

**EVOLUCIÓN DEL BIOETANOL EN COLOMBIA**

**DIANA MARISOL ALONSO GARZÓN**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.**

**2017**

# **EVOLUCIÓN DEL BIOETANOL EN COLOMBIA**

**DIANA MARISOL ALONSO GARZÓN**

**Monografía para optar por el título de Especialista en  
Gestión Ambiental**

**Orientadora**

**Dora María Cañón Rodríguez**

**Ingeniera Química, Mg.**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.**

**2017**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director de la Especialización

---

Firma del calificador

Bogotá D.C., Octubre de 2017

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Francisco Archer Narváez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## **DEDICATORIA**

A mis papás Susana y Edgar, por su constante apoyo, por creer en mí, por siempre incentivarme a ser una mejor persona y ayudarme a cumplir todos mis propósitos en la vida.

A mi abuelo Celso, porque sé que desde el cielo me cuida y me da fuerzas para emprender nuevos caminos.

A mis abuelos Elvira, Rosalba y Chepe, por el amor y cariño que me brindan y por ayudarme a ser una mejor persona.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la vida y fortalecerme cada día más para lograr todos los retos y metas que me propongo.

A mis papás Susana y Edgar, por su constante apoyo y motivación día a día y por ayudarme a cumplir mis sueños.

A la asesora de mi monografía, la docente investigadora Dora Cañón, por su apoyo y constantes revisiones, y por dar de su tiempo para que pudiera culminar mi proyecto.

A mi familia, abuelos, tíos y primos, por impulsarme a cumplir todo lo que quiero y por apoyarme con el amor que siempre han sabido darme.

A mi novio Andrés Suesca, por insistirme en terminar con mi monografía y por estar presente en mi corazón.

A mis amigos y compañeros, por sus risas y por estar presentes en los mejores momentos de la vida.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	22
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	23
1.1 ANTECEDENTES	23
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	27
1.3 JUSTIFICACIÓN	29
1.4 DISEÑO METODOLÓGICO	31
2. MARCO TEÓRICO: BIOETANOL EN COLOMBIA	32
3. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN COLOMBIA	51
3.1 MATERIAS PRIMAS	53
3.2 TECNOLOGÍAS	55
3.2.1 Escala laboratorio	56
3.2.1.1 Yuca	56
3.2.1.2 Maíz	57
3.2.1.3 Madera	58
3.2.2 Escala industrial	59
3.2.2.1 Caña de azúcar	59
3.2.3 Maíz vs. Madera vs. Caña de azúcar	69
3.3 ZONAS GEOGRÁFICAS	70
3.4 ESTUDIOS DE CASO	75
3.4.1 Escala laboratorio	76
3.4.1.1 Producción de etanol a partir de residuos de fruta	76
3.4.2 Escala industrial	80
3.4.2.1 Bioenergy (caña de azúcar)	80
4. MARCO LEGAL QUE RIGE AL BIOETANOL EN COLOMBIA	84
5. COMPORTAMIENTO DEL USO Y PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL EN COLOMBIA	100
5.1 PROS Y CONTRAS DEL USO Y PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN EL ÁMBITO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL	100
5.1.1 Dimensión económica	101
5.1.1.1 Beneficios	101
5.1.1.2 Ventajas	102
5.1.1.3 Desventajas	102
5.1.1.4 Limitaciones	103
5.1.2 Dimensión social	104

5.1.2.1	Beneficios	104
5.1.2.2	Ventajas	105
5.1.2.3	Desventajas	105
5.1.2.4	Limitaciones	106
5.1.3	Dimensión medioambiental	106
5.1.3.1	Beneficios	106
5.1.3.2	Ventajas	108
5.1.3.3	Desventajas	109
5.1.3.4	Limitaciones	110
6.	CAMBIO DE USO DE SUELO	112
6.1	SUELOS AGRÍCOLAS	116
6.2	SUELOS ENERGÉTICOS	117
6.3	VOCACIÓN DEL USO DEL SUELO PARA CULTIVAR CAÑA	118
7.	ESTADO ACTUAL DEL BIOETANOL COMO ALCOHOL CARBURANTE	121
7.1	USO DEL BIOETANOL FRENTE A LA APLICACIÓN REAL	123
7.1.1	Impacto en los motores de combustión interna	124
8.	CONCLUSIONES	126
9.	RECOMENDACIONES	128
	BIBLIOGRAFÍA	129

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Cadena de valor de la bioenergía	37
<b>Cuadro 2.</b> Proceso de producción de biocombustibles convencionales	38
<b>Cuadro 3.</b> Estructuras organizacionales que brindan soporte al desarrollo de los biocombustibles en Colombia	41
<b>Cuadro 4.</b> Materias primas que se emplean en la producción de bioetanol	44
<b>Cuadro 5.</b> Materias primas para la obtención de bioetanol en Colombia	45
<b>Cuadro 6.</b> Estimación de las emisiones del E10 respecto a las emisiones de la gasolina	46
<b>Cuadro 7.</b> Beneficios, ventajas y limitaciones del uso y producción del bioetanol en Colombia	48
<b>Cuadro 8.</b> Características del maíz, la madera y la caña de azúcar para la producción de etanol (2009)	69
<b>Cuadro 9.</b> Distribución de la mezclas etanol-gasolina en Colombia (2005-2012)	75
<b>Cuadro 10.</b> Parámetros de la producción de etanol a partir de residuos de fruta en Colombia (2017)	79
<b>Cuadro 11.</b> Precio del galón de etanol colombiano con sus respectivas resoluciones (2012-2017)	87
<b>Cuadro 12.</b> Leyes para el fomento y producción de biocombustibles	90
<b>Cuadro 13.</b> Decretos para el fomento y producción de biocombustibles	92
<b>Cuadro 14.</b> Resoluciones para el fomento y producción de biocombustibles	93
<b>Cuadro 15.</b> Otros documentos para el fomento y producción de biocombustibles	98
<b>Cuadro 16.</b> Balance energético para algunos cultivos en la producción de etanol (2007)	118
<b>Cuadro 17.</b> Retos y estrategias en materia de biocombustibles	122
<b>Cuadro 18.</b> Comportamiento del bioetanol en comparación a la gasolina (2015)	125

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Clasificación de las energías alternativas (2002)	33
<b>Figura 2.</b> Línea de tiempo de hechos relevantes en la producción de etanol (2001-2015)	40
<b>Figura 3.</b> Emisiones del bioetanol colombiano	47
<b>Figura 4.</b> Producción de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa	51
<b>Figura 5.</b> Fuentes de biomasa para la obtención de etanol	51
<b>Figura 6.</b> Proceso de obtención de bioetanol	52
<b>Figura 7.</b> Reacción química para producir etanol	53
<b>Figura 8.</b> Conversión de materias primas agrícolas para la producción de etanol	54
<b>Figura 9.</b> Producción de biocombustibles de primera y segunda generación	55
<b>Figura 10.</b> Proceso de extracción de etanol por diferentes materias primas	56
<b>Figura 11.</b> Diferenciación de procesos en la producción de bioetanol	56
<b>Figura 12.</b> Esquema de la producción de bioetanol a partir del grano de maíz	58
<b>Figura 13.</b> Diagrama de la producción de etanol a partir de materiales lignocelulósicos	59
<b>Figura 14.</b> Datos de una historia dulce (2009)	60
<b>Figura 15.</b> Esquema de la cadena de azúcar	65
<b>Figura 16.</b> Esquema del proceso de obtención de bioetanol a partir de la caña de azúcar	66
<b>Figura 17.</b> Adecuación de las materias primas para el proceso de producción de etanol (2008)	66
<b>Figura 18.</b> Fermentación del proceso de producción de etanol (2008)	67
<b>Figura 19.</b> Destilación del proceso de producción de etanol (2008)	67
<b>Figura 20.</b> Deshidratación para obtener etanol (2008)	68
<b>Figura 21.</b> Tratamiento de las vinazas obtenidas en el proceso de producción de etanol (2008)	68
<b>Figura 22.</b> Esquema de la planta de producción Bioenergy	82
<b>Figura 23.</b> Producción de etanol en la planta Bioenergy	83

<b>Figura 24.</b> Suelos agropecuarios en Colombia (2015)	115
<b>Figura 25.</b> Diagrama causal de la relación entre el cultivo de la caña de azúcar y la estructura agraria en América Latina	120
<b>Figura 26.</b> Diagrama para la integración de etanol en las cadenas de distribución de gasolina	123

## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Gráfico 1.</b> Producción anual de biocombustibles en el mundo (1991-2010)	24
<b>Gráfico 2.</b> Producción y consumo de biocombustibles en el mundo (2000-2011)	24
<b>Gráfico 3.</b> Demanda mundial de energías alternativas para el 2005	33
<b>Gráfico 4.</b> Producción y exportaciones de petróleo vs. Reservas nacionales (1998-2005)	34
<b>Gráfico 5.</b> Esquema general de los biocombustibles	35
<b>Gráfico 6.</b> Clasificación de los biocombustibles	36
<b>Gráfico 7.</b> Diferencias entre el biodiesel, bioetanol y biogás	43
<b>Gráfico 8.</b> Proceso de extracción del almidón de la yuca	57
<b>Gráfico 9.</b> Productividad azucarera mundial (2001-2007)	61
<b>Gráfico 10.</b> Producción del azúcar de caña para la obtención de bioetanol (2000-2011)	62
<b>Gráfico 11.</b> Área sembrada de caña de azúcar (2008-2016)	63
<b>Gráfico 12.</b> Caña molida (2008-2016)	63
<b>Gráfico 13.</b> Producción y exportación de azúcar (2008-2016)	64
<b>Gráfico 14.</b> Producción y venta de etanol (2008-2016)	64
<b>Gráfico 15.</b> Capacidad instalada de las plantas de producción de etanol en Colombia (2009-2017)	72
<b>Gráfico 16.</b> Hectáreas de área sembrada para producir etanol en plantas colombianas (2009-2017)	73
<b>Gráfico 17.</b> Producción de etanol a partir residuos de maracuyá, limón, lulo, mora y mango	77
<b>Gráfico 18.</b> Línea de tiempo de Bioenergy	81
<b>Gráfico 19.</b> Precio del galón de etanol en Colombia (2012-2017)	89
<b>Gráfico 20.</b> Factores que promueven el desarrollo de los biocombustibles	100
<b>Gráfico 21.</b> Vocación del uso del suelo en Colombia (2012)	112

## LISTA DE MAPAS

	pág.
<b>Mapa 1.</b> Reservas de petróleo en el mundo (2009)	23
<b>Mapa 2.</b> Zonas geográficas de la producción actual de bioetanol en Colombia (2017)	50
<b>Mapa 3.</b> Distribución de las plantas productoras de etanol en Colombia (2017)	70
<b>Mapa 4.</b> Plantas productoras de alcohol carburante (2009)	71
<b>Mapa 5.</b> Distribución y capacidad de las plantas productoras en Colombia (2012)	74
<b>Mapa 6.</b> Regionalización del etanol para la caña de azúcar y la yuca (2009)	76
<b>Mapa 7.</b> Vocación del suelo en Colombia (2014)	113
<b>Mapa 8.</b> Cobertura de la tierra en Colombia (2014)	114
<b>Mapa 9.</b> Mezcla obligatoria de alcohol carburante en Colombia (2011)	121

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AIS: Programa “Agro, Ingreso Seguro”.

ASOCAÑA: Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar.

BID: Banco Interamericano de Desarrollo.

BIOETANOL: Alcohol etílico combustible.

CENICAÑA: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

CO: Monóxido de Carbono.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono.

COLCIENCIAS: Departamento Administrativo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”.

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social de Colombia.

ECOPETROL: Empresa Colombiana de Petróleos.

FONADE: Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo de Colombia.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

h: Hora.

ha: Hectárea.

HC: Hidratos de Carbono.

I+D: Investigación y Desarrollo.

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

kg: Kilogramo.

L: Litro.

MinAgricultura: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

MinAmbiente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MinCIT: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

MinHacienda: Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

MinMinas: Ministerio de Minas y Energía.

MinSalud: Ministerio de Salud y Protección Social.

MinTransporte: Ministerio de Transporte.

MinVivienda: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

NO<sub>x</sub>: Óxidos de Nitrógeno.

SIC: Superintendencia de Industria y Comercio.

SO<sub>2</sub>: Dióxido de azufre.

tmvc: toneladas métrica de volumen crudo.

UPME: Unidad de Planeamiento Minero Energético del MME.

UPRA: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.

## GLOSARIO

**BIOENERGÍA:** energía renovable obtenida a partir de fuentes primarias biológicas.

**BIOCARBURANTE:** combustible empleado en un motor de combustión interna, que reduce la dependencia energética de los combustibles fósiles y otorga una mayor seguridad de abastecimiento energético.

**BIOCOMBUSTIBLE:** combustible producido a partir de la biomasa y que es considerado una energía renovable.

**BIOMASA:** materia orgánica generada por procesos biológicos que es utilizable como fuente de energía.

**CULTIVOS ENERGÉTICOS:** cultivo de plantas de rápido crecimiento con determinadas características que son aprovechadas por su contenido energético para la producción de biocombustibles.

**EFFECTO INVERNADERO:** proceso en el que la radiación de la superficie planetaria es absorbida por los Gases de Efecto Invernadero y emitida en todas direcciones.

**ENERGÍA RENOVABLE:** energía generada a partir del aprovechamiento de fuentes naturales, como la eólica, geotérmica y solar.

**ETANOL (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH):** alcohol cuya molécula tiene dos átomos de carbono. Es un líquido incoloro y de olor fuerte, que arde fácilmente provocando una llama azulada y con poca luminosidad. Se obtiene por destilación de productos de fermentación de sustancias azucaradas, como uva, melaza, remolacha y caña de azúcar.

**GASES DE EFECTO INVERNADERO:** componentes gaseosos presentes en la atmósfera que emiten radiación infrarroja.

**HIGROSCÓPICO:** capacidad de una sustancia para absorber agua de su medio adyacente.

**HUELLA DE CARBONO:** gases de efecto invernadero emitidos por acción directa o indirecta de un individuo, organización, evento o producto.

**IMPACTO AMBIENTAL:** efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente.

**INÓCULO:** suspensión de microorganismos que transfieren a un ser vivo o a un medio de cultivo de forma voluntaria o involuntariamente a través de la inoculación.

**LIGNINA:** polímero que forma parte de la pared celular generando dureza y resistencia en la celulosa e impide la hidrólisis en el proceso de producción de etanol.

**MÉTODO DEL DICROMATO DE POTASIO:** se basa en la oxidación de la materia utilizando Dicromato de potasio como oxidante en presencia de ácido sulfúrico e iones de plata como catalizador para obtener la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a partir de la diferencia entre el Dicromato añadido inicialmente al titular con una disolución de hierro (II) y el Dicromato encontrado tras la oxidación.

**SEGURIDAD ALIMENTARIA:** acceso físico, social y económico a los alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida sana y activa.

## RESUMEN

En la presente monografía se evidencia la evolución del bioetanol en Colombia, expresando la problemática en el ámbito social, económico y ambiental en diferentes zonas geográficas del país. Se consultaron diversos documentos relacionados con la producción de biocombustibles y del bioetanol en el país, las materias primas de origen vegetal necesarias para su proceso, el cambio de uso del suelo agrícola para pasar a suelos energéticos y las zonas geográficas con vocación agrícola que hacen de Colombia un país promisorio para desarrollar a nivel industrial el bioetanol a partir de diversas materias primas como la caña de azúcar.

También se describen dos (2) estudios de caso a nivel industrial y laboratorio que se han presentado en el país en diferentes regiones geográficas para demostrar la diversidad de materias primas de origen vegetal que se pueden usar en el proceso de obtención de etanol. Además, se expone la normativa que aplica al uso y producción del biocombustible como política ambiental, económica y social, para desarrollar combustibles que no compitan con la seguridad alimentaria. Por último se identifican los factores clave del etanol como alcohol carburante en las dimensiones social, ambiental y económica, y se describe cuál es el estado actual del alcohol carburante en el país y su uso en vehículos automotores.

**Palabras clave:** Biocombustibles, bioetanol, alcohol carburante, materias primas de origen vegetal, energía renovable, política ambiental.

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por el deterioro del medio ambiente conlleva a buscar el desarrollo sostenible y sustentable de la energía como una forma de contribución futura, el interés por las energías alternativas se ha venido enfatizando por su impacto positivo alrededor del mundo. El calentamiento del planeta, las emisiones de gases de efecto invernadero, las emisiones de contaminantes provenientes de los combustibles fósiles, el cambio en la capa de ozono, entre otras, promueve la curiosidad y permite realizar investigaciones que con la tecnología actual contrarresten el cambio climático, suministrando energía similar a la de un combustible fósil pero con mejoras para el medio ambiente.

El agotamiento de las reservas de combustibles fósiles es notorio hoy en día y para no depender de ello Colombia ha creado un marco regulatorio que rige a los biocombustibles como una normativa prometedora para fomentar el crecimiento de la industria del bioetanol, en donde se plantean mezclas gasolina-etanol para producir menores emisiones de especies tóxicas y generar menores cantidades de GEI.

La monografía permite entender la importancia de usar y producir combustibles más amigables con el medio ambiente. Combustibles como el bioetanol se dan por el proceso con materias primas de origen vegetal, como la caña de azúcar, yuca, sorgo, remolacha, entre otras, que conllevan a un fuerte impacto ambiental respecto a la generación de energía de los combustibles fósiles, además que consigo trae ventajas económicas y sociales en países productores como Colombia.

El impacto del tema de la monografía está proyectado en cuatro visiones: beneficios, aquellos factores que permiten denotar las características que se obtienen al usar y producir biocombustibles; ventajas, presentadas a raíz de las fortalezas que promete Colombia como país productor; desventajas, ya que las materias primas usadas hoy en día para producir bioetanol se ven afectadas por competir con el alimento, esto amenaza la seguridad alimentaria y la hambruna alrededor del mundo y genera controversia a la hora de fomentar su cultivo para producir energía cuando no se tiene un control sobre éstos; limitaciones, presentadas como aspectos que no benefician producir bioetanol por cuestiones económicas y sociales al cambiar la gasolina por una mezcla de etanol-gasolina.

Además plantea el uso actual del bioetanol en Colombia en tres dimensiones: la económica, por su parte influye en Colombia como país productor de bioetanol, como fuente potencial de energía renovable genera nuevos y grandes mercados para los productores agrícolas; la social, por su parte fomenta la cultura de la sociedad, el desarrollo rural y crea proyectos en nuevas zonas geográficas con vocación de suelo agrícola; el ambiental, ya que además de mejorar el desempeño de un automóvil, genera menos emisiones nocivas al medio ambiente,

contrarrestando factores como GEI, disminución de la capa de ozono, monóxido y dióxido de carbono, y por consecuente el calentamiento global.

Teniendo en cuenta esos aspectos positivos y negativos se analizan las diferentes experiencias a nivel laboratorio y a escala industrial por las diversas materias primas con las que se puede obtener bioetanol en zonas geográficas con vocación de generar cultivos energéticos para Colombia, confrontando el cambio de uso de suelo agrícola a energético y las ventajas de establecer el bioetanol como alcohol carburante en la actualidad.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar la evolución de la producción y uso de bioetanol en Colombia.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las materias primas usadas para producir bioetanol en diferentes regiones.
- Exponer el marco regulatorio regido para el bioetanol.
- Analizar las ventajas de usar bioetanol frente a la aplicación real en Colombia.
- Identificar los beneficios económicos y sociales por usar y producir bioetanol.
- Analizar las ventajas del uso de suelo al producir bioetanol en diferentes regiones.
- Comparar proyectos para producción de bioetanol en diferentes regiones.
- Determinar el estado actual del uso de bioetanol como alcohol carburante.

# 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

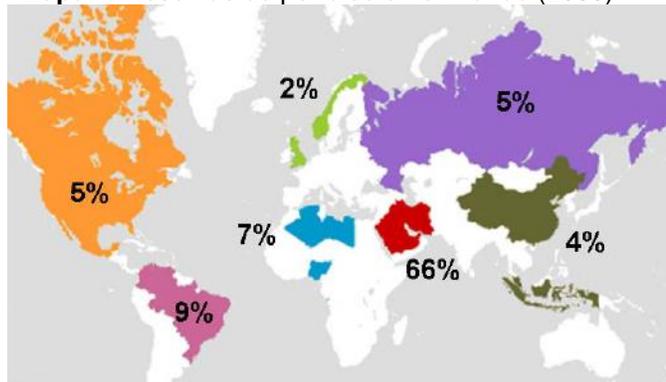
## 1.1 ANTECEDENTES

La fuente principal de energía durante el siglo XX y los inicios del XXI fue el combustible fósil, básicamente el petróleo, gas natural y carbón como lo afirman Abril y Navarro<sup>1</sup>. Durante el siglo XXI, la dependencia de éstos productos han requerido en la sociedad un cambio rotundo en la matriz energética, con la ayuda del cambio que se ha producido en el medio ambiente.

“Desde la segunda mitad del siglo XX, se hacen pronósticos sobre la fecha en que se acabará el petróleo (...) que estaban en el orden de 30 a 50 años”<sup>2</sup> pero con el desarrollo de nuevas técnicas, tecnologías, y con la aparición de nuevos yacimientos, el pronóstico se extendió a otros 30 años, pero lo relevante es el notable incremento de los precios que harán inviable su empleo como combustible de uso masivo como lo menciona Abril y Navarro<sup>3</sup>.

En el Mapa 1 se puede ver la distribución de reservas de petróleo en el mundo según lo muestra Gracia<sup>4</sup>, en donde Colombia comparte 9 por ciento de las reservas de petróleo restantes con algunos países suramericanos. Se estima que a futuro éstas se van a agotar y que incluyendo los futuros descubrimientos, no son muchos los yacimientos que quedan para los próximos años.

**Mapa 1.** Reservas de petróleo en el mundo (2009)



**Fuente:** GRACIA, Carlos. Biocombustibles: ¿Energía o Alimento?: España: 2009. p. 8.

<sup>1</sup> ABRIL, Alejandro y NAVARRO, Enrique. Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. En: RESEARCH GATE. 2012. p. 8.

<sup>2</sup> Ibid., p. 9.

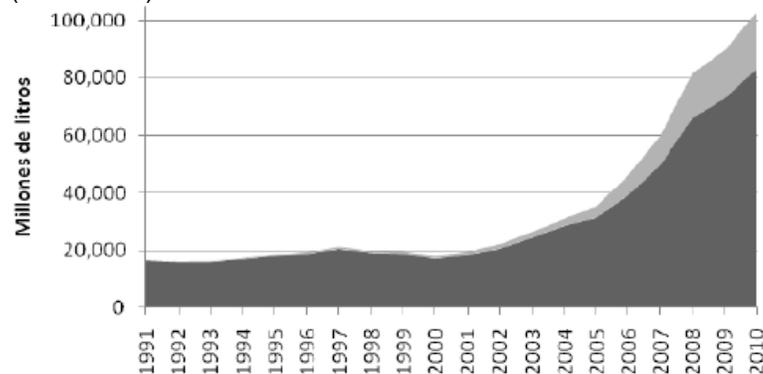
<sup>3</sup> Ibid., p. 10.

<sup>4</sup> GRACIA, Carlos. Biocombustibles: ¿Energía o Alimento?. España: 2009. p. 8.

Los actuales problemas ambientales (cambio climático, calentamiento global, efecto invernadero, entre otros) y la sobreexplotación petrolífera, ponen de manifiesto la necesidad de buscar combustibles más ecológicos, renovables y de producción natural tal como los biocombustibles. “La energía renovable es una de las formas más eficientes para lograr el desarrollo sostenible frente a éstos cambios que se han dado”<sup>5</sup>. Esa energía hace referencia a las fuentes que se obtienen de medios naturales, por la gran cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

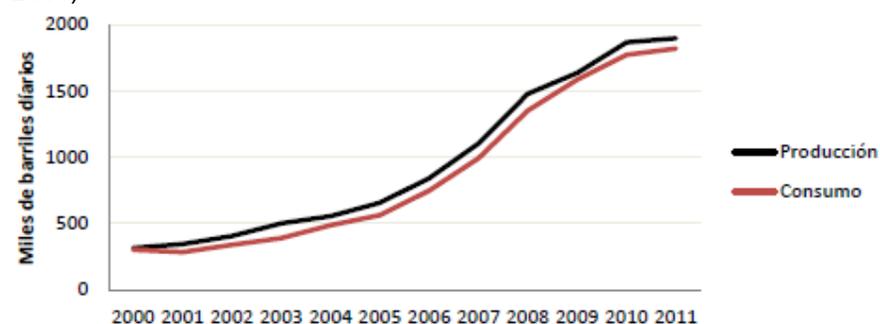
La producción y el consumo de biocombustibles tuvo un incremento acelerado en la primera década del siglo XXI como se ve en el Gráfico 1 y en el Gráfico 2.

**Gráfico 1.** Producción anual de biocombustibles en el mundo (1991-2010)



**Fuente:** GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Evaluación de la política de los biocombustibles En Colombia. Colombia: 2012, p. 9.

**Gráfico 2.** Producción y consumo de biocombustibles en el mundo (2000-2011)



**Fuente:** MARTÍNEZ JARAMILLO, Juan Esteban. Los efectos de los biocombustibles en la seguridad alimentaria En Colombia: Una aproximación con dinámica de sistemas. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2015, p. 32.

<sup>5</sup> Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). Bioetanol, Biotecnología Aplicada. Bogotá, Colombia: 2012.

Los factores que motivaron este crecimiento para García y Calderón<sup>6</sup> son: la necesidad de diversificar la matriz energética para tener una mayor seguridad energética, la presión internacional por la producción de energía limpia, la alta volatilidad del petróleo, las políticas públicas para el desarrollo agrario y la demanda de los biocombustibles desde el sector transporte.

