Corea del Sur y la Unión Europea, favorecerá la apertura de mercados de exportación del biodiésel	Dependencia del precio de otros combustibles (volatilidad del precio del crudo)
Establecimiento de políticas tributarias y financieras por parte del Gobierno nacional orientadas a incentivar la inversión en el sector	El parque automotor del país no cuenta con las condiciones técnicas para emplear porcentajes de mezclas superiores a los ya establecidos
Disponibilidad de tierras aptas para el cultivo de palma africana	Deficiencias en la infraestructura vial del país
Investigaciones orientadas a la determinación de la viabilidad económica y técnica de la producción de biodiésel a partir de materias primas alternativas	Ausencia de una normatividad que rijan la producción de biocombustibles de segunda, tercera y cuarta generación
Elaboración de productos de valor agregado obtenidos a partir de la glicerina que se genera como subproducto en el proceso de producción del biodiésel	

Fuente: Elaboración propia a partir de Millán, 2014.

La dicotomía entre protección del medio ambiente y producción energética ha tenido en los biocombustibles una promisoriosa salida para resolver tanto los efectos del cambio climático como la sostenibilidad energética del mundo. Este libro contiene los resultados de una investigación financiada por la Gobernación del Atlántico, con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, y orientada a promover el desarrollo del sector biodiésel en este departamento. La obra presenta el análisis de la actual situación del sector de biodiésel en Colombia, sus potencialidades e integración con otros elementos de su cadena productiva, desde la perspectiva económica y de mercado. Con ello se espera contribuir al debate económico acerca de los biocombustibles en Colombia, con miras a lograr la consolidación de una política pública coherente y alineada con los intereses generales que por su amplitud —medio ambiente y energía— trascienden las fronteras nacionales.