“Los biocombustibles son aquellos producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable. Se pueden presentar de forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) y líquida (bioalcoholes, biodiesel y bioetanol) y gaseosa (biogás e hidrógeno)”<sup>7</sup>.

“Los combustibles derivados de la biomasa vegetal ofrecen una excelente oportunidad de energía alternativa convencional que puede tener un gran impacto no sólo sobre el crecimiento económico de los países, y la seguridad energética y ambiental, sino también un fuerte impacto social dado por la creación de nuevos empleos en el sector rural e industrial, lo cual puede promover una mejor calidad de vida de la población”<sup>8</sup>.

Desde el siglo pasado se habla de alcohol carburante o biocarburante, y junto con ello las oportunidades que esta alternativa del petróleo puede ofrecer. Este potencial no se relaciona sólo con la mejora ambiental, sino que incluye también dimensiones económicas, culturales y sociales. Una de las razones principales para la expansión de la producción y uso de los combustibles alternativos es el potencial ambiental que se puede obtener a partir de la sustitución de combustibles fósiles por aquellos derivados de los recursos de biomasa renovable como lo mencionan Pirs y Dukulis<sup>9</sup>.

“Hoy Colombia, busca diferentes alternativas para lograr resolver las crecientes dificultades que plantea su desarrollo y, en especial la alimentación de su población, en un escenario complejo de altos precios del petróleo y del carbón, en el que se vaticina a corto y mediano plazo el agotamiento de las reservas de hidrocarburos, y por ende de sus derivados”<sup>10</sup>.

---

<sup>6</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Evaluación de la política de los biocombustibles En Colombia. Colombia: 2012. p. 9.

<sup>7</sup> GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. En: MADRIMASD. 2006. p. 14.

<sup>8</sup> ALONSO GARZÓN, Diana Marisol. Producción de bioetanol por materia de origen vegetal en países de América. Bogotá, Colombia: Universidad de América, 2015. Estado del arte. p. 48.

<sup>9</sup> PIRS, V. y DUKULIS, I. Emission reduction potential of using biofuels. En: RESEARCH FOR RURAL DEVELOPMENT. p. 85-90. 2010.

<sup>10</sup> CORTÉS SIERRA, Simón; CHAVARRIAGA, Paul y LÓPEZ, Camilo. Biocombustibles y biotecnología: la yuca (*Manihot esculenta*) como modelo de investigación. En: ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA. Vol. 15. 2010.

“Colombia ha venido incursionando desde el año 2003 en esta temática y ocupa un lugar muy privilegiado en cuanto a ubicación geopolítica que favorece la producción y la competitividad de biocombustibles en América Latina junto con Brasil y Argentina e incluso en el Norte con Estados Unidos”<sup>11</sup>. En países como Colombia es posible obtener biocombustibles a partir de materias primas de origen vegetal gracias al clima, ya que permite un cultivo saludable, además permitir la industrialización del mercado.

“El bioetanol se puede obtener básicamente a partir de cuatro grandes grupos de materias primas, según la facilidad de fermentación en el proceso productivo del biocombustible: Alcohol vínic, procedente de las industrias vitivinícolas; Plantas ricas en azúcares: caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo azucarero, patata; Cereales: trigo, cebada, maíz; Material lignocelulósico: hierba, madera, celulosa”<sup>12</sup>. La producción de bioetanol en Colombia se centra en la caña de azúcar como materia prima, aprovechando las ventajas que ésta ofrece y su tradición y desarrollo en Colombia.

Junto con los antecedentes sobre el bioetanol, la producción y su marco normativo en Colombia, se realiza una continuación a las tesis: “Análisis de la producción del bioetanol en Colombia: balance energético preliminar del etanol producido a base de caña de azúcar en el Valle del Cauca y su utilización en Bogotá D.C.”<sup>13</sup>, “Acciones y estrategias para incrementar la competitividad de las empresas colombianas de bioetanol y biodiesel en el mercado internacional”<sup>14</sup> y “Análisis del impacto que han generado los biocombustibles en la agricultura seguridad alimentaria en los últimos años en Colombia”<sup>15</sup> realizadas por estudiantes de especializaciones en la Universidad de América.

---

<sup>11</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Biocombustibles en Colombia. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/>. 2009. p. 4.

<sup>12</sup> Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). El biodiesel y el bioetanol, cada vez más, una opción rentable. En: VIDA RURAL. 2006. p. 36.

<sup>13</sup> OTALORA ALVARADO, Rosmary. Análisis de la producción del bioetanol en Colombia: balance energético preliminar del etanol producido a base de caña de azúcar en el Valle del Cauca y su utilización en Bogotá D.C. 2011.

<sup>14</sup> ROBLES OBANDO, Lina María. Acciones y estrategias para incrementar la competitividad de las empresas colombianas de bioetanol y biodiesel en el mercado internacional. 2011.

<sup>15</sup> LEMUS CASTILLO, William Giovanni. Análisis del impacto que han generado los biocombustibles en la agricultura seguridad alimentaria en los últimos años en Colombia. 2012.

## 1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La preocupación por el medio ambiente conlleva a interesarse por los combustibles alternativos, esto se ha venido enfatizando por su impacto positivo en una gran cantidad de países alrededor del mundo. El calentamiento del planeta, las emisiones de GEI, las emisiones de contaminantes, el cambio en la capa de ozono, entre otras, promueve la curiosidad y permite realizar investigaciones científicas que junto con nuevas tecnologías permiten contrarrestar el cambio climático, suministrando energía similar a la de un combustible fósil.

Los combustibles fósiles serán cambiados por los biocombustibles de primera, segunda y tercera generación, la caída del petróleo influye en la búsqueda de fuentes alternas que sean amigables social, económica y ambientalmente para los países productores de la materia prima, del producto y para los países que lo usan dentro de su marco reglamentario.

La recopilación de datos se presenta para exponer la investigación del bioetanol en Colombia, mencionando ventajas y desventajas del proceso y de su producción, esto gracias a que los biocombustibles, como el bioetanol y el biodiesel, son fuente de energía renovable y a comparación de los combustibles fósiles presenta mejoras en el ambiente. También se encuentra la evolución del bioetanol, junto con sus diferentes materias primas y beneficios en las regiones de Colombia. Por último, se denota el cambio de uso del suelo en Colombia por la producción de combustibles a partir de alimentos, las políticas ambientales creadas de éstos y la normativa colombiana que connota la mezcla formulada en el combustible junto con las razones por las que el proyecto de masificar la mezcla no ha dado los resultados esperados.

Por esa razón se formulan las siguientes preguntas de investigación, que son desarrolladas en la monografía:

- ¿Cuál ha sido el desarrollo del bioetanol en Colombia?
- ¿Qué materias primas se usan para producir bioetanol en Colombia?
- ¿Cuál es la política ambiental o marco regulatorio que rige para los biocombustibles en Colombia?
- ¿Qué beneficios económicos y sociales se dan por usar bioetanol en Colombia?
- ¿Cuáles son las desventajas del uso de suelo al momento de producir bioetanol en Colombia?

- ¿Cuáles son los proyectos en Colombia para producir bioetanol y cuál es su estado actual?
- ¿Cuál es el estado actual del uso de bioetanol en Colombia?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

La población mundial actual es alimentada en gran parte por la agricultura industrializada, a su vez, depende de las entradas masivas de combustibles fósiles. Walker<sup>16</sup> afirma que a pesar de que los biocombustibles compiten inevitablemente por los recursos que de otro modo podrían ser utilizados para cultivar, almacenar y distribuir alimentos, que se llevan a cabo con frecuencia para ser sustitutos verdes deseable y viable a los combustibles fósiles e incluso que ahorran emisiones de carbono a la atmósfera.

Con las diferentes fuentes de abastecimiento que pueden promover la producción de biocombustibles en el mundo, la ONU ha planteado que los campos de cultivos energéticos deben crecer en proporción a la cantidad que se producirá de biocombustibles. A raíz de la diversidad de productos agrícolas encontrados existe una gran posibilidad de que la producción de bioetanol pueda ser contraproducente por problemas como la hambruna y desertización, un problema que afectaría notablemente en el sector agrícola y económico de los países que produzcan e implementen los biocombustibles.

“La producción de biocombustibles traería beneficios como la sostenibilidad energética, ya que se disminuye el riesgo de vulnerabilidad porque las reservas de petróleo sólo resistirán la demanda aproximadamente una década más, teniendo en cuenta eso el gobierno colombiano busca adicionar un 25% de etanol en la gasolina para el 2020, para no depender totalmente del combustible fósil”<sup>17</sup>. Así, mientras que la eliminación de vertidos accidentales de petróleo puede llevar años, si se produce un vertido de etanol su eliminación podría ser cuestión de días solamente y con bastante menor peligro de toxicidad para los seres vivos como lo mencionan Fernández, Lucas y Ballesteros<sup>18</sup>.

En Colombia se ha incorporado un marco normativo regido principalmente por la ley 693 de 2001 además de otras resoluciones y decretos que favorecen la promoción y producción del bioetanol colombiano, especialmente en zonas geográficas con calidad de suelo agrícola, esto con el fin de generar cultivos que permitan la generación de energía y la producción de alimentos sin que sea necesario competir por la seguridad alimentaria. Colombia tiene óptimas condiciones agrícolas para la generación de cultivos no sólo alimentarios, también se generan materias primas de origen vegetal que permiten el equilibrio alimentario al producir bioetanol de segunda, tercera y cuarta generación.

---

<sup>16</sup> WALKER, D. Biofuels - For better or worse? En: ANNALS OF APPLIED BIOLOGY. vol. 156, p. 319-327. 2010.

<sup>17</sup> ALONSO GARZÓN. Op. cit., p. 13.

<sup>18</sup> FERNÁNDEZ, Jesús, LUCAS, Hugo y BALLESTEROS, Mercedes. Biocarburantes. Disponible en: <http://www.iberdrola.es/inicio>. 2008. p. 9.

En la monografía se demuestra el potencial que posee el bioetanol frente a las dimensiones social, ambiental, tecnológica y ambiental, adicionalmente se hace una confrontación con las limitaciones que se dan al producir y usar bioetanol en Colombia, para demostrar que los biocombustibles y las energías alternativas contribuyen a la disminución de problemas ambientales y económicos en ciertas zonas geográficas y en algunos países, pero no siempre favorecen a contrarrestar los problemas que se han generado por la combustión de los fósiles.

## 1.4 DISEÑO METODOLÓGICO

Se desarrolló una investigación descriptiva ya que se explican problemas cotidianos encontrados en libros, artículos, tesis e investigaciones, mostrando las características, ventajas y desventajas del bioetanol. Teniendo en cuenta el estado del arte **PRODUCCIÓN DE BIOETANOL POR MATERIAS DE ORIGEN VEGETAL EN PAÍSES DE AMÉRICA** realizado en el año 2015, se consultaron algunas referencias encontradas allí para su uso en la monografía.

La búsqueda de información se realizó con las palabras clave consultando las colecciones digitales de la Universidad de América y de la Universidad Nacional, teniendo en cuenta un periodo aproximado de 10 años. Dentro de las colecciones digitales encontradas están Scopus, Nature Biotechnology, Virtual Pro, e-libro, Dialnet, Engineering Village, EBSCO, SciELO y Google Académico, de las cuales se sacaron artículos, libros y tesis para la recopilación de información.

- Scopus: Es una base de datos bibliográfica, que permite una visión multidisciplinaria de las ciencias, tecnología, medicina, ciencias sociales y artes, donde se puede encontrar resúmenes, citas de artículos de revistas científicas, entre otros.
- Nature Biotechnology: Es una revista de ciencias y biotecnología en donde se pueden encontrar artículos y papers.
- Vitruval Pro: Es un portal para la investigación y formación especializado en procesos industriales.
- E-libro: Es una plataforma que ofrece en línea una diversidad de libros.
- Dialnet: Es un portal hispano para la profundización científica en temas de ciencias humanas y sociales.
- Engineering Village: Es una plataforma que proporciona acceso a diversas bases de datos especializadas en Ingenierías y otros temas en donde se pueden encontrar artículos científicos y patentes que apoyan en proceso de investigación, desarrollo e innovación.
- EBSCO: Es una base de datos que ofrece textos y publicaciones académicas, de áreas como ciencias o humanidades.
- SciELO: Es una biblioteca electrónica que permite encontrar y publicar artículos científicos.

## 2. MARCO TEÓRICO: BIOETANOL EN COLOMBIA

El sistema energético internacional es fuertemente dependiente hoy en día de los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas; ya que según Delgado<sup>19</sup> cerca de 80 por ciento del consumo de energía en el mundo se origina de esas fuentes, consumo que durante 20 años presentaba un crecimiento de aproximadamente 2 por ciento anual, y que en los últimos años creció en media 3,1 por ciento anualmente.

La búsqueda de estrategias que permitan reducir la dependencia del combustible fósil ha llevado a desarrollar alternativas domésticas basadas en el uso de recursos renovables. “Una de las prioridades para muchos países es desarrollar alternativas energéticas menos costosas, en cuanto a no tener que importarlas, o invertir grandes capitales en exploración, más limpias respecto a la disminución en la generación de contaminantes en el momento de su producción y utilización y viables respecto a su producción”<sup>20</sup>.

Goldemberg<sup>21</sup> afirma que la energía renovable es una de las formas más eficientes para lograr el desarrollo sostenible. El aumento de su participación en la matriz mundial prolongará la existencia de reservas de combustibles, frente a las amenazas que plantea el cambio climático, y permitir una mejor seguridad del suministro de energía a escala global.

Si bien las fuentes de energía pueden clasificarse de variadas formas según el criterio usado por Posso<sup>22</sup> las energías alternativas comprenden todas aquellas energías de origen no fósil y que no han participado significativamente en el mercado mundial de la energía. La clasificación más amplia se divide en dos partes: renovables y no renovables; las renovables son aquellas que se consumen a una mayor velocidad de lo que la naturaleza puede reemplazarlas y las no renovables son fuentes que o pueden reponerse al generarse por procesos cíclicos de periodicidad variable o son inagotables.

En la Figura 1 se puede encontrar la clasificación mencionada por Posso con sus respectivas ramas y ejemplos.

---

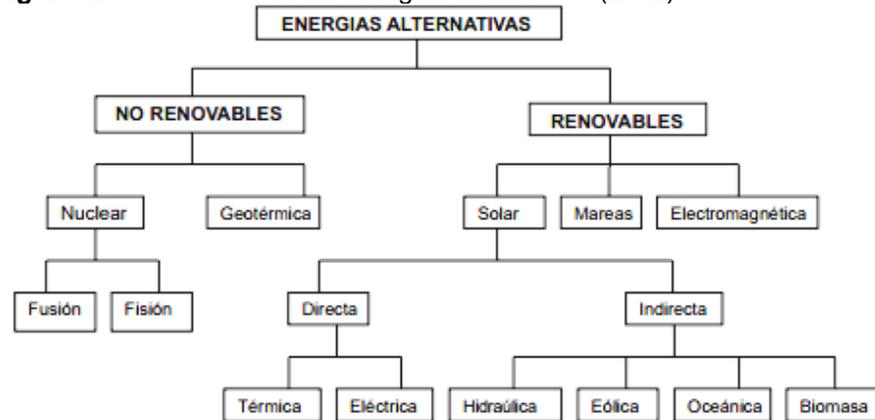
<sup>19</sup> DELGADO, Juan Eduardo; SALGADO, José Jorge y PÉREZ, Ronaldo. Perspectivas de los biocombustibles en Colombia. En: INGENIERÍAS UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. vol. 14, no. 27, p. 13-28.

<sup>20</sup> CORTÉS MARÍN, Elkin; MAHECHA SUAREZ, Héctor y PARDO CARRASCO, Sandra. Biocombustibles y autosuficiencia económica. En: DYNA. 2009. Vol. 76, p. 101.

<sup>21</sup> GOLDEMBERG, José. Ethanol for a Sustainable Energy Future. En: SCIENCE. no. 315

<sup>22</sup> POSSO, Fausto. Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas. En: GEOENSEÑANZA. 2002. Vol. 7, p. 56.

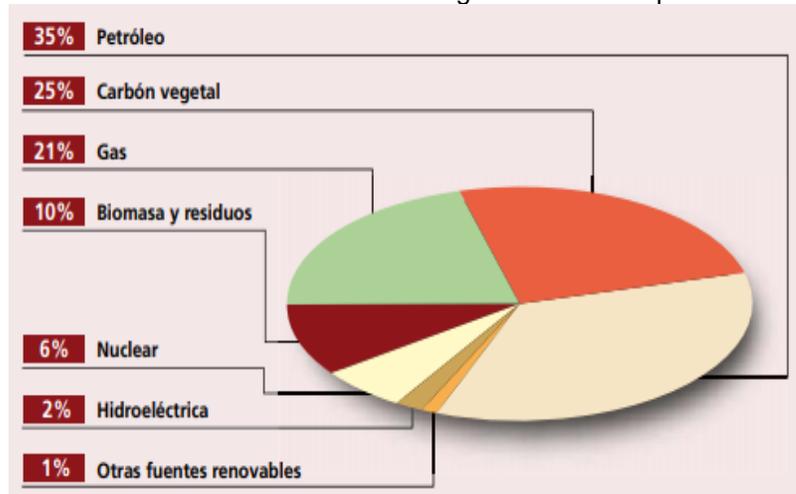
**Figura 1.** Clasificación de las energías alternativas (2002)



**Fuente:** POSSO, Fausto. Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas. En: GEOENSEÑANZA. 2002. Vol. 7, p. 56.

Además, el Gráfico 3 connota la demanda mundial de energía por algunas de éstas fuentes renovables, caracterizando a la biomasa y a los residuos como una alternativa que no ha tenido mucho auge al ser representados con un 10 por ciento, en comparación a energías provenientes del petróleo, carbón y del gas que ocupaban el 81 por ciento para el 2005 según la FAO<sup>23</sup>.

**Gráfico 3.** Demanda mundial de energías alternativas para el 2005



**Fuente:** FAO. El Estado Mundial De La Agricultura y La Alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, Italia: 2008. 1-114 ISBN 0251-1371. p. 4.

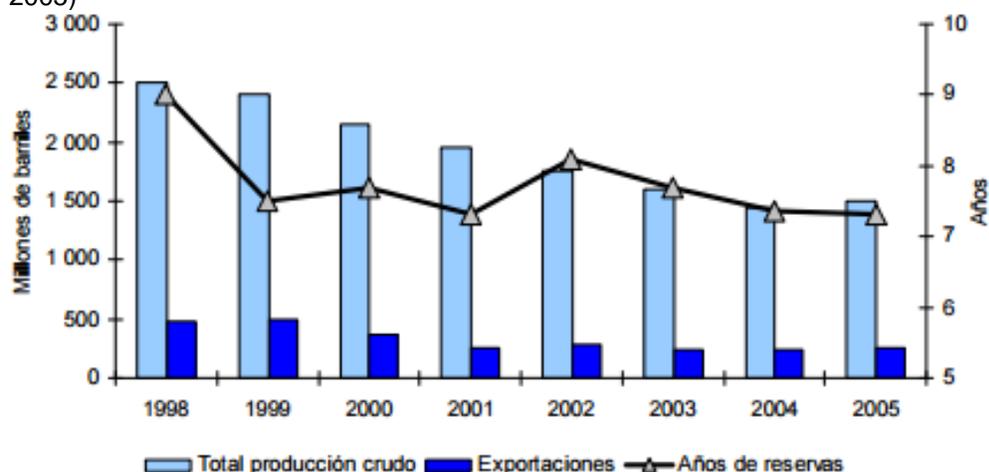
“El elevado precio del petróleo en el mercado internacional, la preocupación por el cambio climático y el alarmante aumento de la demanda de energía evidencian la

<sup>23</sup> FAO. El Estado Mundial De La Agricultura y La Alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, Italia: 2008. ISBN 0251-1371. p. 4.

necesidad de desarrollo de combustibles alternativos al petróleo”<sup>24</sup>, “hacen necesaria la entrada al mercado nacional del alcohol etanol con origen en la biomasa, tanto para ayudar a la seguridad de abastecimiento de combustibles como para diversificar las fuentes energéticas convencionalmente usadas, acordes con las tendencias mundiales para el uso racional y eficiente de energía”<sup>25</sup>.

La UPME<sup>26</sup> muestra la disminución en la producción y exportación de petróleo nacional, junto con las reservas desde 1998 hasta el año 2005 en el Gráfico 4, en donde se puede observar que ha venido decreciendo la producción mundial de crudo y el número de años de sus reservas.

**Gráfico 4.** Producción y exportaciones de petróleo vs. Reservas nacionales (1998-2005)



**Fuente:** UPME. Boletín Estadístico Unidad De Planeación Minero Energética. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/>

Al disminuir el uso de los combustibles fósiles, se disminuye el riesgo de vulnerabilidad energética, y ya que las reservas de petróleo sólo resistirán la demanda por unos años más, el gobierno colombiano ha buscado alternativas con los biocombustibles adicionando un 25% de etanol en la gasolina para el 2020.

“Además el uso de biocombustibles permite a los países diversificar su canasta energética y los hace menos dependientes de combustibles fósiles no renovables, puede tener efectos positivos sobre el medio ambiente al reducir el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero, y, al basarse en insumos agrícolas, puede tener efectos positivos sobre el desarrollo rural de los países”<sup>27</sup>.

<sup>24</sup> ALFARO, Pilar. Los Biocombustibles, un sector estratégico. En: ECODES. 31 de julio de 2007.

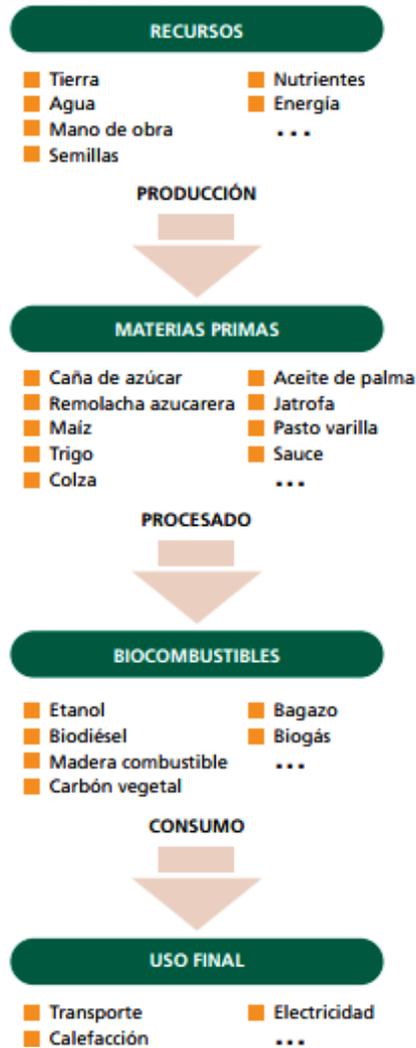
<sup>25</sup> CORREDOR AVELLA, Germán. “Tablero de comando” para La promoción de los biocombustibles en Colombia,”. En: CEPAL.

<sup>26</sup> UPME. Boletín Estadístico Unidad De Planeación Minero Energética. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/>

<sup>27</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 2.

El Gráfico 5 permite conocer el esquema general de los biocombustibles desde su materia prima hasta el uso final según lo plantea la FAO<sup>28</sup>.

**Gráfico 5.** Esquema general de los biocombustibles



**Fuente:** FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, Italia: 2008. ISBN 0251-1371. p.11.

Los conceptos de biocombustible, cultivo energético y biocarburante, vienen ganando importancia en las políticas agrarias y energéticas, en países industrializados y en aquellos en vía de desarrollo como lo mencionan Cortés,

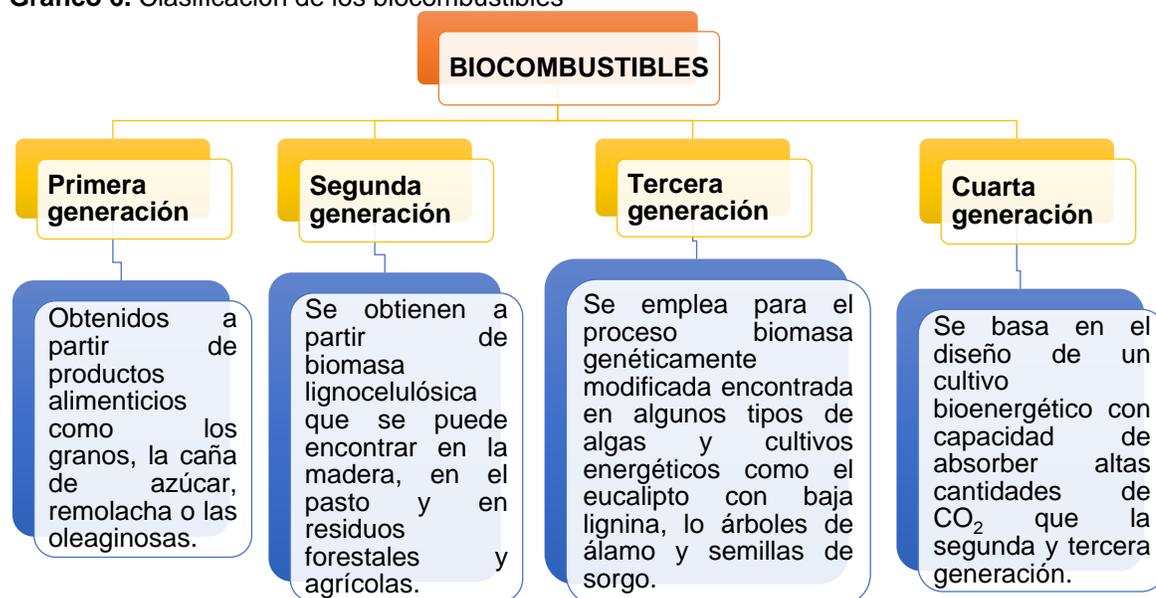
<sup>28</sup> FAO. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Op. cit., p.11.

Mahecha y Pardo<sup>29</sup>. Las motivaciones han sido, el evidente agotamiento de los combustibles fósiles, las periódicas crisis del petróleo, el aumento de los GEI provocados por la acumulación de anhídrido carbónico en la atmósfera y por consiguiente el cambio climático.

Según García y García<sup>30</sup> entre las fuentes de los biocombustibles, están la biomasa proveniente de cultivos como la caña de azúcar, el maíz, la yuca, la remolacha, entre otros, para la producción de bioetanol, y los aceites provenientes de la palma africana, la soya, la *Jatropha*, entre otras plantas, para la producción de biodiesel.

En el Gráfico 6 se puede encontrar la clasificación de los biocombustibles en cuatro generaciones como lo identifican Sánchez, Rodríguez y Díaz<sup>31</sup>.

**Gráfico 6.** Clasificación de los biocombustibles



**Fuente:** Extraído de SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Expectativas del sector de la bioenergía en Castilla y León. España: Consejo Económico y Social, 2009 y editado por el autor.

Teniendo en cuenta el esquema de la producción de biocombustibles se puede dar a conocer la definición de bioenergía, según Sánchez y Rodríguez<sup>32</sup> como aquel tipo de energía renovable que puede ser obtenida a partir de la biomasa. La

<sup>29</sup> CORTÉS MARÍN, Elkin; MAHECHA SUAREZ, Héctor y PARDO CARRASCO, Sandra. Op. cit., p. 101.

<sup>30</sup> IICA. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. San José, Costa Rica: 2007. ISBN 978-92-9039-850-9. p. 3.

<sup>31</sup> SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Expectativas del sector de la bioenergía en Castilla y León. España: Consejo Económico y Social, 2009. p. 59-221.

<sup>32</sup> Ibid., p. 93.

obtención de la bioenergía, que puede ser empleada en una variedad de aplicaciones térmicas, eléctricas o como carburante para el transporte, requiere el empleo de procesos de conversión termoquímicos (como la combustión directa, la gasificación y la pirólisis), bioquímicos (como la fermentación alcohólica y la digestión anaeróbica), o fisicoquímicos (prensado y extracción), o una combinación de ellos.

Fomentar el uso de los biocombustibles como producto final permite “incentivar la producción agrícola y forestal, y por tanto una forma de favorecer al sector primario (Producción y materias primas). Pero para ello es preciso que no se rompa la cadena causal que relaciona a los distintos agentes que aparecen en el Cuadro 1: consumidores de energía, productores de bioenergía y empresarios de los sectores agrícola y forestal”<sup>33</sup>.

**Cuadro 1.** Cadena de valor de la bioenergía

Recursos de la biomasa	Sistemas de oferta	Conversión	Productos finales
Cultivos y residuos Agrarios	Siembra	Mecánica	Biocarburentes
Plantas oleaginosas	Recolección	Termoquímica	Electricidad
Biomasa maderera	Manipulación	Bioquímica	Calor
Residuos industriales y municipales	Almacenamiento	Fisicoquímica	Combustibles sólidos

**Fuente:** SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Expectativas del sector de la bioenergía en Castilla y León. España: Consejo Económico y Social, 2009. p. 91.

Por su parte, la biomasa, materia prima que permite la producción de los biocombustibles, según Sánchez y Rodríguez<sup>34</sup> es la fracción biodegradable de los productos, subproductos y residuos procedentes de la agricultura, de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales. En definitiva, la biomasa es un sinónimo de la materia orgánica, tanto la originada en un proceso biológico espontáneo como la favorecida por la acción del hombre, es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación, ya sea natural o artificial.

En las últimas décadas los usos energéticos de la biomasa se han acrecentado notablemente. Los incrementos en los precios del petróleo, la seguridad en el suministro energético, y los objetivos planteados en normativa nacional e internacional relacionados con la sostenibilidad medioambiental, han estimulado un interés creciente por las tecnologías de conversión de la biomasa en energía. Esto

<sup>33</sup> SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Op. cit., p. 92.

<sup>34</sup> Ibid., p. 94.

ha dado lugar a que, en la actualidad, la biomasa se haya convertido en la principal fuente renovable de energía.

“Los biocombustibles se presentan de forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiesel) y gaseosa (biogás, hidrógeno)”<sup>35</sup>, y “ofrecen una excelente oportunidad de energía alternativa convencional que puede tener un gran impacto no sólo sobre el crecimiento económico de los países, y sobre la seguridad energética y ambiental, sino también un fuerte impacto social dado por la creación de nuevos empleos en el sector rural e industrial”<sup>36</sup>.

En el Cuadro 2 se encuentran algunos biocombustibles y el proceso de producción que se realiza para su obtención.

**Cuadro 2.** Proceso de producción de biocombustibles convencionales

NOMBRE GENÉRICO	BIOCOMBUSTIBLE	PROCESO DE PRODUCCIÓN
Aceite vegetal no modificado	Aceite vegetal puro	Prensado en frío, extracción y refinado
Biodiésel a partir de semillas	Biodiésel	Transesterificación del SVO
Biodiésel a partir de residuos (aceites o grasas)	Biodiésel	Refinado y transesterificación
Etanol de cultivos con azúcar	Bioetanol	Fermentación y destilado
Etanol de cultivos con almidón	Bioetanol	Hidrólisis, fermentación y destilado
ETBE (Etil Ter-butil-éter)	Bio-ETBE	Fermentación y síntesis
SNG (GN sintético) de biogás	Biogás	Digestión, eliminación de CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
Hidrógeno a partir de biogás	Biohidrógeno	Digestión, WGS y eliminación de CO <sub>2</sub>

**Fuente:** ALONSO GARZÓN, Diana Marisol. Producción de bioetanol por materia de origen vegetal en países de américa. Bogotá, Colombia: Universidad de América, 2015. p. 49.

<sup>35</sup> GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Op. cit., p. 14.

<sup>36</sup> CORTÉS SIERRA, Simón; CHAVARRIAGA, Paul y LÓPEZ, Camilo. Op. cit. p. 6.

“Dentro de los biocombustibles, los biocarburantes abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna. El biocombustible más importante es el alcohol carburante, el cual puede ser utilizado como oxigenante de la gasolina, elevando su contenido de O<sub>2</sub>, lo que permite una mayor combustión de la misma, disminuyendo las emisiones contaminantes de hidrocarburos no oxidados completamente”<sup>37</sup>.

“Desde hace más de una década, se habla de biocarburantes, además de sus oportunidades y desafíos que estos combustibles alternativos ofrecen al petróleo. Este potencial no se relaciona solamente con la mejora ambiental, sino que incluye, también dimensiones económicas, culturales y sociales alrededor del mundo”<sup>38</sup>.

Según Herrera<sup>39</sup>, desde el año 2003 Colombia incursiona en esta temática y ocupa un lugar privilegiado en cuanto a ubicación geopolítica, esto favorece la producción y la competitividad de producir biocombustibles en América Latina. “Además, al ubicarse en la zona ecuatorial y contar con climas y ecosistemas variados, Colombia cuenta con un gran potencial para desarrollar energías limpias a partir del agua, el viento, el sol y de los residuos de biomasa como los de la caña de azúcar”<sup>40</sup>.

Según Cortés<sup>41</sup>, hoy Colombia, busca alternativas para resolver las crecientes dificultades que plantea su desarrollo en un escenario en dónde los precios del petróleo y del carbón son altos, en el que además, se proyecta a corto y mediano plazo el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles.

“Esta es una realidad que impulsó al Congreso a expedir las leyes para establecer el programa nacional de biocombustibles”<sup>42</sup> y “ha venido desarrollando políticas para la introducción de biocombustibles como mezclas en la gasolina. Esta acción está apoyada en normas que obligan a introducir la mezcla gradualmente en el territorio nacional, y que podrá impulsar la producción de materias primas y la producción de alcohol carburante y biodiesel”<sup>43</sup>.

Estas preocupaciones no son ajenas a Colombia ya que desde el 2001, según García y Calderón<sup>44</sup>, el país hizo una importante apuesta por los biocombustibles haciendo obligatorias las mezclas de gasolina con etanol y otorgando facilidades

---

<sup>37</sup> ALONSO GARZÓN. Op. cit., p. 49.

<sup>38</sup> CORTÉS MARÍN, Elkin; MAHECHA SUAREZ, Héctor y PARDO CARRASCO, Sandra. Op. cit., p. 101.

<sup>39</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Op. cit. p. 4.

<sup>40</sup> Portafolio. Energías Renovables, La apuesta que debe hacer el país. Portafolio. Diciembre 5 de 2016. Disponible en: <http://www.portafolio.co/innovacion/energias-renovables-en-colombia-502061>

<sup>41</sup> CORTÉS MARÍN, Elkin; MAHECHA SUAREZ, Héctor y PARDO CARRASCO, Sandra. Op. cit., p. 101.

<sup>42</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 149. Op. cit.

<sup>43</sup> CORREDOR AVELLA, Germán. Op. cit.

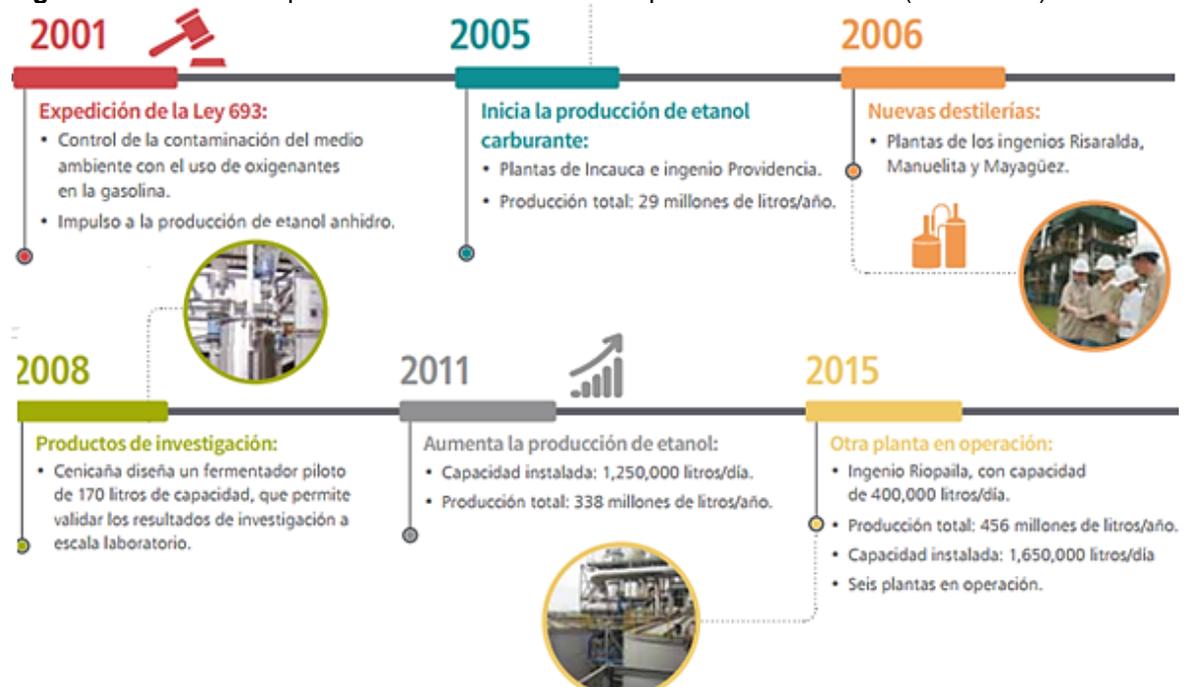
<sup>44</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 2.

para la producción y consumo de estas. Los objetivos que persigue la política de biocombustibles en el país son impulsar el desarrollo rural, diversificar la canasta energética, mejorar la calidad del medio ambiente, y promover un sector que pueda ser competitivo a nivel mundial.

“La fabricación de biocombustibles en Colombia está regulada por la Ley 693 de 2001 que pretende incentivar la producción nacional y definir los precios, las calidades y los porcentajes de mezclas. Así, su desarrollo se ha enfocado en el progreso rural, la diversificación de la canasta energética y la protección del medioambiente”<sup>45</sup>.

En la Figura 2 se puede encontrar una línea de tiempo de hechos relevantes de la producción de etanol en la agroindustria como normativa creada para impulsar la producción de etanol, nuevas plantas e ingenios en operación para aumentar la producción de caña y de etanol y nuevos proyectos e investigaciones para conocer nuevas características del proceso, presentados por Cenicaña<sup>46</sup>.

**Figura 2.** Línea de tiempo de hechos relevantes en la producción de etanol (2001-2015)



**Fuente:** Cenicaña. Etanol: 10 años de producción en Colombia. Año 4 ed. Cali, Colombia: Cenicaña, 2016. ISBN 2339-3246.

<sup>45</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 147. En: BIOCMBUSTIBLES HOY. Abril 27 de 2016.

<sup>46</sup> Cenicaña. Etanol: 10 años de producción en Colombia. Año 4 ed. Cali, Colombia: Cenicaña, 2016. ISBN 2339-3246.

Según Jaime *et al.*<sup>47</sup>, la aprobación de la Ley 693 marcó la entrada de Colombia en la nueva era mundial de los combustibles de origen vegetal, utilizados desde hace muchas décadas, debido al atractivo económico en razón del Protocolo de Kyoto y la dinámica de precios internacionales del petróleo. “Mediante la reglamentación de la Ley se estableció un comprensivo marco legal y normativo, que además de promover el uso de los agrocarburos, proporcionó los estímulos necesarios para la producción, comercialización y consumo”<sup>48</sup>.

“La promulgación de la Ley tuvo como propósito principal la diversificación de la canasta y la autosuficiencia energética colombiana, en el mejoramiento del medio ambiente y la calidad del aire además de la generación de empleo y desarrollo agroindustrial a través del uso de alternativas compatibles con el desarrollo sostenible.<sup>49</sup> En el Cuadro 3 se mencionan diferentes organizaciones que a nivel nacional han ejecutado y definido normativas para el desarrollo de los biocombustibles.

**Cuadro 3.** Estructuras organizacionales que brindan soporte al desarrollo de los biocombustibles en Colombia

<b>Congreso de la República de Colombia</b>	<b>Ministerio de Minas y Energía (MinMinas)</b>
Expedir leyes para regular la actividad generada por el uso y producción de los biocombustibles como una forma de energía renovable.	Define y regula la normativa aplicada a la producción y comercialización de los biocombustibles.
<b>Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura)</b>	<b>Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinComercio)</b>
Define y regula las políticas para el desarrollo agroindustrial de los cultivos establecidos para generar las materias primas de origen vegetal que permiten la producción de los biocombustibles.	Identificar nuevas e innovadoras iniciativas en materia de biocombustibles para que las exportaciones del país sean cada vez mayores.
<b>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MinAmbiente)</b>	<b>Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)</b>
Define, regula y establece las políticas ambientales que permiten el desarrollo de los biocombustibles.	Mediante análisis económicos y energéticos brinda soporte al Ministerio de Minas y Energía para promover el uso de energías renovables.

<sup>47</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Op. cit.

<sup>48</sup> UPME. Biocombustibles en Colombia. En: MINISTERIO DE MINAS y ENERGÍA. Abril de 2009.

<sup>49</sup> RUEDA, Alejandra. La bioenergía en América Latina y El Caribe El estado de arte en países seleccionados. FAO: 2013. p. 151-180. ISBN 978-92-5-307734-2.

**Cuadro 3.** (Continuación)

<b>Federación Nacional de Biocombustibles (Fedebiocombustibles)</b>	<b>Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO en Colombia)</b>
Fortalece e impulsa proyectos regionales que nacen de la idea de desarrollar, usar y producir biocombustibles en el territorio colombiano.	Establece el uso sostenible de los recursos naturales y busca erradicar la inseguridad alimentaria generada por la creación de energías renovables que promueven el uso de alimentos como una fuente de energía.

**Fuente:** Elaborado por el autor.

“En el mundo, los programas de apoyo a la producción de biocombustibles responden a diferentes objetivos de política que se encuentran relacionados con su producción. Entre las motivaciones, se encuentran temas de seguridad energética, apoyo al campo y, más recientemente, cobra importancia la contribución a la mitigación del problema de calentamiento global”<sup>50</sup>.

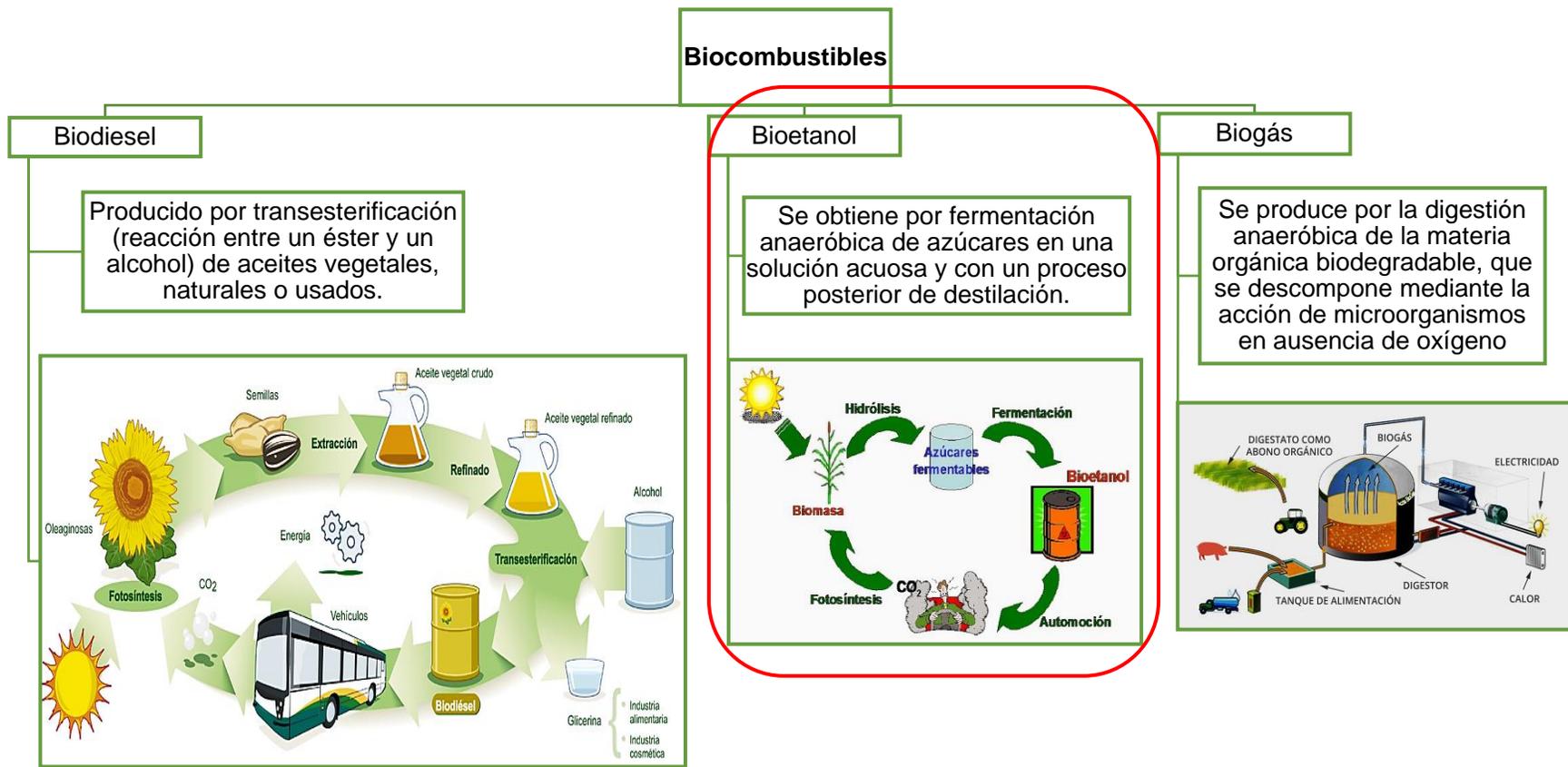
Las características de uso de biocombustibles y sus normas en Colombia implican la necesidad de contener como mínimo el 10 por ciento de etanol en la gasolina motor, con proyecciones a aumentar ésta cantidad a través del tiempo. Según el Ministerio de Minas y Energía, el mercado objetivo principal corresponde al sector de la industria de los biocombustibles y los centros mayoristas de mezcla, que actualmente requieren mezclar diferentes concentraciones de etanol con la gasolina para motores.

Siguiendo con el tema de los biocombustibles se presenta a continuación en el Gráfico 7 denotando las diferencias entre los biocarburantes o biocombustibles líquidos (Biodiesel y bioetanol) y el biogás que es caracterizado como un biocombustible en estado gaseoso.

---

<sup>50</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 149. Op. cit., p. 4.

**Gráfico 7.** Diferencias entre el biodiesel, bioetanol y biogás



**Fuente:** Extraído de FERNÁNDEZ, Jesús; LUCAS, Hugo y BALLESTEROS, Mercedes. Biocarburantes. En: REVISTA ENERGÍAS RENOVABLES. 2008. y de SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Expectativas del sector de la bioenergía en Castilla y León. España: Consejo Económico y Social, 2009. p. 73 y editado por el autor.

Como lo menciona Fernández *et al*<sup>51</sup> frente al bioetanol y al biodiesel, cada uno de estos biocarburentes puede dar origen a industrias agrarias en las que se puede contemplar globalmente la producción de la materia prima mediante cultivos específicos y la transformación de ésta en biocarburente.

Continuando con el bioetanol, éste “se puede obtener básicamente a partir de cuatro grandes grupos de materias primas, según la facilidad de fermentación en el proceso productivo: Alcohol vínico, procedente de las industrias vitivinícolas; Plantas ricas en azúcares: caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo azucarero, pataca; Cereales: trigo, cebada, maíz; Material lignocelulósico: hierba, madera, celulosa”<sup>52</sup>.

En el Cuadro 4 se pueden ver diversas materias primas que se pueden usar para la producción de bioetanol alrededor del mundo.

**Cuadro 4.** Materias primas que se emplean en la producción de bioetanol

<b>MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL</b>		
Algodón	Leche entera	Patata
Bagazo	Madera	Plátano
Caña de azúcar	Maíz	Remolacha
Cáñamo	Melaza	Sorgo
Cebada	Naranja	Suero
Hierba	Paja	Trigo
Girasol	Papel	Yuca

**Fuente:** Elaborado por el autor.

Esto demuestra el dinamismo que se ha generado en el mundo frente a los biocombustibles, evidenciando la diversidad de materias primas para la obtención de bioetanol que constituyen en una ayuda social, económica y ambiental.

“En Colombia, la producción industrial de bioetanol inicio en el año 2005 con más de 27 millones de litros producidos a partir de caña de azúcar registrados por la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia”<sup>53</sup>. “En la actualidad, se han centrado todos los esfuerzos hacia la producción de bioetanol a partir de la

<sup>51</sup> FERNÁNDEZ, Jesús; LUCAS, Hugo y BALLESTEROS, Mercedes. Op cit., p. 2.

<sup>52</sup> Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). Op cit.

<sup>53</sup> MANRIQUE, Luis Carlos; GUTIÉRREZ, Edgar y GONZÁLEZ, Gloria. Modelo de equilibrio general computable para la producción de azúcar y bioetanol en Colombia. En: REVISTA DE INGENIERÍA - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. 2009.

Caña de Azúcar, dadas las condiciones de infraestructura del país, aprovechando las ventajas que ésta ofrece y la tradición y desarrollo del sector cañero en Colombia”<sup>54</sup>. “Además existen un sinnúmero de ofertas tecnológicas para el procesamiento de la yuca, la remolacha y de muchas otras materias primas, susceptibles de ser fermentadas y por consiguiente obtener etanol a escala industrial”<sup>55</sup>.

En el Cuadro 5 se encuentran las materias primas usadas a escala laboratorio y a escala industrial en diferentes proyectos realizados en Colombia.

**Cuadro 5.** Materias primas para la obtención de bioetanol en Colombia

ESCALA LABORATORIO		ESCALA INDUSTRIAL
Caña de azúcar	Yuca/Sorgo	Caña de azúcar
Remolacha	Maíz	
Naranja	Sorgo	Yuca/Sorgo
Plátano/Banano	Residuos lignocelulósicos	

**Fuente:** Elaborado por el autor.

Por otro lado, y teniendo en cuenta la problemática por la parte ambiental se puede demostrar la contribución favorable con el medio ambiente a la hora de ser adicionado el etanol en la gasolina.

En el Cuadro 6 se encuentra el porcentaje de aumento o disminución para algunos factores ambientales, estimando la diferencia entre las emisiones del E10 (10% de etanol y 90% de gasolina) respecto a las emisiones de la gasolina como lo plantea Enguïdanos<sup>56</sup>.

<sup>54</sup> PÉREZ ÁVILA, Alan Didier. Evaluación del proceso de producción de etanol carburante a partir de Caña azucarera, remolacha azucarera y maíz. En: UNAL. s.f.

<sup>55</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Op. cit.

<sup>56</sup> Enguïdanos, M., Soria, A., Christidis, P., & Kavalov, B. (2002). Techno-economic analysis of bio-alcohol production in the EU: A short summary for decision-makers. Joint Research Centre - European Comission.

**Cuadro 6.** Estimación de las emisiones del E10 respecto a las emisiones de la gasolina

EMISIÓN	SENTIDO	¿CUÁNTO? (%)
CO	Disminuye	25-30
CO <sub>2</sub>	Disminuye	6-10
NO <sub>x</sub>	Aumenta	5
Compuestos orgánicos volátiles del escape	Disminuye	7
SO <sub>2</sub>	Disminuye	Indeterminado
Aldehídos *Si el vehículo lleva catalizador, la emisión de aldehídos es insignificante.	Aumenta	30-50*
Aromáticos (Benceno y butadieno)	Disminuye	Indeterminado

**Fuente:** Extraído de Enguítanos, M., Soria, A., Christidis, P., & Kavalov, B. (2002). Techno-economic analysis of bio-alcohol production in the EU: A short summary for decision-makers. Joint Research Centre - European Comission y editado por el autor.

“Se calcula que el uso de una mezcla de E10 sería suficiente para reducir entre el 12% al 19% los GEI, el 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el 50% de las emisiones de partículas finas que causan problemas respiratorios y de las emisiones de sustancias orgánicas volátiles que producen el smog”<sup>57</sup>.

“Al ser renovable y producido localmente, el etanol permite disminuir la dependencia del petróleo, lo que mejora la seguridad energética de los países”<sup>58</sup>. “El bioetanol presenta un ciclo neutro respecto al CO<sub>2</sub>, ya que todo el carbono que se emite en la combustión de este alcohol corresponde a carbono que había sido previamente retirado de la atmósfera por el cultivo”<sup>59</sup>.

El uso del bioetanol en vez de los carburantes fósiles produce toda una serie de beneficios ambientales, no solo en relación con las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero sino también por la propia naturaleza del etanol, un producto soluble en agua y mucho más degradable que los hidrocarburos. Así, mientras que la eliminación de vertidos accidentales de petróleo puede llevar años, si se produce un vertido de etanol su eliminación podría ser cuestión de días solamente y con bastante menor peligro de toxicidad para los seres vivos.<sup>60</sup>

<sup>57</sup> IICA. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. Op. cit. p. 9.

<sup>58</sup> Ibid., p. 5.

<sup>59</sup> FERNÁNDEZ, Jesús; LUCAS, Hugo y BALLESTEROS, Mercedes. Op. cit. p. 9.

<sup>60</sup> Ibid., p. 9.

Uno de los más claros beneficios es que el uso de biocombustibles reduce las emisiones de GEI en comparación a las emisiones de los combustibles fósiles. En este sentido, el estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), contratado por el Ministerio de Minas y Energía<sup>61</sup>, y elaborado por The Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA) de Suiza, el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales de Medellín (CNMPL) y la Universidad Pontificia Bolivariana (sede Medellín), el bioetanol colombiano proveniente de la caña de azúcar ofrece características favorables para el medio ambiente como lo menciona Asocaña<sup>62</sup> en la Figura 3.

**Figura 3.** Emisiones del bioetanol colombiano.



**Fuente:** Asocaña. El bioetanol colombiano de caña de azúcar. Colombia. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/12001.aspx>

Sin embargo, no todo en la producción y uso de bioetanol se puede convertir en un beneficio, muchos confirman que los biocombustibles traen más desventajas que beneficios al medio ambiente y a la humanidad. Los beneficios ambientales, económicos y sociales, además de sus ventajas y desventajas se profundizan en el capítulo 5. A continuación se ve el Cuadro 7 de los aspectos más relevantes de las ventajas, beneficios y limitaciones en lo social, económico y ambiental.

<sup>61</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 149. Op. cit., p. 4.

<sup>62</sup> Asocaña. El bioetanol colombiano de caña de azúcar. Colombia. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/12001.aspx>

**Cuadro 7.** Beneficios, ventajas y limitaciones del uso y producción del bioetanol en Colombia

<b>BENEFICIOS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>LIMITACIONES</b>
Aumento de áreas agrícolas.	Se crea reincorporación en la producción de áreas agrícolas abandonadas.	Apropiación ilícita de tierras para la creación de cultivos en áreas agrícolas abandonadas.
Expansión de la frontera agrícola en el país.	Fomenta el crecimiento económico en regiones agrícolas por la creación de cultivos locales.	Si no hay disponibilidad de tierras al momento de cultivar se puede generar deforestación.
Desarrollo del potencial humano y rural.	Estimulación y generación de empleo formal y nuevos ingresos en el campo.	No siempre se va a requerir mano de obra sino que en ciertos procesos será necesario la incorporación intensiva de tecnología.
El bioetanol contrarresta los problemas atmosféricos derivados de la combustión de los fósiles.	Los residuos generados en el proceso de obtención de etanol se aprovechan para mejorar la productividad de los cultivos y producir energía en el proceso.	Algunas mezclas etanol-gasolina usadas en motores de combustión interna generan mini-partículas peligrosas para la atmósfera respirable.
Se aprovechan materias primas y recursos provenientes de regiones colombianas como la caña de azúcar, yuca y residuos lignocelulósicos que se transforman en alcohol.	Las condiciones agrícolas de Colombia son óptimas para cultivar diversas materias primas para la producción de etanol.	El cultivo de las materias primas para obtener bioetanol compite con el cultivo de los alimentos, por lo tanto el costo de los alimentos tiende a incrementar.
Al utilizar una mezcla E10 en los motores de combustión interna se reducen las emisiones de CO entre 22% y 50% respecto a las emisiones de la gasolina.	El etanol tiene un alto número de octano, lo que reduce las emisiones de CO, CO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> al ser usado en motores de combustión interna.	El etanol al ser higroscópico produce corrosión en las partes metálicas del motor y disminuye la lubricidad del mismo.

**Cuadro 7.** (Continuación)

<b>BENEFICIOS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>LIMITACIONES</b>
La producción de bioetanol tiene la capacidad de generar exportaciones e incrementar los ingresos por las mismas.	La producción de biocombustibles es rentable en Colombia gracias a la reducción de impuestos y la creación de subsidios e incentivos financieros.	La producción de bioetanol es más costosa que la obtención de gasolina a partir del petróleo.
Usar bioetanol reduce la huella de carbono y las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero en más de 2,5 millones de toneladas de gas carbónico, lo que equivale a sembrar 190 millones de árboles en un año.	Al producir bioetanol se genera cantidades mínimas de CO <sub>2</sub> que son absorbidas por el cultivo de la materia prima, generando así un círculo vicioso y una cantidad de CO <sub>2</sub> neto insignificante.	Algunos biocombustibles en lugar de atenuar generan más emisiones y afectan la salud y el medio ambiente, pues crean una polución más pulverizada y liberan más contaminantes que destruyen la capa de ozono.

**Fuente:** Elaborado por el autor.

“El programa de biocombustibles en Colombia está contribuyendo al desarrollo agrícola y crecimiento tecnológico del sector, porque se están utilizando tierras ociosas, con actividades que garantizan empleo estable y bien remunerado sin afectar los bosques”<sup>63</sup>.

Sin embargo, la obtención de las materias primas implica usar tierras arables o desplazar las tierras de su uso original, cambiando el uso de la tierra que había sido destinada para otros cultivos con vocación de alimento y no de energía, por eso, existen grandes preocupaciones sobre el impacto negativo que el uso de biomasa para la producción de combustibles puede tener sobre la seguridad alimentaria.

La materia prima compite fuertemente con el sector de alimentos en el mundo, lo que desata controversias de carácter técnico, social y ético. El tema de las energías alternativas ha despertado una gran expectativa, en cuanto a las oportunidades que se tienen de aprovechar los residuos sólidos orgánicos, generar alto impacto ambiental, económico y social e impulsar el uso y desarrollo de los biocombustibles; la propuesta de innovación es producir bioetanol, como energías limpias alternativas, y subproductos, a partir de residuos que actualmente se desperdician y causan impactos negativos en los órdenes ambiental y social, y que no compiten con alimentos como materias primas para la generación de biocombustibles.<sup>64</sup> A largo plazo habrá una estabilidad del mercado frente al de los

<sup>63</sup> BOCHNO HERNÁNDEZ, Elzbieta. Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Colombia. Bogotá: Octubre de 2011. p. 28.

<sup>64</sup> MARTÍNEZ SEPÚLVEDA, José Alejandro y MONOYA GÓMEZ, Nancy Johana. Análisis preliminar de la viabilidad de obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En: PRODUCCIÓN + LIMPIA. Diciembre de 2013. Vol. 8, No. 2, p. 72-84.

combustibles fósiles, la gran cantidad de productos encontrados demuestran la validez de crear un combustible de origen vegetal que colabore con el medio ambiente y que no compita con la seguridad alimentaria.

Por último, para fomentar este crecimiento agrícola y tecnológico, desde el 2005 se implementó la incorporación del etanol, al 2011 se tenían 5 plantas productoras de bioetanol, pero a julio de 2017 la distribución actual de las plantas de bioetanol en Colombia creció según Fedebiocombustibles<sup>65</sup> a 6 ingenios en donde se incluye la nueva plata denominada Bioenergy que se pueden observar en el Mapa 2.

**Mapa 2.** Zonas geográficas de la producción actual de bioetanol en Colombia (2017)



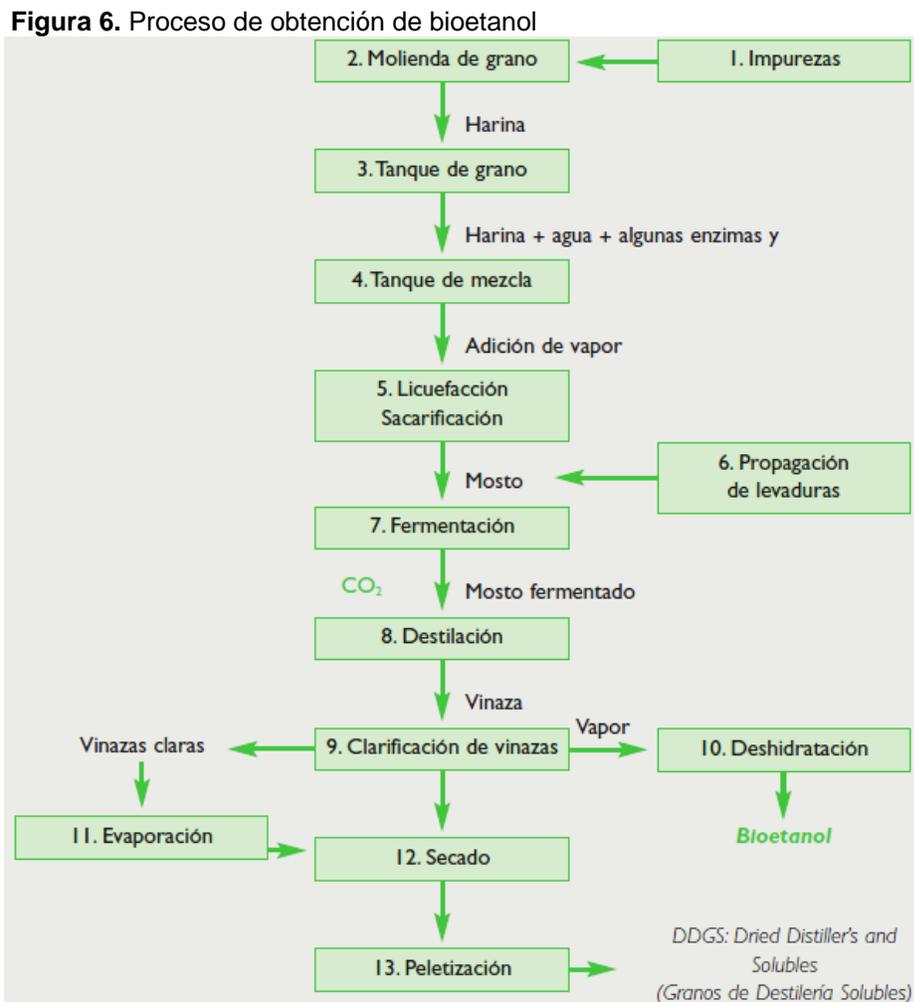
**Fuente:** Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)

<sup>65</sup> Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)



Los procesos a partir de los diversos tipos de biomasa se muestran en la Figura 4 y en la Figura 5, donde la biomasa azucarada es la proveniente de fuentes de glucosa o sacarosa como la caña de azúcar, la biomasa amilácea es la materia prima que contiene almidón como la yuca, y la biomasa lignocelulósica es aquella en la que predomina la celulosa, hemicelulosa y lignina como la madera.

El proceso de obtención de bioetanol según Ortiz<sup>67</sup> donde se tienen en cuenta procesos comunes como la fermentación, destilación y obtención de vinazas se ve en la Figura 6.

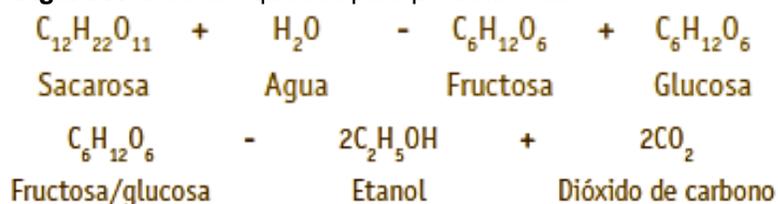


**Fuente:** ORTIZ MARCOS, Susana. Buscando combustibles alternativos: El Bioetanol. En: Anales de mecánica y electricidad. Asociación de Ingenieros del ICAI, 2003. p. 46-53.

<sup>67</sup> ORTIZ MARCOS, Susana. Buscando Combustibles Alternativos: El Bioetanol. En: Anales de mecánica y electricidad. Asociación de Ingenieros del ICAI, 2003. p. 46-53.

Para ello se fermenta el azúcar con la siguiente reacción química como lo plantean García y García<sup>68</sup> en la Figura 7, donde la fructosa y glucosa reaccionan con una enzima que se encuentra presente en la levadura llamada zimasa para producir el etanol.

**Figura 7.** Reacción química para producir etanol



**Fuente:** GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. En: MADRIMASD. 2006.

“El proceso de producción de etanol que se utiliza actualmente en Colombia aprovecha la fermentación de los compuestos orgánicos (meladura y miel B), acompañada de un proceso de destilación y secado. Este proceso y su eficiencia se ven influenciados por diferentes aspectos, tanto de la etapa del cultivo como del proceso de transformación en sí”<sup>69</sup>.

### 3.1 MATERIAS PRIMAS

El bioetanol se obtiene a partir de los azúcares presentes en diferentes materias primas vegetales. Sin embargo, la biomasa inicial a partir de la cual se extrae el contenido sacaroso no debe caracterizarse por ser azucarada, sino que también puede ser almidonada o lignocelulósica como lo mencionan Cheng y Timilsina<sup>70</sup>. Teniendo en cuenta lo anterior, algunas de las materias primas más comunes para la obtención de etanol son:

- En base a azúcares: caña de azúcar, remolacha y sorgo dulce.
- En base a almidón: trigo, maíz y mandioca.
- En base a celulosa: árboles (eucalipto, álamo, sauce), hierbas y residuos agrícolas.

<sup>68</sup> GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Op. cit., p. 82.

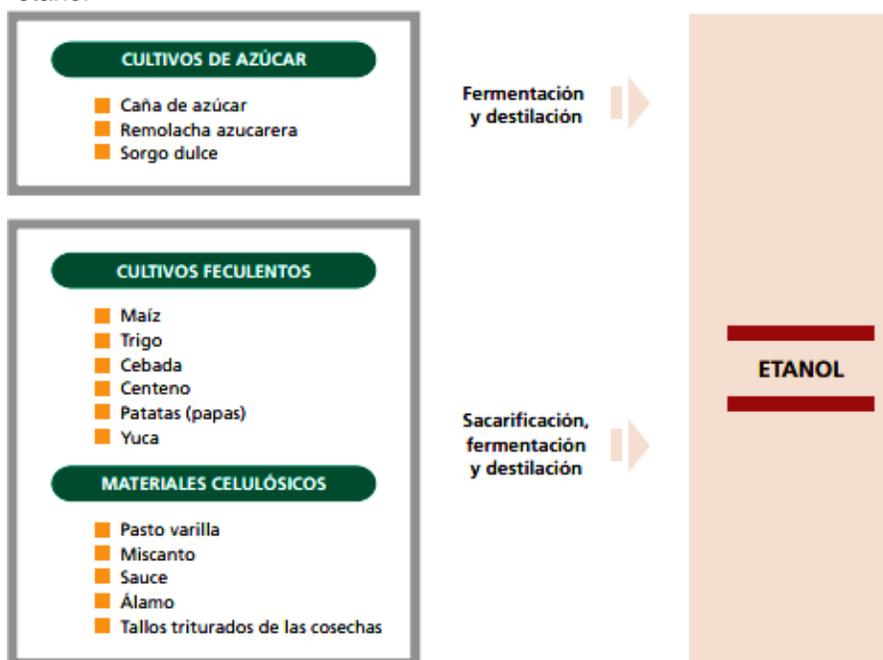
<sup>69</sup> BOCHNO HERNÁNDEZ, Elzbieta. Op. cit., p. 22.

<sup>70</sup> Cheng, J. y Timilsina G. (2010). Advanced biofuel technologies: status and barriers. Citado por CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2011. ISBN 1680-9033.

Según Moheno<sup>71</sup> el bioetanol se puede obtener de dos formas: Bioetanol de primera generación, hace referencia a aquellos cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana; Bioetanol de segunda generación, hace referencia a la biomasa que no compite con la producción de alimentos ya que está compuesta principalmente de materiales lignocelulósicos, como los residuos forestales, herbáceos y desperdicios de papel.

Según la FAO<sup>72</sup> la conversión de materias primas agrícolas para la producción del etanol como biocombustible líquido se encuentra en la Figura 8.

**Figura 8.** Conversión de materias primas agrícolas para la producción de etanol



**Fuente:** FAO. El Estado Mundial De La Agricultura y La Alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, Italia: 2008. ISBN 0251-1371. p.16.

En Colombia, se usan diversas materias primas para la producción a escala laboratorio y escala industrial. Como ya se ha mencionado, la caña de azúcar es la principal materia prima para escalas industriales, mientras que a escala laboratorio se presentan los almidones, cereales y residuos lignocelulósicos como la yuca, el sorgo, el maíz, la remolacha, las cáscaras de naranja, plátano y banano, la madera y materias primas vegetales genéticamente modificadas como se mencionó en el capítulo 2.

<sup>71</sup> Moheno de la Cruz, Marina Guadalupe. Uso de un hidrolizado de cáscaras de naranja-toronja y dos cepas de levadura para la obtención de bioetanol. 2013.

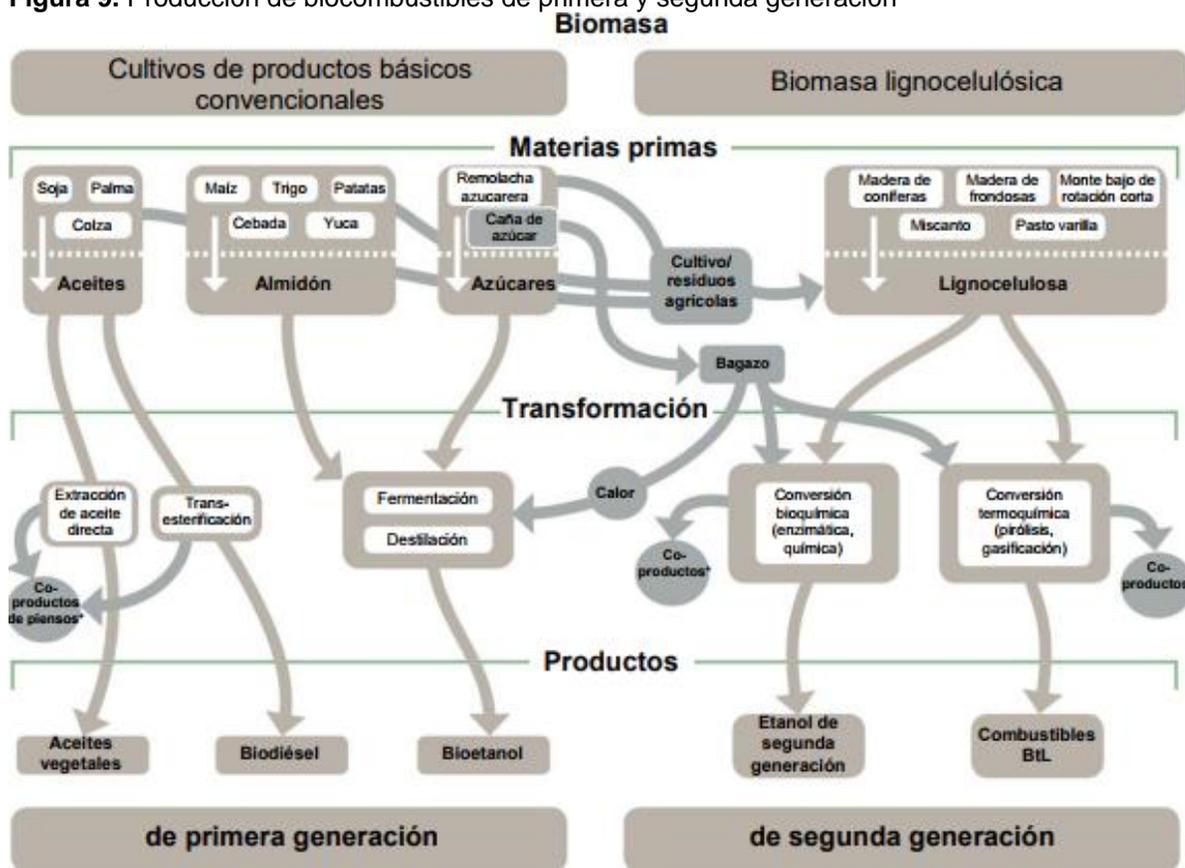
<sup>72</sup> FAO. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Op. cit., p.16

### 3.2 TECNOLOGÍAS

Teniendo en cuenta las diversas materias primas de origen vegetal que se pueden usar para el proceso de producción del bioetanol, en la Figura 9 se muestra su proceso de transformación y los productos obtenidos según la FAO<sup>73</sup>. En comparación, para García y García<sup>74</sup>, el proceso de extracción de etanol por diversas materias primas con su preparación, y la diferenciación en cada uno de sus procesos para obtener el azúcar y el etanol se encuentra en las Figuras 10 y 11.

La Figura 11 de García y García describe detalladamente los pasos a seguir para la preparación de la materia prima y la obtención del azúcar y del etanol, mientras que la Figura 9 de la FAO permite conocer las materias primas que transforman el almidón, los azúcares y los residuos lignocelulósicos en etanol de primera y segunda generación.

**Figura 9.** Producción de biocombustibles de primera y segunda generación

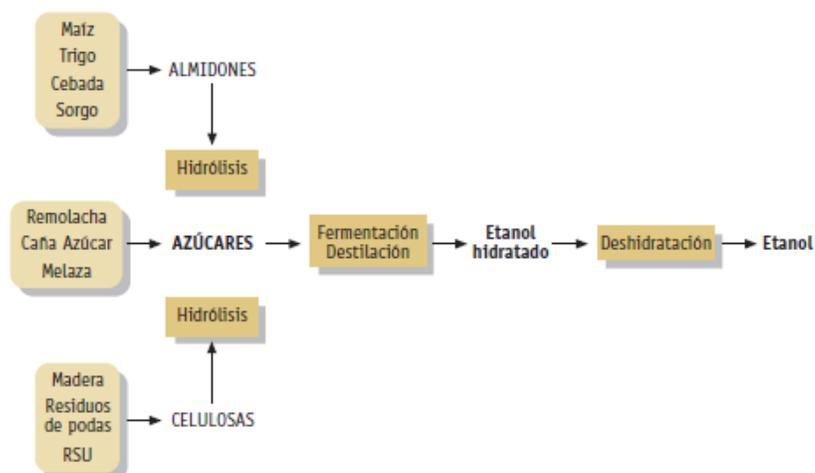


**Fuente:** HLPE. Los biocombustibles y la seguridad alimentaria. Italia, Roma: 2013. p. 55.

<sup>73</sup> HLPE. Los biocombustibles y la seguridad alimentaria. Italia, Roma: 2013. p.55.

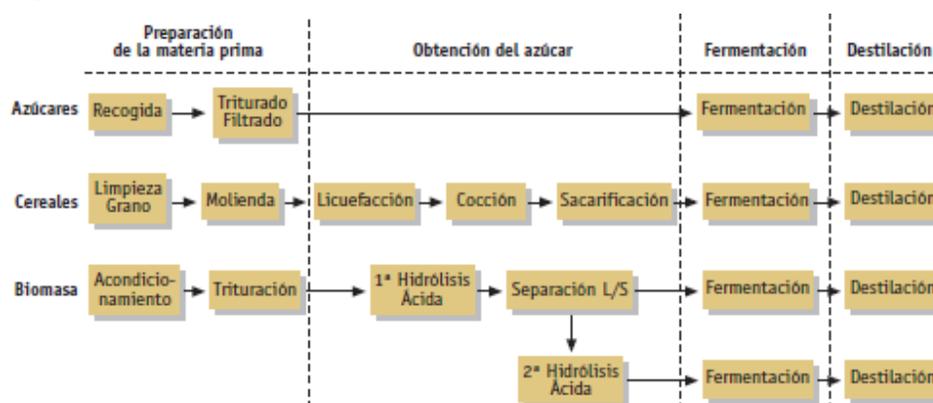
<sup>74</sup> GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Op. cit., p. 76.

**Figura 10.** Proceso de extracción de etanol por diferentes materias primas



**Fuente:** GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. En: MADRIMASD. 2006. p. 76.

**Figura 11.** Diferenciación de procesos en la producción de bioetanol



**Fuente:** GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. En: MADRIMASD. 2006. p.76.

### 3.2.1 Escala laboratorio

#### 3.2.1.1 Yuca

“La yuca en la actualidad está siendo cultivada en grandes extensiones de tierra, y un factor adicional que apoya su utilización como materia prima para la biomasa de los biocombustibles de primera generación es la posibilidad de cultivarla en tierras de baja calidad. Es una planta tropical, por lo que puede crecer en climas cálidos

con abundantes lluvias. Este cultivo tiene abundante almidón, lo que favorece a la obtención de buenos resultados en la elaboración del biocarburante”<sup>75</sup>.

“Como cultivo, la producción de yuca tiene ventajas, como su gran rendimiento por hectárea, tolerancia a la sequía y a los suelos degradados, y una gran flexibilidad para la siembra y la cosecha. Como fuente de almidón, la yuca es muy competitiva: la raíz contiene más almidón, que cualquier otro cultivo alimentario, y su almidón es fácil de obtener con tecnologías sencillas”<sup>76</sup> como se ve en el Gráfico 8.

**Gráfico 8.** Proceso de extracción del almidón de la yuca



**Fuente:** Elaborado por el autor.

### 3.2.1.2 Maíz

Como lo menciona Gracia<sup>77</sup>, el cultivo de maíz produce una gran cantidad de biomasa, de la que se aprovecha cerca del 50 por ciento en forma de grano, el resto corresponde a diversas estructuras de la planta como la caña, la hoja, la mazorca, entre otros. En la composición típica promedio del grano de maíz un 66 por ciento corresponde al almidón, un 3.9 por ciento corresponde a los aceites y cerca de un 29 por ciento al gluten con diferentes proporciones de proteínas.

En la Figura 12 se puede observar la representación esquemática del proceso industrial de producción de bioetanol a partir del grano de maíz. “El paso inicial es la hidrólisis del almidón del maíz a glucosa y su posterior fermentación que produce un alcohol concentrado entre un 8 y un 10 por ciento que posteriormente debe ser destilado para alcanzar una concentración del 92-95 por ciento. Este alcohol es tratado químicamente y concentrado hasta el 99.5 por ciento antes de ser añadido a las gasolinas”<sup>78</sup>.

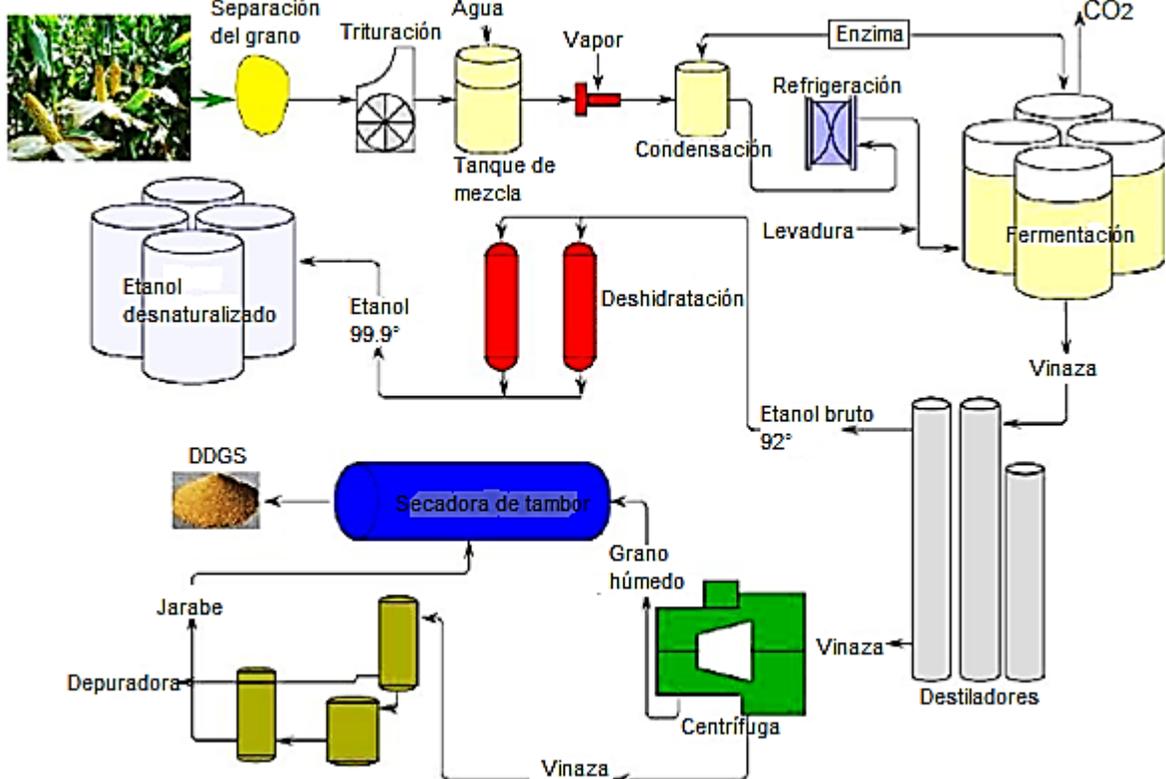
<sup>75</sup> SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Op. cit., p.73.

<sup>76</sup> FAO. El mercado de almidón añade valor a la yuca. Roma, Italia: FAO, 2006.

<sup>77</sup> GRACIA, Carlos. Biocombustibles: ¿Energía o Alimento?. España: 2009. p. 78.

<sup>78</sup> Ibid., p. 81.

**Figura 12.** Esquema de la producción de bioetanol a partir del grano de maíz



**Fuente:** GRACIA, Carlos. Biocombustibles: ¿Energía o Alimento?. España: 2009. p. 81.

### 3.2.1.3 Madera

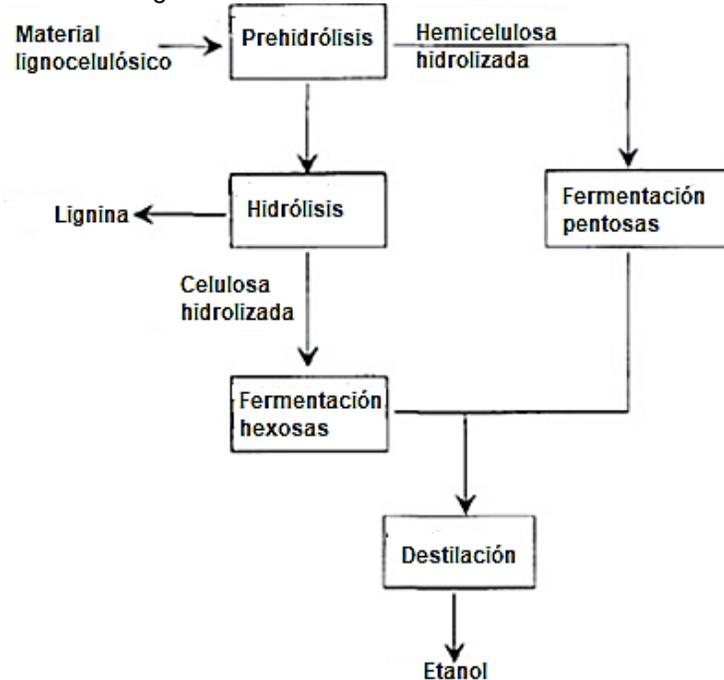
“En la actualidad, la biomasa lignocelulósica y en especial los subproductos agroindustriales han dejado de ser productos de desecho-problema, para convertirse en materia prima potencial para diversos procesos tanto de tipo agrícola como industrial, siendo la producción de alcohol carburante uno de los más importantes”<sup>79</sup>. La biomasa lignocelulósica está compuesta principalmente de tres tipos diferentes de polímeros celulosa, hemicelulosa y lignina como lo menciona Riaño *et al*<sup>80</sup>.

En la Figura 13 se encuentra en diagrama general para producir etanol a partir de materiales lignocelulósicos como la madera en donde se realiza prehidrólisis e hidrólisis para pasar a la fermentación y posterior destilación.

<sup>79</sup> SÁNCHEZ RIAÑO, A. M., *et al*. Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. En: REVISTA TUMBAGA. 2010. Vol. 5, p. 61.

<sup>80</sup> *Ibid.*, p. 62.

**Figura 13.** Diagrama de la producción de etanol a partir de materiales lignocelulósicos



**Fuente:** SÁNCHEZ RIAÑO, A. M., et al. Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. En: REVISTA TUMBAGA. 2010. Vol. 5, p. 62.

## 3.2.2 Escala industrial

### 3.2.2.1 Caña de azúcar

“Una hectárea de tierra sembrada con caña de azúcar produce y libera a la atmósfera 40 toneladas de oxígeno y remueve 60 toneladas de CO<sub>2</sub>. En el área total sembrada de caña se capturan más de 11 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Es por lo tanto un cultivo que reduce las emisiones de gases contaminantes precursores del calentamiento global”<sup>81</sup>.

De acuerdo con las perspectivas agrícolas de la FAO/OECD, la caña de azúcar juega un rol importante en la producción de bioetanol como lo menciona Rosa<sup>82</sup>. La razón es el costo relativamente bajo de la producción de etanol proveniente de la caña de azúcar, combinado con un favorable balance de GEI. En la Figura 14 se encuentran algunos datos relevantes de la producción de etanol a partir de la caña

<sup>81</sup> Revista Dinero. Ingenios azucareros le apuestan al etanol. Revista Dinero. Junio 3 de 2009. Disponible en: <http://www.dinero.com/negocios/articulo/ingenios-azucareros-apuestan-etanol/74916>

<sup>82</sup> Rosa, L. *et al.* Biofuel contribution to mitigate fossil fuel CO<sub>2</sub>emissions: Comparing sugar cane ethanol in Brazil with corn ethanol and discussing land use for food production and deforestation. [http://jrse.aip.org/resource/1/jrsebh/v1/i3/p033111\\_s1](http://jrse.aip.org/resource/1/jrsebh/v1/i3/p033111_s1)

de azúcar en los ingenios y la generación de energía en el proceso según lo muestra Cenicaña<sup>83</sup> en cuanto a la inversión estimada para los proyectos de generación de energía y para la producción de etanol en los ingenios, la capacidad de generar azúcar y etanol en las regiones colombianas y la introducción del etanol en el año 2005 en la región del Valle del Cauca.

**Figura 14.** Datos de una historia dulce (2009)

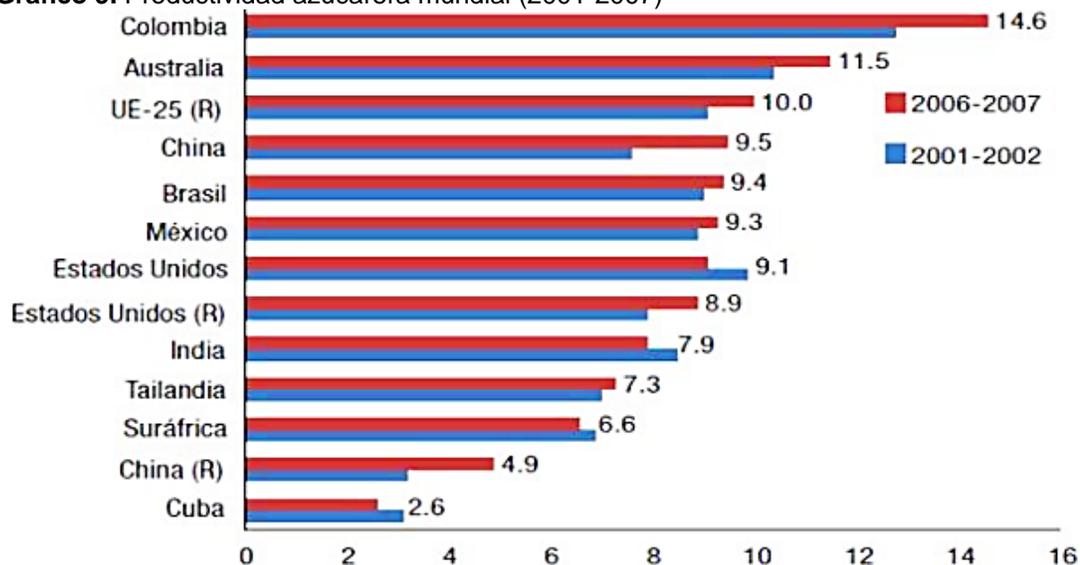


**Fuente:** Cenicaña. 50 Datos De Una Historia Dulce. Santiago de Cali. Agosto 30 de 2009. 2017. Disponible en: [http://www.cenicana.org/noticias/50anos\\_datos\\_produccion.pdf](http://www.cenicana.org/noticias/50anos_datos_produccion.pdf)

<sup>83</sup> Cenicaña. 50 Datos De Una Historia Dulce. Santiago de Cali. Agosto 30 de 2009. 2017. Disponible en: [http://www.cenicana.org/noticias/50anos\\_datos\\_produccion.pdf](http://www.cenicana.org/noticias/50anos_datos_produccion.pdf)

“Colombia es el séptimo mayor productor, con una producción anual aproximativa de 40 millones de toneladas. Cerca de la mitad de esta cantidad está usada para la producción de azúcar y etanol”<sup>84</sup>. Colombia fue el primer país en términos de productividad agrícola para los años 2001 a 2007 como se ve en el Gráfico 9.

**Gráfico 9.** Productividad azucarera mundial (2001-2007)



**Fuente:** Consorcio CUE. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles En Colombia. Medellín, Colombia: Research Gate, 2012. p. 15.

“Varios de los ingenios azucareros del Valle del Cauca no sólo producen azúcar sino que realizan bioetanol, un combustible que se utiliza junto con la gasolina y es amigable con el medio ambiente. También, coproducen energía eléctrica con el bagazo que queda de la caña, podría darle energía eléctrica a una ciudad de un millón de habitantes”<sup>85</sup>.

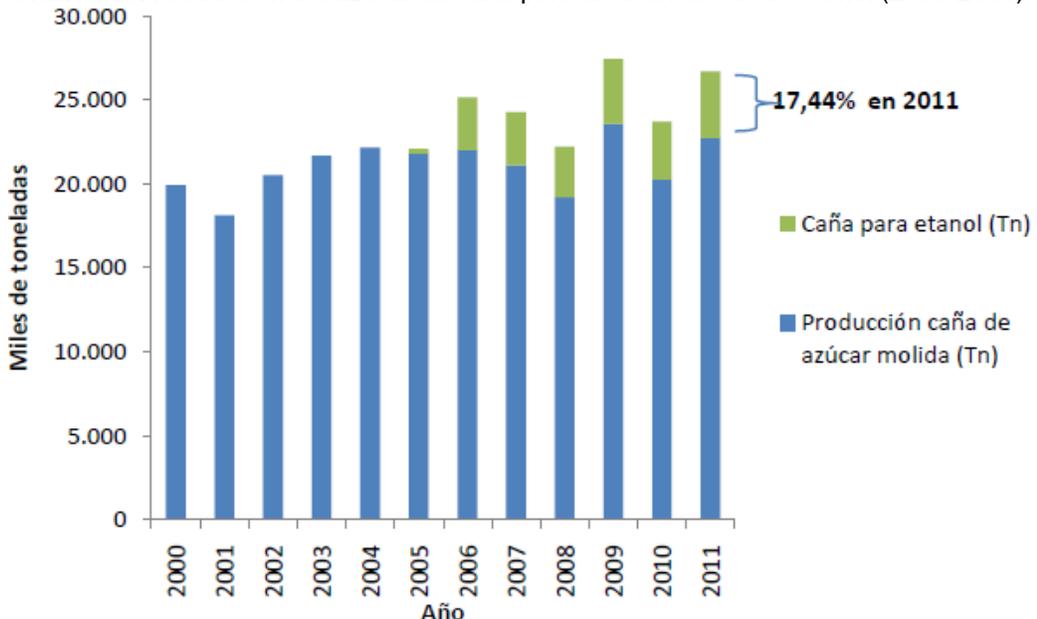
En el Gráfico 10 se encuentra la producción de caña de azúcar como producto final y la producción de caña para obtener etanol como lo plantea García y Calderón<sup>86</sup> para los años 2000 a 2011. El año 2009 tuvo la mayor cantidad de caña molida y en 2011 se destinó la mayor cantidad de caña para producir etanol.

<sup>84</sup> Consorcio CUE. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles En Colombia. Medellín, Colombia: Research Gate, 2012. p. 15.

<sup>85</sup> Noticias Caracol. Caña De Azúcar, El Gran Motor De La Economía En El Valle Del Cauca. Cali, 21 de julio de 2017: 2017. <https://noticias.caracoltv.com/cal/cana-de-azucar-el-gran-motor-de-la-economia-en-el-valle-del-cauca>

<sup>86</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 48.

**Gráfico 10.** Producción del azúcar de caña para la obtención de bioetanol (2000-2011)



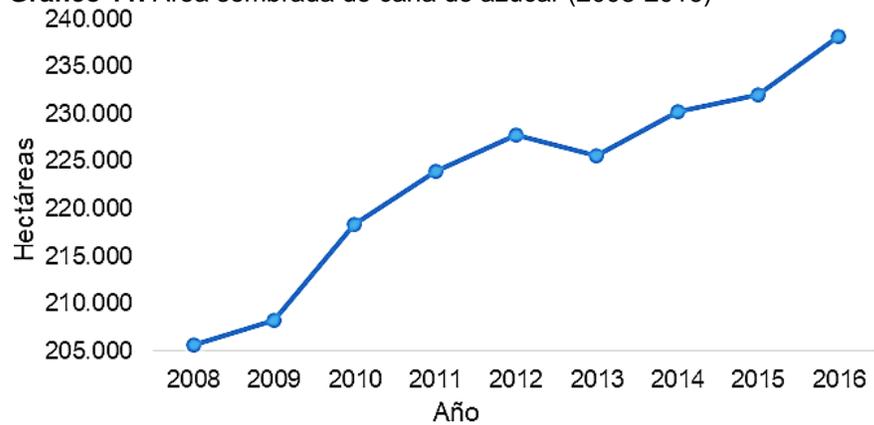
**Fuente:** GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Evaluación de la política de los biocombustibles en Colombia. Colombia: 2012. p. 48.

Según Fedebiocombustibles<sup>87</sup> hay ciertos indicadores que caracterizan la producción de etanol a partir de la caña de azúcar como la cantidad de caña molida, la producción de azúcar y etanol, entre otros, éstos indicadores se encuentran plasmados en cifras en los Gráficos 11, 12, 13 y 14.

En el Gráfico 11 se observa que el área sembrada de caña de azúcar tuvo un aumento entre los años 2008 y 2016, a diferencia del año 2013 en donde disminuyó la cantidad de ha sembradas. En el Gráfico 12 se ve un aumento y disminución de las toneladas de caña molida, para los años 2010 y 2012 hubo una disminución extrema, mientras que para los años 2009, 2011 y 2014 aumentaron las toneladas de caña molida. En el Gráfico 13 se ve que la producción y exportación de azúcar sólo tuvieron auge para el año 2009, se mantuvieron constantes entre los años 2010 y 2015 y para el año 2016 disminuyó la cantidad de tmvc. En el Gráfico 14 se observa que la producción y venta de etanol ha aumentado considerablemente entre los años 2010 y 2015, pero que para el año 2016 disminuyó la cantidad de litros de etanol.

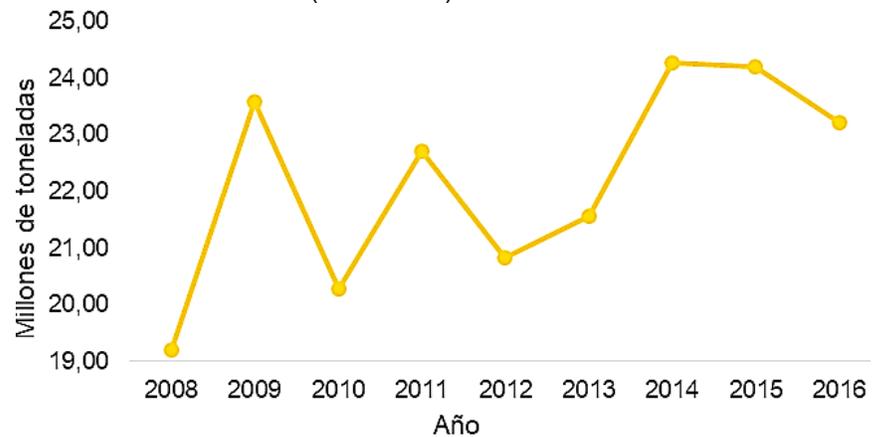
<sup>87</sup> Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)

**Gráfico 11.** Área sembrada de caña de azúcar (2008-2016)



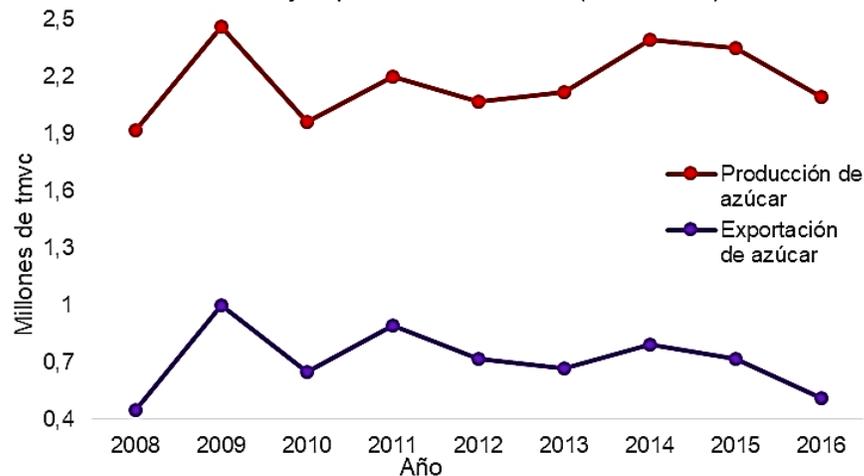
**Fuente:** Extraído de Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm) y editado por el autor.

**Gráfico 12.** Caña molida (2008-2016)



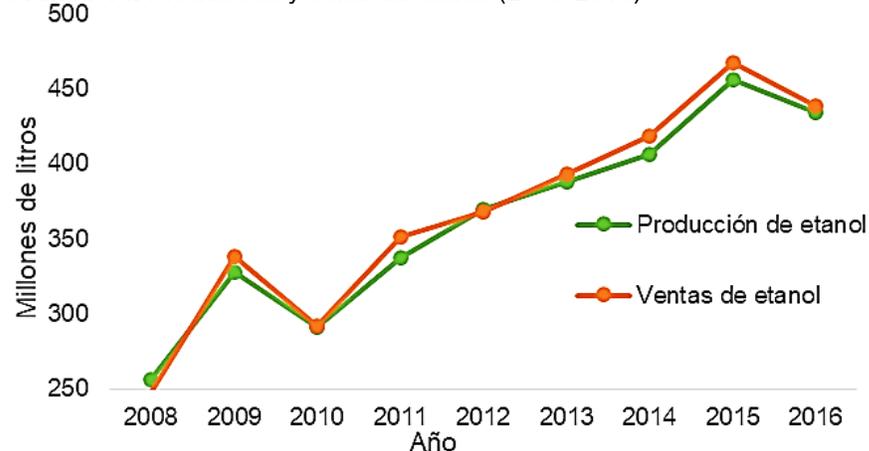
**Fuente:** Extraído de Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm) y editado por el autor.

**Gráfico 13.** Producción y exportación de azúcar (2008-2016)



**Fuente:** Extraído de Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm) y editado por el autor.

**Gráfico 14.** Producción y venta de etanol (2008-2016)



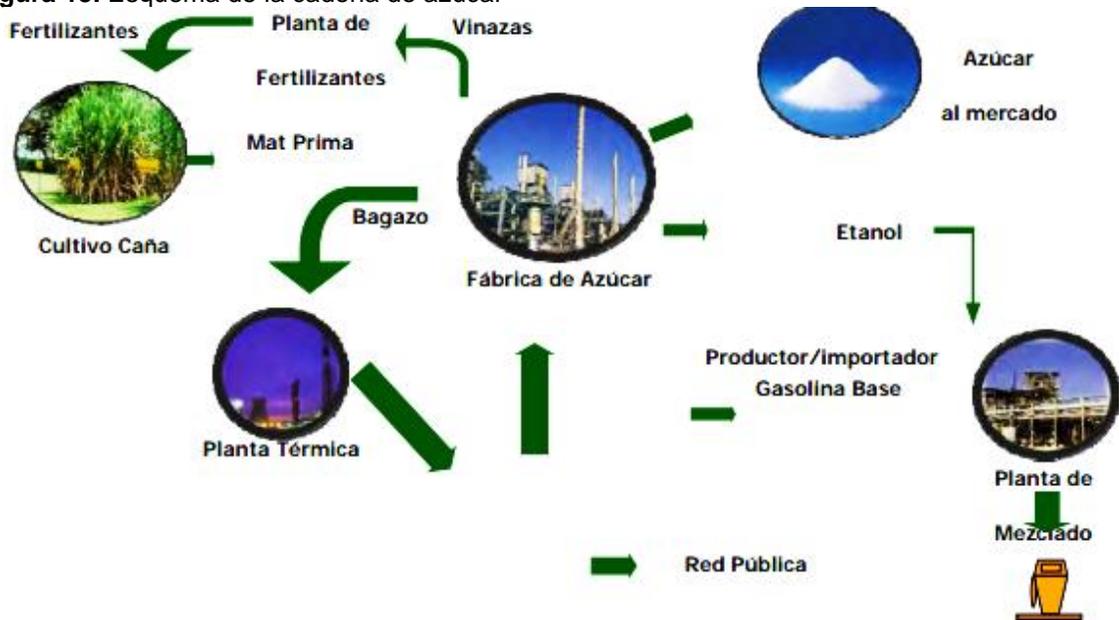
**Fuente:** Extraído de Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm) y editado por el autor.

“Colombia goza de un rendimiento promedio de 14,6 toneladas de azúcar por hectárea por año y su productividad promedio anual está alrededor de 120 toneladas de caña por hectárea en el norte del Valle del Cauca, 127 toneladas de caña por hectárea en el centro y 105 toneladas de caña por hectárea en el sur. Estas altas productividades son consecuencia de las condiciones agroclimáticas de la región que permiten cosecha y molienda todos los días del año, diferenciando

este cultivo de otras regiones e incluso de otros productores internacionales de caña que cuentan con producción estacional”<sup>88</sup>.

A escala industrial los diagramas para obtener bioetanol a partir de la caña de azúcar se pueden observar en las Figuras 15 y 16, éstos se caracterizan por el tratamiento de la materia prima para obtener el azúcar, la fermentación y destilación y su posterior mezcla con la gasolina.

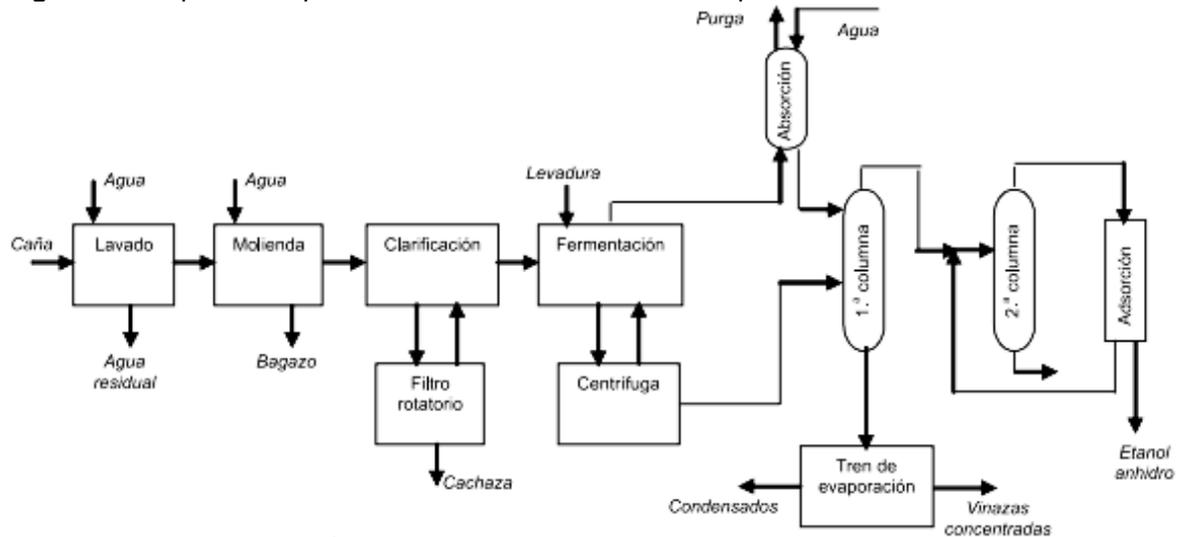
**Figura 15.** Esquema de la cadena de azúcar



**Fuente:** BOCHNO HERNÁNDEZ, Elzbieta. Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Colombia. Bogotá: Octubre de 2011. p. 21.

<sup>88</sup> RUEDA, Alejandra. Op. cit., p. 151-180.

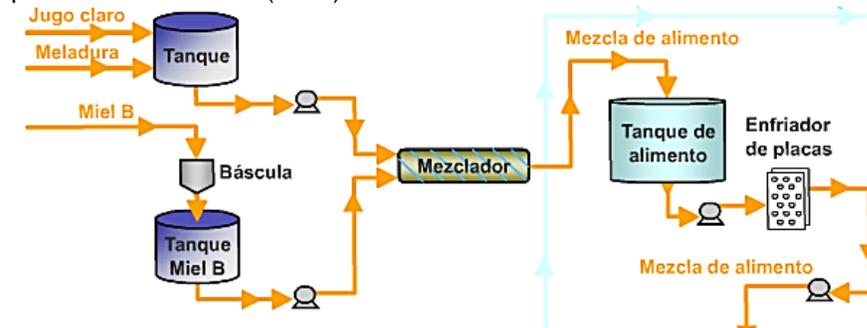
**Figura 16.** Esquema del proceso de obtención de bioetanol a partir de la caña de azúcar



**Fuente:** MONTOYA RODRÍGUEZ, María Isabel, et al. Evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención de alcohol carburante utilizando el algoritmo de reducción de residuos. En: REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA. Marzo de 2006. Vol. 36, p. 85-95.

En la Figura 17, 18, 19, 20 y 21 se encuentran una serie de pasos descritos por Cenicaña<sup>89</sup> en el 2008 para el proceso de obtención de etanol. Respectivamente se demuestra el proceso en el que se mezclan y preparan las materias primas para cumplir con las especificaciones requeridas en la fermentación (Figura 17).

**Figura 17.** Adecuación de las materias primas para el proceso de producción de etanol (2008)

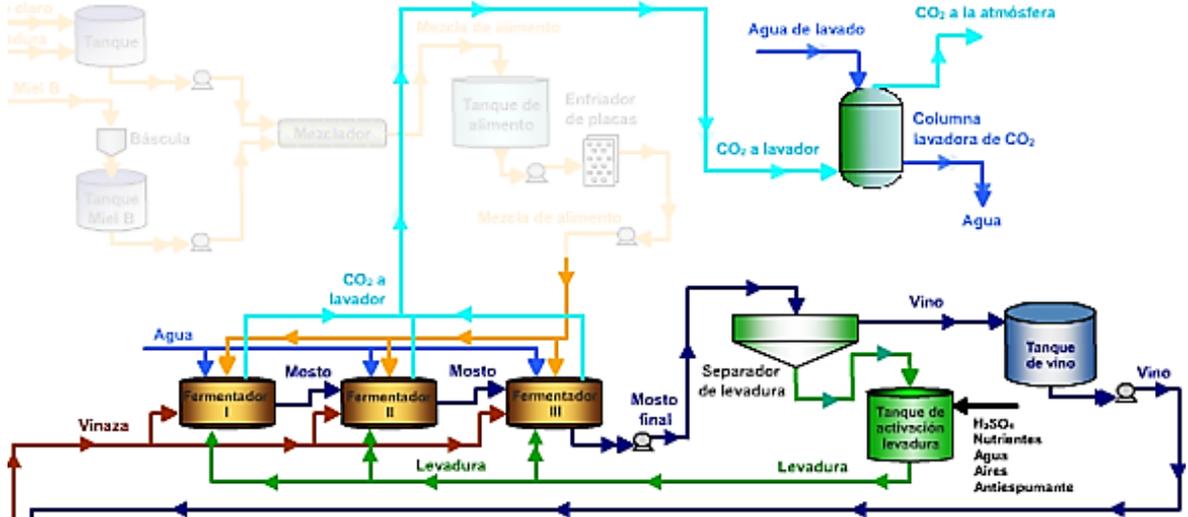


**Fuente:** Cenicaña. Proceso de obtención de etanol. Colombia. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)

<sup>89</sup> Cenicaña. Proceso de obtención de etanol. Colombia. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)

En el segundo paso se fermenta la mezcla con levaduras en donde los azúcares son transformados en etanol y dióxido de carbono (Figura 18).

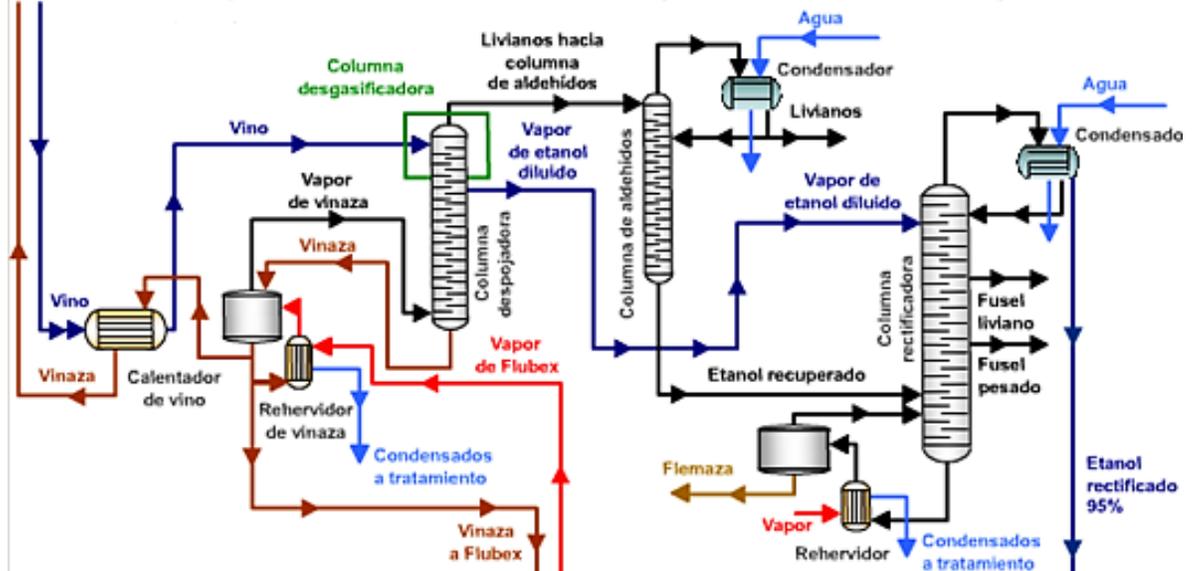
**Figura 18.** Fermentación del proceso de producción de etanol (2008)



**Fuente:** Cenicana. Proceso de obtención de etanol. Colombia. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)

Posterior a eso, se separan las mezclas líquidas en sus constituyentes primarios por medio de una destilación mediante diferencias de puntos de ebullición (Figura 19).

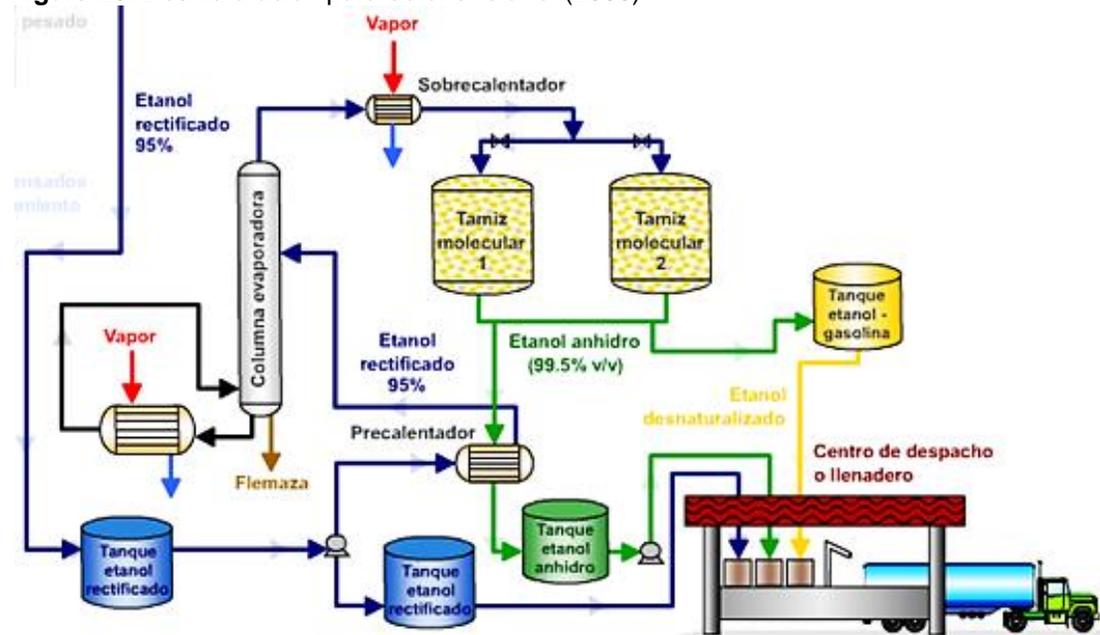
**Figura 19.** Destilación del proceso de producción de etanol (2008)



**Fuente:** Cenicana. Proceso de obtención de etanol. Colombia. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)

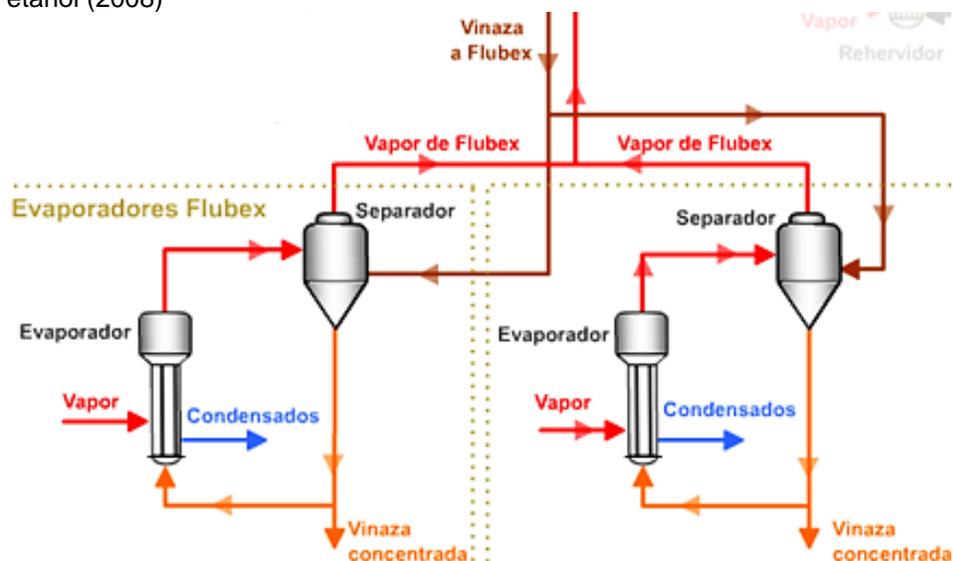
En la etapa 4 se produce etanol carburante con elevada concentración (> 99.5 % v/v) retirando el agua mediante técnicas de adsorción por tamices moleculares, destilación azeotrópica, o pervaporación (Figura 20). Por último se realiza un tratamiento a las vinazas obtenidas en la destilación (Figura 21).

**Figura 20.** Deshidratación para obtener etanol (2008)



**Fuente:** Cenicaña. Proceso de obtención de etanol. Colombia. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)

**Figura 21.** Tratamiento de las vinazas obtenidas en el proceso de producción de etanol (2008)



**Fuente:** Cenicaña. Proceso de obtención de etanol. Colombia. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)

### 3.2.3 Maíz vs. Madera vs. Caña de azúcar

En Colombia es importante que se demuestre cuáles son las materias primas potenciales para cultivar y cuáles de ellos se pueden apropiar para la producción de energía. Por ello, según lo plantea Gracia<sup>90</sup>, en el Cuadro 8 se encuentran una serie de datos relevantes de la producción del bioetanol a partir del grano del maíz, de la madera y de la caña de azúcar, incluyendo el cultivo, su producción en la industria y su uso en vehículos automotores.

De esa manera, para cada indicador se señala con color verde la materia prima que se adecúa mejor energéticamente y ambientalmente a ese proceso como lo es en la mayoría de los parámetros la caña de azúcar; por el contrario, con color rojo se señala la materia prima que obtiene pérdidas energéticas o ambientales en el proceso como lo es en la mayoría de los parámetros la madera.

Esto demuestra que el cultivo que mejor se adapta al proceso de producción de etanol es la caña de azúcar, la materia prima que impacta negativamente al medio ambiente es la madera, y que por ello es necesario realizar investigaciones que permiten generar menos cantidades de CO<sub>2</sub>, ya que ésta es una opción que no compite con la seguridad alimentaria a comparación del proceso con el maíz.

**Cuadro 8.** Características del maíz, la madera y la caña de azúcar para la producción de etanol (2009)

INDICADOR	MAÍZ	MADERA	CAÑA DE AZÚCAR
1 ha de cultivo produce anualmente	8976 kg	-	21560 kg
Para producir 1000 L de etanol se requieren	2857 kg	3492 kg	3782 kg
En el cultivo se emiten	605 kg de CO <sub>2</sub>	23 kg de CO <sub>2</sub>	253 kg de CO <sub>2</sub>
En el proceso industrial se emiten	1139 kg de CO <sub>2</sub>	3629 kg de CO <sub>2</sub>	1170 kg de CO <sub>2</sub>
En la producción de 1000 L de etanol se emiten	1744 kg de CO <sub>2</sub>	3652 kg de CO <sub>2</sub>	1423 kg de CO <sub>2</sub>
Para producir la energía en un coche equivalente a 1 L de gasolina se requieren	1,52 L de etanol	1,52 L de etanol	1,52 L de etanol
La combustión de 1 L de gasolina en un motor supone la emisión a la atmósfera	2555 kg de CO <sub>2</sub>	2555 kg de CO <sub>2</sub>	2555 kg de CO <sub>2</sub>
En la producción y procesado del etanol se han emitido	2648 kg de CO <sub>2</sub>	5545 kg de CO <sub>2</sub>	2160 kg de CO <sub>2</sub>
Por cada L de gasolina que se sustituye por etanol de cultivo emite	0,093 kg más de CO <sub>2</sub>	2,17 veces más de CO <sub>2</sub>	0,395 kg menos de CO <sub>2</sub>

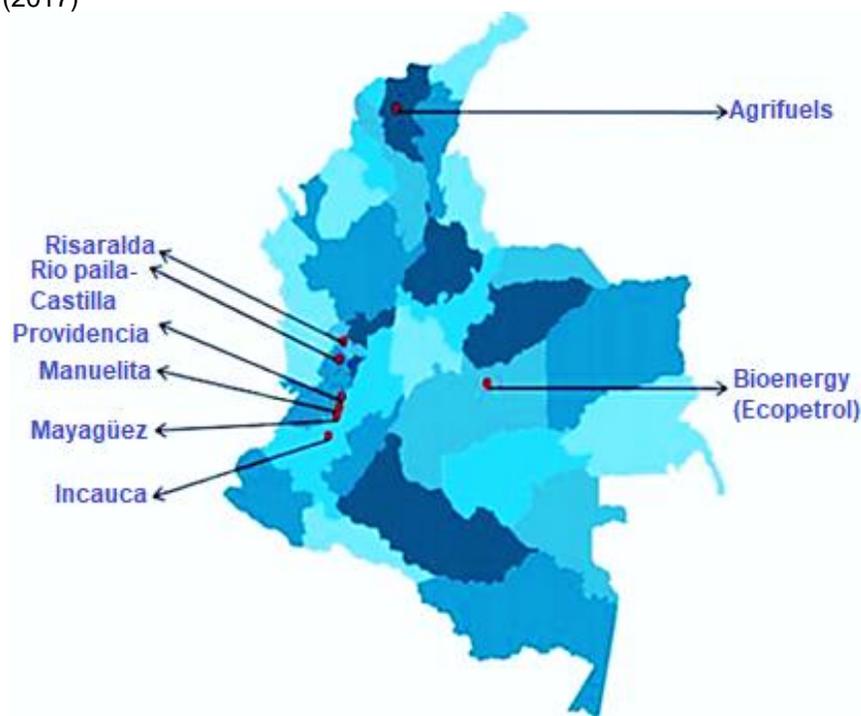
**Fuente:** Extraído de GRACIA, Carlos. Biocombustibles: ¿Energía o Alimento?. España: 2009 y editado por el autor.

<sup>90</sup> GRACIA, Carlos. Op. cit., p. 85

### 3.3 ZONAS GEOGRÁFICAS

“El país es el décimo productor de bioetanol en el mundo, con 130 millones de galones al año, e implica el 0.4 por ciento de participación en el mercado”<sup>91</sup>. “Valle del Cauca es la región que más produce bioetanol a partir de la Caña de Azúcar, seguido de Risaralda, Caldas y Cauca”<sup>92</sup>. La producción de bioetanol en Colombia está dada por ocho plantas productoras para el 2017, y seis plantas productoras para el 2009, en los Mapas 3 y 4, respectivamente.

**Mapa 3.** Distribución de las plantas productoras de etanol en Colombia (2017)



**Fuente:** GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Evaluación de la política de los biocombustibles en Colombia. 2012. p. 46.

<sup>91</sup> CEPAL. Brasil, Argentina y Colombia lideran producción de biocombustibles En La Región. CEPAL. 29 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.cepal.org/es/comunicados/brasil-argentina-y-colombia-lideran-produccion-de-biocombustibles-en-la-region>

<sup>92</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 147. Op. cit., p. 1.

**Mapa 4.** Plantas productoras de alcohol carburante (2009)



**Fuente:** HERRERA JAIME, Beatriz, et al. Biocombustibles En Colombia. 2009. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/>

En los Gráficos 15 y 16 se encuentran datos para las plantas de refinación entre los años 2009 a 2017 extraídos de Herrera<sup>93</sup> (Año 2009), Fedebiocombustibles<sup>94</sup> (Año 2012), Amarís *et al.*<sup>95</sup> (Año 2013), Martínez<sup>96</sup> (Año 2014), Fedebiocombustibles<sup>97</sup> (Año 2015) y Fedebiocombustibles<sup>98</sup> (Año 2017).

El Gráfico 15 permite apreciar la capacidad instalada de las plantas de refinación y su evolución desde 2009 al día de hoy. De las plantas Rio Paila Castilla en el Valle

<sup>93</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Op. cit., p. 7.

<sup>94</sup> Fedebiocombustibles. Mitos y realidades de los biocombustibles en Colombia. En: FEDEBIOCOMBUSTIBLES. 2011. p. 12.

<sup>95</sup> AMARÍS, Johana Marcela; MANRIQUE, Diego Antonio y JARAMILLO, Julián Ernesto. Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. En: REVISTA FUENTE: EL REVENTÓN ENERGÉTICO. Diciembre de 2015. Vol. 13, No. 2, p. 26.

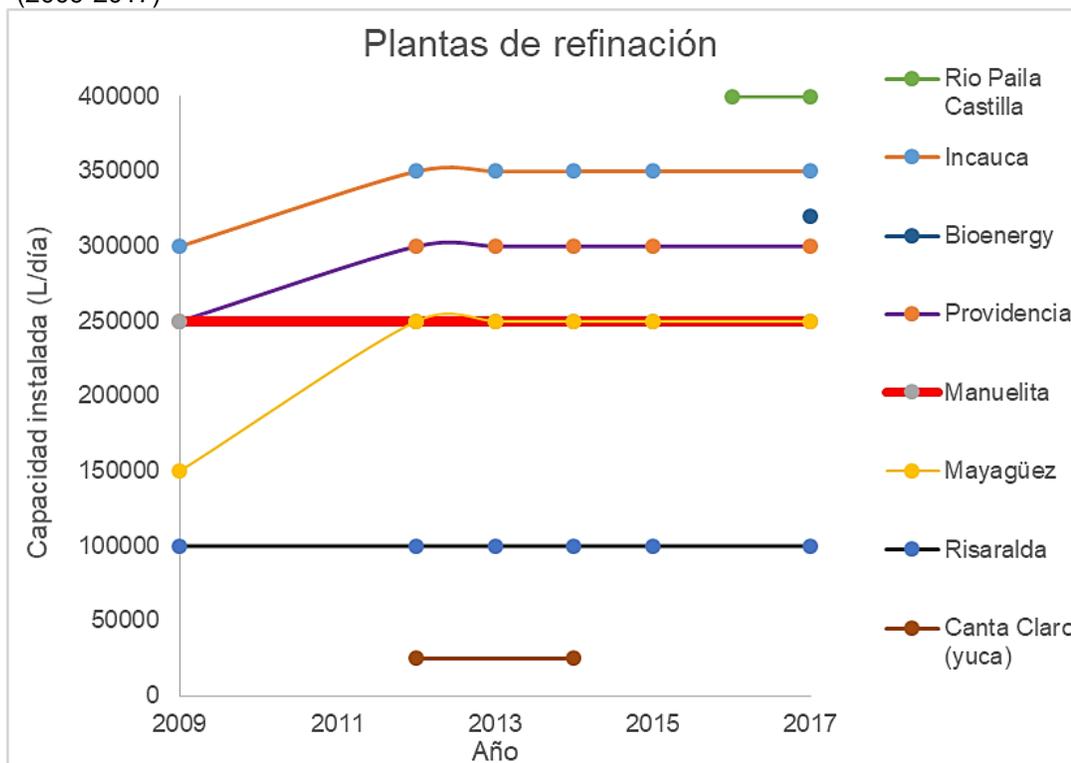
<sup>96</sup> MARTÍNEZ JARAMILLO, Juan Esteban. Los efectos de los biocombustibles en la seguridad alimentaria en Colombia: Una aproximación con dinámica de sistemas. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2015. p. 98.

<sup>97</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 148. En: BIOCMBUSTIBLES HOY. Mayo 18 de 2016. p. 2.

<sup>98</sup> Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)

del Cauca y Canta Claro en Puerto López no se encuentran muchas cifras en la bibliografía. Para las plantas Incauca en Cauca, Providencia en Palmira, y Mayagüez en el Valle se tienen datos desde el 2009 y se puede observar que para ese año alcanzaron una capacidad mínima de 300000, 250000 y 150000 (L/día), respectivamente, y para el año 2012 ampliaron las destilerías y su producción aumentó a 350000, 300000 y 250000 (L/día), respectivamente, manteniendo constantes estos datos hasta el 2017. La planta Manuelita en Palmira se mantuvo constante en 100000 L/día. Por último la nueva planta denominada Bioenergy en el Meta denota su producción en 320000 L/día para éste año.

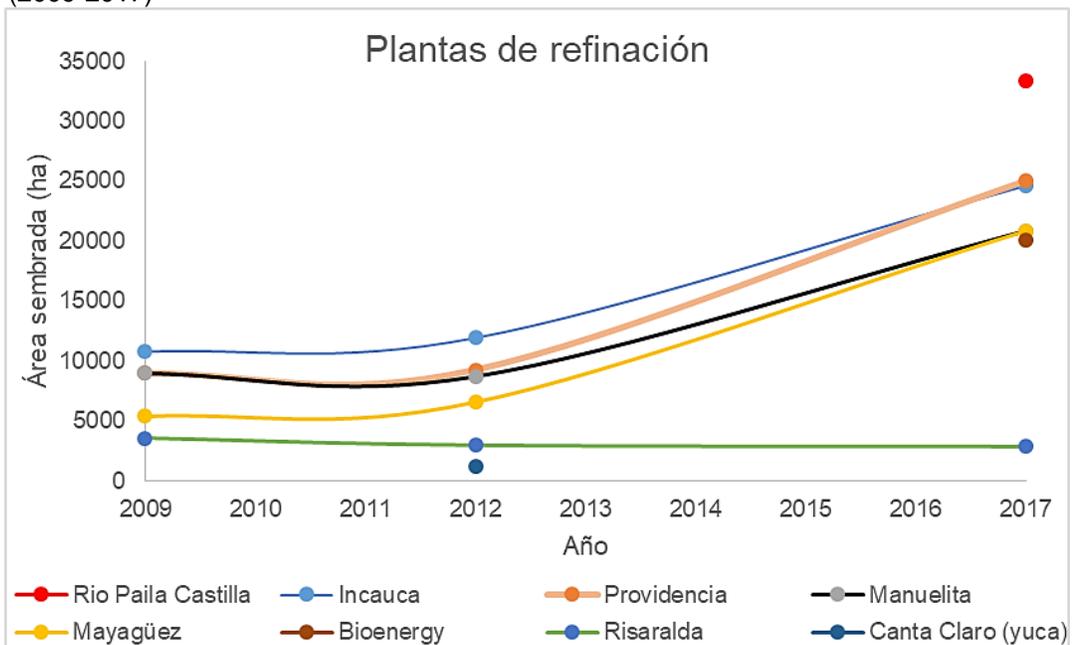
**Gráfico 15.** Capacidad instalada de las plantas de producción de etanol en Colombia (2009-2017)



Fuente: Elaborado por el autor

El Gráfico 16 permite analizar las hectáreas de área sembrada para las plantas ya mencionadas en el periodo de 2009 a 2017. De la planta Rio Paila Castilla y Bioenergy no se encuentran datos antes del 2017 (33384 ha y 20082 ha, respectivamente) y de la planta Canta Claro de encuentran datos sólo para el año 2012 (1200 ha). Las plantas Incauca, Providencia, Manuelita y Mayagüez aumentaron la cantidad de ha sembradas de caña para el año 2012. Por el contrario, la planta Risaralda disminuyó la cantidad de ha de caña para el 2012.

**Gráfico 16.** Hectáreas de área sembrada para producir etanol en plantas colombianas (2009-2017)



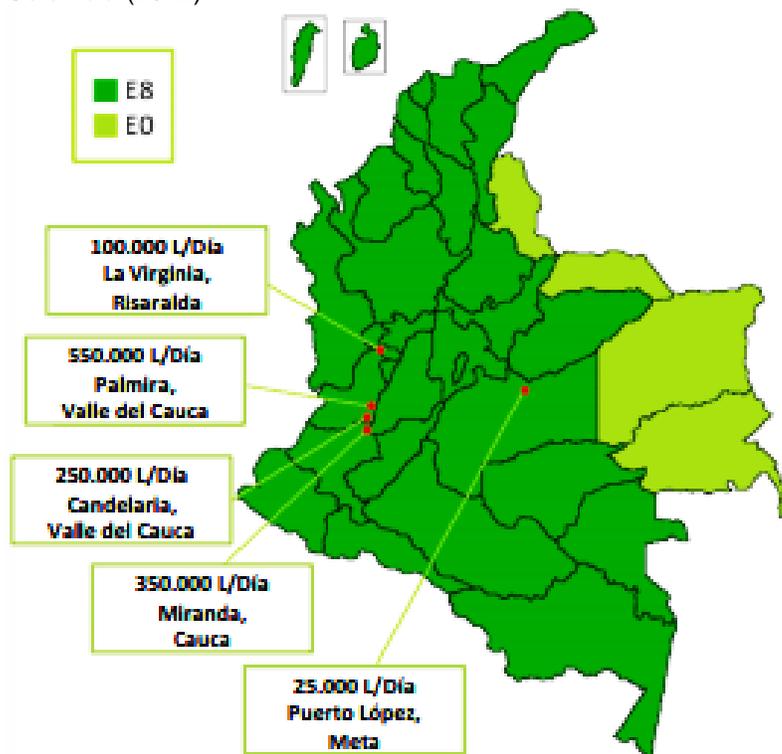
**Fuente:** Elaborado por el autor.

Por otro lado, “Actualmente en Colombia el requisito de incorporar un 10% de etanol en la gasolina sólo está vigente en Bogotá, el Valle del Cauca y el Eje Cafetero”<sup>99</sup>. “El constante monitoreo de las condiciones de oferta por parte del Ministerio de Minas y Energía ha permitido cambiar los niveles de mezcla para enfrentar una variedad de eventualidades, buscando tanto promover la inversión de manera constante como minimizar ineficiencias en casos de posibles desabastecimientos por falta de materia prima”<sup>100</sup>. En el Mapa 5 se encuentran las plantas en donde aplica la mezcla E8 para el 2012.

<sup>99</sup> CORTÉS SIERRA, Simón; CHAVARRIAGA, Paul y LÓPEZ, Camilo. Biocombustibles y biotecnología: la yuca (*Manihot esculenta*) como modelo de investigación. En: ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA. 2010. Vol. 15.

<sup>100</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 30.

**Mapa 5.** Distribución y capacidad de las plantas productoras en Colombia (2012)



Fuente: Fedebiocombustibles. Distribución del porcentaje de mezcla de alcohol carburante (etanol) en el territorio nacional. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm), 2015.

Además, en el Cuadro 9 está la evolución del nivel de mezcla etanol-gasolina para algunas regiones en Colombia, en donde se puede observar que la región de los Llanos orientales y de Putumayo fueron las últimas en acoplar la mezcla de etanol-gasolina E8, mientras que la zona del centro, occidente y de Bogotá adoptaron desde 2005 la mezcla E10. “Fuera de la suspensión de las mezclas en diciembre del 2010 y en enero y febrero de 2011 por el desabasto causado por el invierno, el nivel de mezclas se ha mantenido relativamente estable alrededor del 8% y 10% dependiendo de la zona del país”<sup>101</sup>. Después de ello se estimuló la Resolución 18 2368 de 2010 en donde se cambió la mezcla E10 por E8 en todas las regiones del país.

<sup>101</sup> Ibid., p. 30.

**Cuadro 9.** Distribución de la mezclas etanol-gasolina en Colombia (2005-2012)

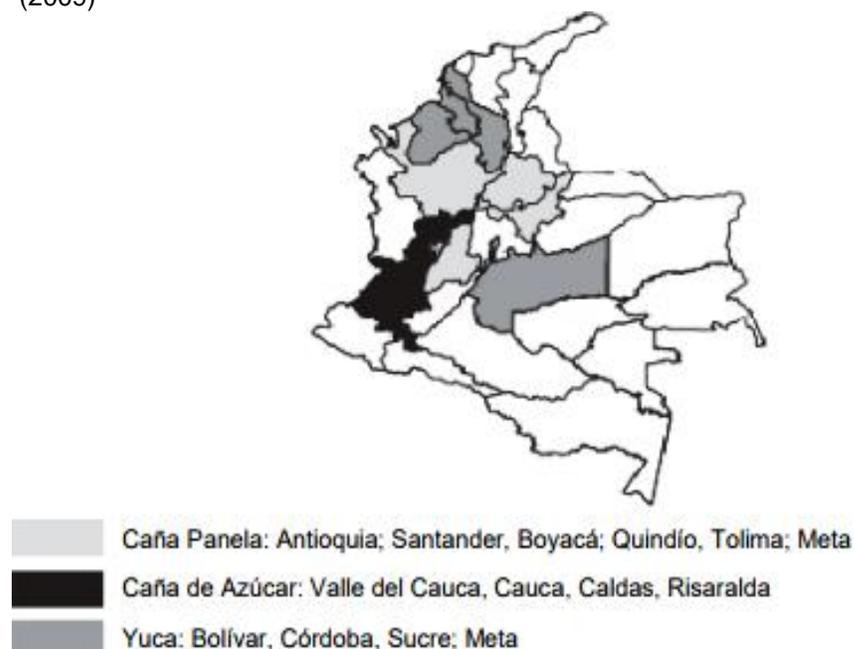
	Antioquia y Chocó	Bogotá y centro	Centro-occidente	Costa Atlántica	Llanos orientales	Putumayo, Caquetá	Santander	S. del Cesar, N. de Boyacá	Tolima, Huila
nov-05			10%						
feb-06		10%	10%						
feb-06		10%	10%						
jun-07		10%	10%				10%	10%	
oct-08	10%	10%	10%	10%			10%	10%	10%
ene-10	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
dic-10	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ene-11	8%	0%	8%	0%	0%	8%	0%	0%	8%
feb-11	8%	8%	8%	8%	8%	8%	0%	8%	8%
mar-11	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
jul-11	8%	8%	10%	8%	8%	10%	8%	8%	10%
Jul-12	8%	8%	10%	8%	8%	10%	8%	8%	10%

**Fuente:** GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Evaluación de la política de los biocombustibles en Colombia. Colombia: 2012. p. 133.

### 3.4 ESTUDIOS DE CASO

Para presentar diversos estudios de caso de la producción de etanol en Colombia, se muestra la regionalización del etanol en el Mapa 6. La caña de azúcar y la yuca son los cultivos que son prioridad en el país, ya que de éstos se puede conseguir un porcentaje valioso de etanol y por las propiedades agroclimáticas de los terrenos colombianos se puede hacer énfasis en generar mayor cantidad de cultivos a partir de éstas dos materias primas en varios departamentos del país.

**Mapa 6.** Regionalización del etanol para la caña de azúcar y la yuca (2009)



**Fuente:** CORREDOR AVELLA, Germán. “Tablero de comando” para la promoción de los biocombustibles en Colombia. En: CEPAL. 2009.

### 3.4.1 Escala laboratorio

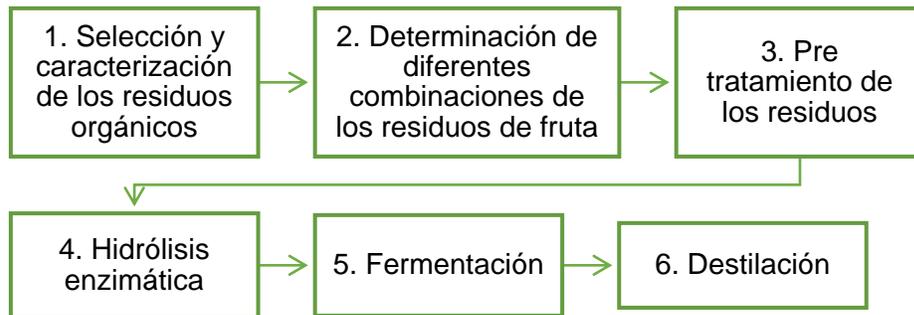
#### 3.4.1.1 Producción de etanol a partir de residuos de fruta

Actualmente, los residuos de alimentos, de procesos industriales y lignocelulósicos pueden ser reutilizados pero en Colombia no se le ha dado un mayor énfasis para crear una cadena de valor con ellos. Es por esto que se presenta el estudio de caso desarrollado por Malagón *et al.*<sup>102</sup> en la Fundación Universidad de América de Bogotá para evaluar la producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos de maracuyá, limón, lulo, mora y mango generados en una empresa de alimentos. En el Gráfico 17 se encuentran los pasos que describen el proceso a partir de los residuos de fruta, posterior a eso se describe el procedimiento según los pasos planteados.

---

<sup>102</sup> POSADA DÍAZ, Jaime. Producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos generados en una empresa de alimentos. Revista De Investigación. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2017. Vol. 10. No. 1. p. 47-59. ISBN 2011639X. Abril 25 de 2017.

**Gráfico 17.** Producción de etanol a partir residuos de maracuyá, limón, lulo, mora y mango



**Fuente:** Extraído de POSADA DÍAZ, Jaime. Producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos generados en una empresa de alimentos. Revista De Investigación. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2017. Vol. 10. No. 1. p. 47-59. ISBN 2011639X. Abril 25 de 2017 y editado por el autor.

El procedimiento resumido para producir etanol a partir de residuos de fruta generados en una empresa de alimentos en Bogotá es el siguiente:

1. Determinación de las materias primas según la cantidad de compuestos solubles en agua y de la frecuencia con la que se obtienen los residuos de frutas en la empresa asociada. Para eso se consideraron el limón, lulo, mango, maracuyá, mora y piña como residuos importantes para la obtención de etanol.
2. Se establecieron mezclas con la finalidad de aprovechar el volumen de los desechos. La combinación se determinó según la cercanía en la concentración de celulosa de los residuos de frutas.
3. Se realizaron pre-tratamientos químicos y físicos para romper la lignina:
  - Molienda: Para reducir el tamaño de la materia prima.
  - Lavado: Para eliminar los residuos.
  - Pre-tratamiento con NaOH: Para eliminar residuos restantes.
4. Para las 9 muestras establecidas se agregó la misma cantidad de enzima Multifect B y la cantidad de agua suficiente para dejar los residuos completamente sumergidos con el fin de obtener una mayor movilidad y contacto con la enzima.
5. El producto obtenido se esterilizó, luego se adicionó el inóculo para una posterior incubación.
6. La destilación se realizó durante 2h. Al final, el volumen destilado se acumuló y allí se determinó la concentración de bioetanol mediante el método del Dicromato de potasio.

En cuanto a los resultados obtenidos, los autores describen que éstos se comportaron de forma totalmente diferente a lo esperado o interpretado en otros proyectos:

Aunque los porcentajes de celulosa hacían suponer cuáles serían los residuos con mayores posibilidades para la producción de azúcares, los resultados se comportaron de manera diferente a lo esperado: el mango, con mayor contenido de celulosa (17.85%) fue el de menor capacidad para producir azúcares (1.39 g glucosa/L); el limón de las hidrólisis individuales tuvo el mejor rendimiento (1.87 g de glucosa/L), aunque su porcentaje de celulosa era intermedio (7.9 %). Respecto a las mezclas, la combinación mora-mango no fue la mejor, a pesar de tener mayor disponibilidad de polisacárido (17.14%, 1.74 g glucosa/L); se destacó la mezcla lulo-limón que superó considerablemente a todas las mezclas y desechos individuales (2.08 g de glucosa/L)<sup>103</sup>.

La mezcla limón – lulo y los residuos de maracuyá fueron los que consiguieron mayores concentraciones de etanol. Sin embargo, “Los resultados de rendimiento obtenidos, a pesar de no ser viables para producir bioetanol en comparación con los que se obtienen con sustratos ricos en azúcares, como el bagazo de caña de azúcar (0.34 L etanol/hg de bagazo), son altos al ser comparados con los registrados [...] en los que de cada kilogramo de cáscara de naranja produjeron 8.4 kg de etanol y por cada kilogramo de cáscara de piña se obtuvo 1 g de etanol”<sup>104</sup>. Del mismo modo, en éste proyecto el bagazo de piña habría obtenido una cantidad insignificante de etanol, por lo que fue descartado al momento de obtener su porcentaje de humedad, ya que al ser muy alto (81.43%) el residuo debe ser llevado a un proceso adicional de molienda que no es conveniente.

“Los resultados obtenidos son convenientes para la empresa de alimentos, que a mediano plazo puede llevar a cabo la evaluación de la producción de bioetanol a partir de las mezclas propuestas y de esta forma constituir una nueva línea de negocio, valorizar los residuos generados en sus procesos y fortalecer un modelo de producción sostenible”<sup>105</sup>.

En el Cuadro 10 se encuentran los parámetros establecidos en el proceso para determinar la cantidad y rendimiento de etanol, se resaltan con color Verde los residuos de fruta que se caracterizaron por tener una mejor descripción para el parámetro dado como el rendimiento de etanol para los residuos de maracuyá y los de la mezcla limón-lulo; por el contrario, se resaltaron con color rojo los residuos que no mostraron cantidades importantes de humedad y celulosa como los residuos de piña, y de azúcar y bioetanol como lo mostró el lulo y los residuos de la mezcla mora-mango.

---

<sup>103</sup> Ibid., p. 50.

<sup>104</sup> Ibid., p. 56.

<sup>105</sup> Ibid., p. 58.

**Cuadro 10.** Parámetros de la producción de etanol a partir de residuos de fruta en Colombia (2017)

PARÁMETROS	RESIDUOS DE FRUTA NO MEZCLADOS						MEZCLA DE RESIDUOS DE FRUTA			
	Maracuyá	Mango	Limón	Mora	Lulo	Piña	Limón - Lulo	Maracuyá - Lulo	Maracuyá - Limón	Mora - Mango
Material prima inicial (kg)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
% de humedad	79.46	77.58	69.92	70.48	79.70	81.43	-	-	-	-
% de celulosa	7.75	17.85	7.90	16.43	8.48	2.68	8.19	8.12	7.83	17.14
Azúcares obtenidos en la hidrólisis (g)	9.23	7.85	7.27	6.92	5.45	-	10.67	8.03	7.54	6.31
Celulosa disponible en la hidrólisis (g)	155	357	158.1	328.5	169.5	-	163.8	162.3	156.5	342.8
Rendimiento con base en la cantidad de celulosa (%)	5.95	2.20	4.60	2.11	3.21	-	6.51	4.95	4.82	1.84
Concentración de etanol (g/L)	3.08	2.43	3.27	3.12	2.54	-	3.60	2.60	2.49	2.98
Rendimiento de bioetanol (g etanol/kg mezcla)	7.92	6.85	6.36	5.99	4.81	-	9.22	6.94	6.66	5.41

**Fuente:** Extraído de POSADA DÍAZ, Jaime. Producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos generados en una empresa de alimentos. Revista De Investigación. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2017. Vol. 10. No. 1. p. 47-59. ISBN 2011639X. Abril 25 de 2017 y editado por el autor.

## 3.4.2 Escala industrial

### 3.4.2.1 Bioenergy (Caña de azúcar)

A escala industrial Colombia se ha destacado por cultivar caña de azúcar para la producción de etanol. Desde el año 2005 se ha incorporado ésta materia prima como cultivo primordial en la evolución del bioetanol en Colombia. Como ya se ha mencionado existen diferentes plantas de refinación a partir de la caña de azúcar en diversas regiones del país, por ello se presenta el estudio de caso denominado Bioenergy, que es una planta regida por Ecopetrol que se ha venido tratando desde el año 2005 con pruebas en los cultivos, y que para el año 2016 puso en marcha la producción del primer litro de etanol, pero que actualmente no se han encontrado cifras sobre su volumen de producción ya que la planta presenta sobrecostos y no ha sido posible poner en marcha la producción de 320.000 L/día que tenían planteados.

El Tiempo<sup>106</sup> afirma que “La mala noticia es que detrás de esa megaobra hay una investigación penal, fiscal y disciplinaria por millonarios sobrecostos en su montaje, posible conflicto de intereses de un exmiembro de la junta de la petrolera y hasta por la adquisición de 600 ha que no pudieron ser usadas y en donde hoy pastan vacas de una finquera”. Mientras que en la Revista Dinero confirman que “resultó ser un proyecto costoso para el país, que no es rentable y cuya ejecución por parte de Bioenergy S.A. es ineficiente e ineficaz, dado que no se llevó a cabo dentro del tiempo planeado, sino que se demoró más del doble y, además, presentó sobrecostos, toda vez que no ha entrado en su producción comercial.”<sup>107</sup>

En contraste, Bioenergy<sup>108</sup> confirma que “es la primera empresa agroindustrial de la Orinoquía productora de etanol, lo que le ha significado el gran reto de ampliar las fronteras agrícolas en Colombia” y que “El etanol que produce Bioenergy incrementará hasta un 10% la mezcla con gasolina en el centro del país, logrando un impacto ambiental positivo. Así mismo, genera energía eléctrica dentro de su modelo de negocio, garantizando la auto sostenibilidad operacional de la planta y produciendo un excedente que es exportado a la Red Eléctrica Nacional”. En efecto, en el Gráfico 18 se encuentra una línea de tiempo de la historia de Bioenergy.

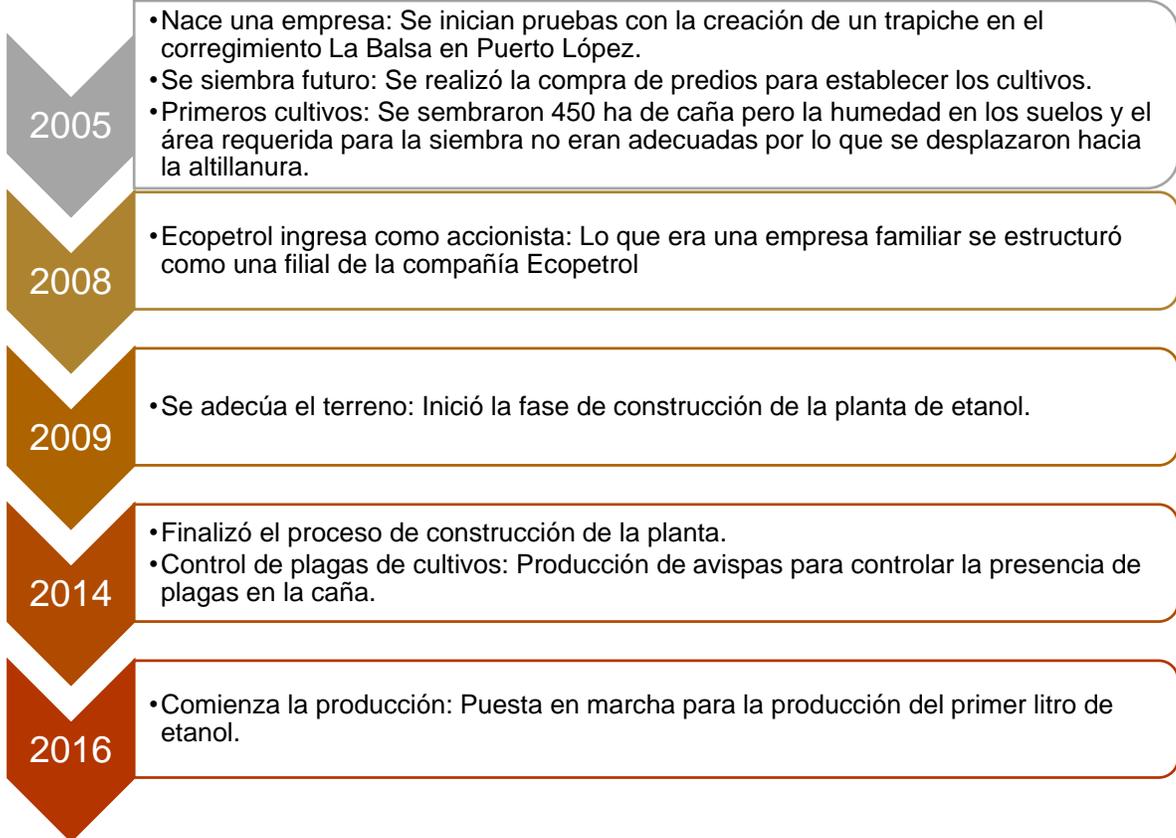
---

<sup>106</sup> El Tiempo. Bioenergy, otra megaobra de Ecopetrol en la mira por sobrecostos. En: EL TIEMPO. Junio 4 de 2017. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/bioenergy-megaobra-de-ecopetrol-en-investigaciones-por-sobrecostos-95224>

<sup>107</sup> Revista Dinero. Contraloría reporta hallazgos en bioenergy por más de \$700.000 millones. Revista Dinero. Agosto 29 de 2017. Disponible en: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/hallazgos-fiscales-de-la-contraloria-en-bioenergy/249219>

<sup>108</sup> Bioenergy. Kilómetro 43 vía Puerto López, Puerto Gaitán. 2017. Disponible en: <http://www.bioenergy.com.co/SitePages/Home1111.aspx>

**Gráfico 18.** Línea de tiempo de Bioenergy

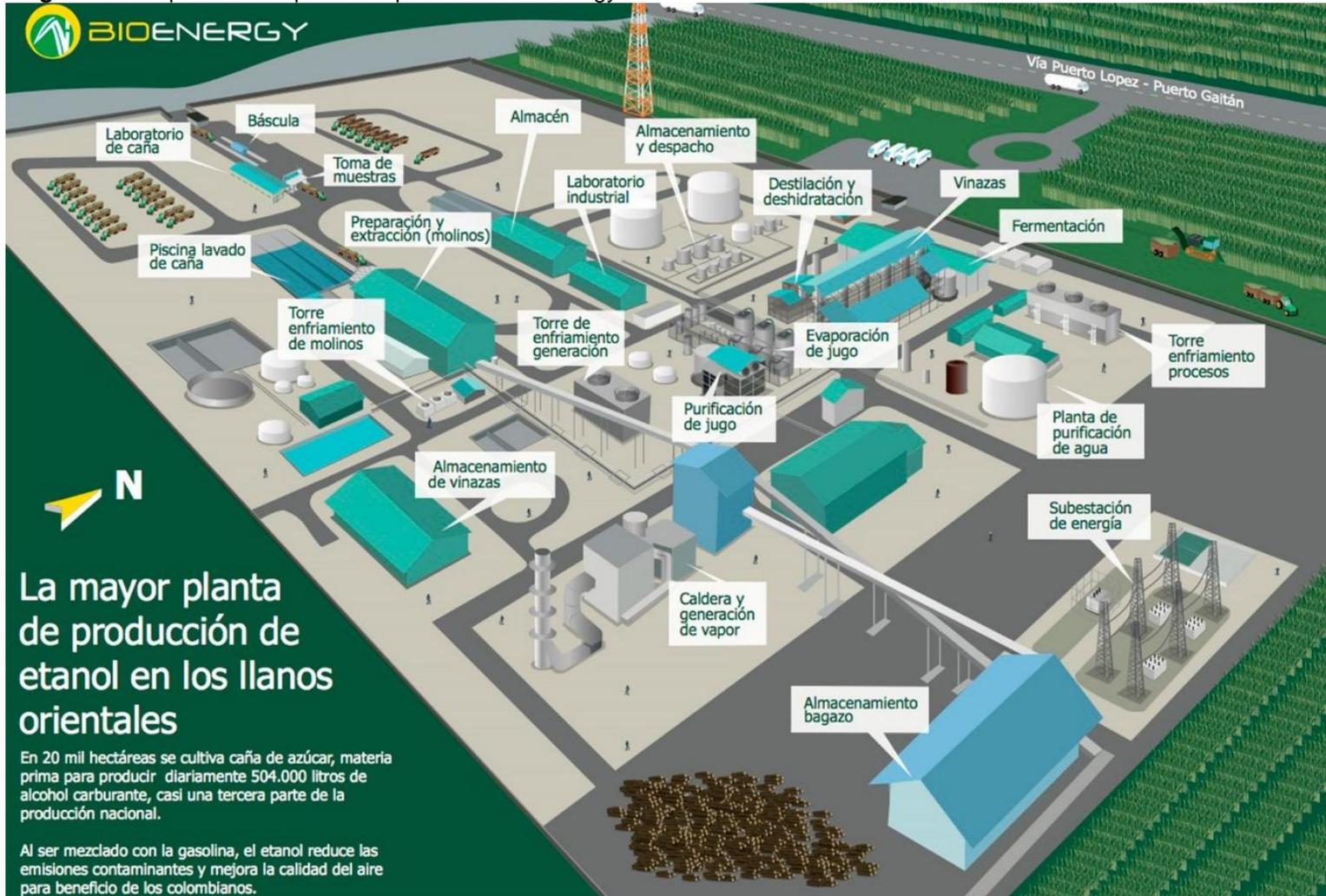


**Fuente:** Extraído de Bioenergy. Kilómetro 43 vía Puerto López, Puerto Gaitán. 2017. Disponible en: <http://www.bioenergy.com.co/SitePages/Home1111.aspx> y editado por el autor.

Para la producción del etanol, Bioenergy<sup>109</sup> “dispone de cultivos propios de caña de azúcar, la cual es procesada para extraer el producto por medio de procesos de evaporación, fermentación, destilación y deshidratación”. Posterior a eso “una vez la caña está lista, es recogida y transportada con equipos mecanizados hasta la planta industrial, en donde luego de varios procesos se logra la obtención de etanol, el cual es despachado a las plantas de abastecimiento”. En la Figura 22 se encuentra el esquema de la planta de producción de etanol Bioenergy y en la Figura 23 se encuentra el proceso de producción de etanol en 4 pasos que son Recepción, Fermentación, Destilación y el último Almacenamiento y despacho.

<sup>109</sup> Ibid.

Figura 22. Esquema de la planta de producción Bioenergy



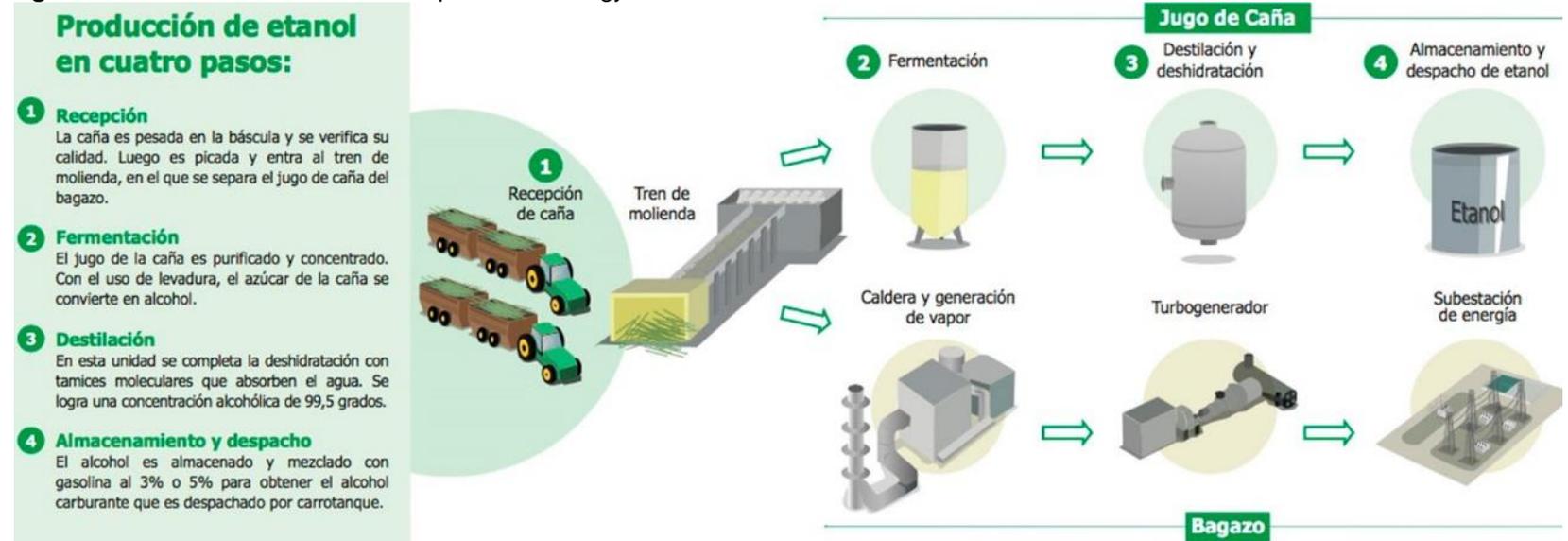
### La mayor planta de producción de etanol en los llanos orientales

En 20 mil hectáreas se cultiva caña de azúcar, materia prima para producir diariamente 504.000 litros de alcohol carburante, casi una tercera parte de la producción nacional.

Al ser mezclado con la gasolina, el etanol reduce las emisiones contaminantes y mejora la calidad del aire para beneficio de los colombianos.

**Fuente:** Bioenergy. Kilómetro 43 vía Puerto López, Puerto Gaitán. 2017. Disponible en: <http://www.bioenergy.com.co/SitePages/Home1111.aspx>

Figura 23. Producción de etanol en la planta Bioenergy



Fuente: Bioenergy. Kilómetro 43 vía Puerto López, Puerto Gaitán. 2017. Disponible en: <http://www.bioenergy.com.co/SitePages/Home1111.aspx>

Bioenergy es amigable con el medio ambiente porque aprovecha sus residuos y reutiliza el agua. Bioenergy<sup>110</sup> afirma que el proceso de obtención de etanol produce dos residuos denominados Vinazas y Cachazas que son reutilizados como fertilizante y acondicionador para mejorar la calidad del suelo. Además “la compañía aporta hasta el 38% del etanol que se produce en Colombia, lo que tiene un impacto en la calidad del aire que se respira, al disminuir en un 89% las emisiones a la atmósfera de GEI”. Es necesario que el Gobierno Colombiano estipule normativas frente a las nuevas plantas de refinación ya que éstas pueden obtener beneficios económicos y ambientales para el país pero no se ve aprovechados por el mal manejo de la industria y por los sobrecostos generados.

<sup>110</sup> Ibid.

#### 4. MARCO LEGAL QUE RIGE AL BIOETANOL EN COLOMBIA

La fabricación de biocombustibles está regulada por la ley 693 de 2001 que incentiva la producción nacional y define los precios, calidades y porcentajes de la mezcla etanol-gasolina. Además establece las características de uso de los biocombustibles y los requerimientos del contenido de alcohol etanol en la gasolina motor.

Por otro lado, García y Calderón<sup>111</sup> dicen que en el sector económico para Colombia, los procesos de desgravación y de promoción a la inversión de biocombustibles comenzaron con la aprobación de la Ley 788 de 2002 y posteriormente la Ley 818 de 2003, con la que se generaron exenciones tributarias del impuesto global, IVA y el impuesto sobre las ventas, la caña de azúcar y el alcohol carburante quedaron exentos en su totalidad.

Posteriormente en el 2006 las Leyes 1028 y 1083 dictan normas en materia de penalización para delitos relacionados con biocombustibles y para movilidad urbana en lo relacionado con el uso de combustibles limpios respectivamente, en el 2007 las Leyes 1133 y 1151 se encargan de generar instrumentos adicionales de fomento contenidos en el programa Agro Ingreso Seguro, el Plan Nacional de Desarrollo y el Estatuto de Desarrollo Rural, consolidando así todo un paquete legislativo en pro del desarrollo de los biocombustibles en casi todos los escenarios nacionales<sup>112</sup>.

Por otro lado, “en 2008, el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) hizo una serie de recomendaciones para estimular el uso de biocombustibles y así diversificar la canasta energética, tener mayor autosuficiencia y reducir las emisiones de gas carbónico”<sup>113</sup>. “En el 2008 se expidió el Documento CONPES 3510, sentando así las bases para el uso obligatorio en Colombia de las mezclas de un porcentaje de etanol con la gasolina”<sup>114</sup> que además “está orientada a promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, aprovechando las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de los biocombustibles. De esta manera, se busca expandir los cultivos de biomásas conocidas en el país y diversificar la canasta energética dentro de un marco de producción eficiente y sostenible económica, social y ambientalmente, que permita competir en el mercado nacional e internacional”<sup>115</sup>.

Desde entonces, el Ministro de Minas y Energía, Hernán Martínez Torres, afirma que el Decreto 1135 del 31 de marzo de 2009, en el cual se establece el uso del

---

<sup>111</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 30.

<sup>112</sup> PALACIOS LOZANO, María Teresa, *et al.* Op. cit., p. 29.

<sup>113</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 147. Op. cit., p. 2.

<sup>114</sup> ACOSTA M., Amylkar. La apuesta por los biocombustibles. En: LA NACION. Santa Marta. Marzo 28 de 2016.

<sup>115</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Op. cit.

alcohol carburante para vehículos nuevos y usados a partir del 2012, ha suscitado múltiples pronunciamientos. Según la norma, los nuevos vehículos estarán en capacidad de consumir mezclas de combustibles de hasta 85% de etanol con gasolina, pero los propietarios de dichos vehículos no estarán obligados a hacerlo, ya que podrán escoger libremente la mezcla a utilizar, dependiendo del precio final y de los beneficios que vean convenientes en materia de emisiones, rendimientos, potencia en el vehículo, etc.<sup>116</sup>

A partir de entonces, se creó la Ley 1715 de 2014<sup>117</sup> que regula la integración de las energías renovables no convencionales en Colombia donde se introdujo un porcentaje de alcohol carburante a la gasolina para disminuir parte de las emisiones de los combustibles fósiles y aprovechar el nuevo recurso energético. También se establecen la Resolución 1565 de 2004<sup>118</sup> sobre los requisitos técnicos y ambientales de los alcoholes carburantes y los combustibles oxigenados y La Resolución 90932 de 2013<sup>119</sup> sobre el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunas plantas de abastecimiento mayoristas (E10).

Después, “El Ministerio de Minas y Energía, mediante la resolución 4-0277 del 4 de abril de 2017, aumentó la oferta de bioetanol en la gasolina del 6 al 8 por ciento en Antioquia”<sup>120</sup>. “Lo anterior, con el propósito de contribuir a mejorar la calidad del aire en Medellín datos la alta contaminación que persiste en la capital antioqueña”<sup>121</sup>. “A través de la resolución 4-0626 del 4 de julio, la cartera minero-energética dispuso que a partir del 6 de julio del 2017, el porcentaje de mezcla del alcohol carburante (etanol) será al 8 por ciento, tras haber estado en 6 por ciento debido a restricciones en su producción”<sup>122</sup>.

Tan pronto como se empezaron a crear normativas e incentivos tributarios para los biocombustibles, se vio necesario organizar en el país Planes de Desarrollo y Energéticos que promovieran el uso del bioetanol:

---

<sup>116</sup> MARTÍNEZ TORRES, Hernán. Espacio para el alcohol carburante. Portafolio. Mayo 11 de 2009. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/espacio-alcohol-carburante-340906>

<sup>117</sup> Congreso de Colombia. Ley 1715. Se regula la integración de las Energías Renovables no Convencionales al Sistema Energético Nacional. 2014.

<sup>118</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 1565. Criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos. 2004.

<sup>119</sup> Ministerio de Mina y Energía. Resolución 90932. Porcentaje de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunas plantas de abastecimiento mayorista. 2013.

<sup>120</sup> El Tiempo. ETANOL Y BIODIÉSEL EN COLOMBIA. En: REVISTA MOTOR. 28 de julio.

<sup>121</sup> El Tiempo. Ordenan agregar más Bioetanol a gasolina que se utilice en Antioquia. En: EL TIEMPO. Colombia. Abril 5 de 2017.

<sup>122</sup> El Tiempo. El alivio en el precio de la gasolina duró solamente cinco días. En: EL TIEMPO. Colombia. Julio 6 de 2017.

- “En el Plan Nacional de Desarrollo 2006 - 2010 se recoge así mismo una mención a la obtención de biocombustibles, señalando que debe encontrarse una estrategia de desarrollo productivo sostenible orientada a producir más y mejor”<sup>123</sup>.
- “En el Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014 se establece que el Gobierno nacional implementará acciones orientadas a realizar una revisión de los avances actuales del programa de mezcla etanol-gasolina analizando la viabilidad y eficiencia de aumentar sus porcentajes”<sup>124</sup>.
- “En el Plan Energético Nacional 2006-2025 de Colombia se expone que debe investigarse cuáles son las mezclas óptimas entre combustibles fósiles convencionales y biocombustibles, porque el futuro energético del país pasaría por el fortalecimiento del conocimiento de dicha fuente de energía alternativa”<sup>125</sup>.

“La Ley 1151 de 2007, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, se encarga de la coordinación, puesta en marcha y desarrollo de los Biocombustibles en Colombia; en esta ley se propende por encontrar y promover políticas que no solo desarrollen el mercado de biocombustibles para diversificar la canasta energética, sino que permitan sentar las bases para avanzar hacia el desarrollo sostenible en un contexto de sostenibilidad social, ambiental, económica y financiera”<sup>126</sup>.

Además de revisar los planteamientos estratégicos de referencia para el fomento de la innovación y producción de biocombustibles en los Planes de Desarrollo, es necesario mencionar los principales incentivos legales de apoyo a la inversión que se han venido desarrollando en Colombia:

- Decreto número 383 de 2007 que establece estímulos para la implementación de Zonas Francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles. La posibilidad de que se declaren Zonas Francas Permanentes a las áreas donde se desarrollen actividades industriales o comerciales consideradas como proyectos de alto impacto económico y social.
- Ley 1133 de 2007 que implementa el programa Agro Ingreso Seguro (AIS) que trata de apoyar económicamente a los productores agrarios que pretendan realizar acciones conducentes a la mejora de su competitividad.

---

<sup>123</sup> CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Op. cit., p. 88.

<sup>124</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 28.

<sup>125</sup> CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Op. cit., p. 88.

<sup>126</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Op. cit.

Por último se encuentra la normativa aplicada al precio del etanol en el comercio colombiano para Fedebiocombustibles<sup>127</sup> entre los años 2012 y 2017 en el Cuadro 11 y la evolución del precio de galón en el Gráfico 19 en los mismos años. Allí se puede observar que en el año 2014 hubo una fuerte disminución en el precio por galón, por el contrario, a principios del año 2012 y 2016 hubo un aumento respecto a las demás fechas estipuladas. El precio más crítico se dio en noviembre de 2016 (Color rojo) estipulado por la Resolución 4 1045 por las variaciones en el precio del crudo y sus derivados a nivel internacional. El precio actual del etanol (Negrita) está en \$8659.01 regido por la Resolución 4 0882 de agosto de 2017 que es un valor promedio entre los establecidos del año 2012 al 2017.

**Cuadro 11.** Precio del galón de etanol colombiano con sus respectivas resoluciones (2012-2017)

No. RESOLUCIÓN	FECHA	AÑO	PRECIO GALÓN	VIGENCIA HASTA
18 0103	30 de Enero	2012	\$8.712,69	29/02/2012
18 0256	28 de Febrero		\$8.811,68	31/03/2012
18 0429	29 de Marzo		\$8.704,66	30/04/2012
18 0645	27 de Abril		\$8.237,82	31/05/2012
18 0833	31 de Mayo		\$8.066,03	30/06/2012
18 1011	28 de Junio		\$8.038,82	31/07/2012
18 1253	30 de Julio		\$8.030,20	31/08/2012
18 1490	30 de Agosto		\$7.949,81	30/09/2012
9 1568	28 de Septiembre		\$7.749,11	31/10/2012
9 1660	30 de Octubre		\$7.650,94	30/11/2012
9 1775	29 de Noviembre		\$7.655,96	31/12/2012
9 1864	28 de Diciembre		\$7.396,65	31/01/2013
9 0047	30 de Enero		2013	\$6.931,39
9 0132	27 de Febrero	\$6.823,89		31/03/2013
9 0227	01 de Abril	\$6.834,29		30/04/2013
9 0304	31 de Abril	\$6.768,05		31/05/2013
9 0426	31 de Mayo	\$6.703,64		30/06/2013
9 0501	28 de Junio	\$6.883,04		31/07/2013
9 0600	31 de Julio	\$6.839,83		31/08/2013
9 0705	30 de Agosto	\$6.791,87		30/09/2013
9 0820	30 de Septiembre	\$6.790,37		31/10/2013
9 0931	31 de Octubre	\$6.644,86		30/11/2013
9 1050	29 de Noviembre	\$6.733,08		31/12/2013
9 1166	27 de Diciembre	\$6.670,44		31/01/2014

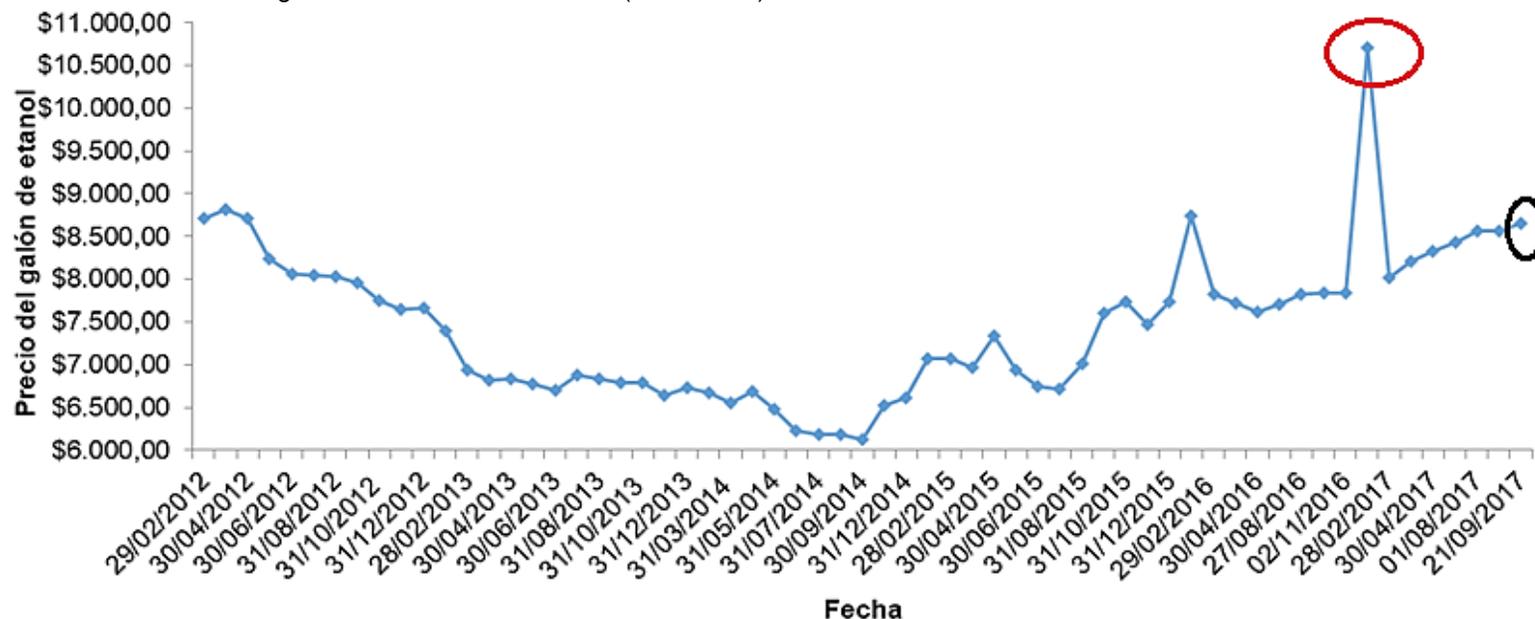
<sup>127</sup> Fedebiocombustibles. Resoluciones de precios. Colombia. Septiembre 1 de 2017. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-30.htm>

**Cuadro 11. (Continuación)**

No. RESOLUCIÓN	FECHA	AÑO	PRECIO GALÓN	VIGENCIA HASTA
9 0146	30 de Enero	2014	\$6.553,99	31/03/2014
9 0352	31 de Marzo		\$6.689,32	30/04/2014
9 0464	30 de Abril		\$6.476,69	31/05/2014
9 0572	29 de Mayo		\$6.224,59	30/06/2014
9 0673	26 de Junio		\$6.185,19	31/07/2014
9 0919	02 de Agosto		\$6.116,01	30/09/2014
9 1195	31 de Octubre		\$6.518,77	30/11/2014
9 1347	28 de Noviembre		\$6.604,47	31/12/2014
9 1566	29 de Diciembre		\$7.065,22	31/01/2015
4 0121	30 de Enero		2015	\$7.073,37
4 0266	27 de Febrero	\$6.960,52		31/03/2015
4 0394	30 de Marzo	\$7.341,56		30/04/2015
4 0520	30 de Abril	\$6.929,99		31/05/2015
4 0839	30 de Julio	\$7.011,77		31/08/2015
4 0933	28 de Agosto	\$7.600,57		30/09/2015
4 1067	29 de Septiembre	\$7.733,47		31/10/2015
4 1190	30 de Octubre	\$7.473,51		30/11/2015
4 1296	30 de Noviembre	\$7.736,38		31/12/2015
4 1432	30 de Diciembre	\$8.737,84		31/01/2016
4 0081	29 de Enero	2016	\$7.822,43	29/02/2016
4 0210	29 de Febrero		\$7.718,44	04/04/2016
4 0339	04 de Abril		\$7.612,35	30/04/2016
4 0436	29 de Abril		\$7.698,65	27/07/2016
4 0726	27 de Julio		\$7.822,86	27/08/2016
4 0835	27 de Agosto		\$7.832,84	05/10/2016
4 0953	05 de Octubre		\$7.832,84	02/11/2016
4 1045	02 de Noviembre		\$10.712,13	31/12/2016
4 1275	30 de Diciembre		\$8.010,73	28/02/2017
4 0149	27 de Febrero		2017	\$8.211,28
4 0272	03 de Abril	\$8.322,28		30/04/2017
4 0349	28 de Abril	\$8.433,28		30/06/2017
4 0603	28 de Junio	\$8.564,24		01/08/2017
4 0744	01 de Agosto	\$8.559,67		31/08/2017
<b>4 0882</b>	<b>31 de Agosto</b>	<b>\$8.659,01</b>		<b>Actualmente</b>

**Fuente:** Extraído de Fedebiocombustibles. Resoluciones de precios. Colombia. Septiembre 1 de 2017. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-30.htm> y editado por el autor.

**Gráfico 19.** Precio del galón de etanol en Colombia (2012-2017)



**Fuente:** Extraído de Fedebiocombustibles. Resoluciones de precios. Colombia. Septiembre 1 de 2017. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-30.htm> y editado por el autor.

Finalmente, se encuentran los Cuadros 12, 13, 14 y 15 que recopilan los temas específicos de la normativa (Leyes, Decretos, Resoluciones y otros documentos, respectivamente) mencionada anteriormente en el ámbito social, ambiental y económico.

**Cuadro 12.** Leyes para el fomento y producción de biocombustibles

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA
Ley	1715	2014	Mayo 13	Congreso de la República de Colombia	Se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional <sup>128</sup> .
Ley	1450	2011	Junio 16	Congreso de la República de Colombia	Se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 <sup>129</sup> .
Ley	1151	2007	Julio 24	Congreso de la República de Colombia	Se encarga de generar instrumentos adicionales de fomento contenidos en el programa AIS, el Plan Nacional de Desarrollo y el Estatuto de Desarrollo Rural, consolidando así todo un paquete legislativo en pro del desarrollo de los biocombustibles <sup>130</sup> .
Ley	1133	2007	Abril 9	Congreso de la República de Colombia	Tiene como objeto la creación e implementación del programa “Agro, Ingreso Seguro - AIS”, destinado a proteger los ingresos de los productores y a mejorar la competitividad de todo el sector agropecuario nacional, con ocasión de la internacionalización de la economía <sup>131</sup> .
Ley	1083	2006	Julio 31	Congreso de la República de Colombia	Norma en materia de penalización para movilidad urbana en lo relacionado con el uso de combustibles limpios <sup>132</sup> .

<sup>128</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1715. (Mayo 13 de 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá D.C., 2014.

<sup>129</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1450. (Junio 16 de 2011). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Bogotá D.C., 2011.

<sup>130</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1151. (Julio 24 de 2007). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46700.

<sup>131</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 1133. (Abril 9 de 2007). Por medio de la cual se crea e implementa el programa “Agro, Ingreso Seguro – AIS. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46595.

<sup>132</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1083. (Julio 31 de 2006). Por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2006. No. 46346.

**Cuadro 12.** (Continuación)

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA
Ley	1028	2006	Junio 12	Congreso de la República de Colombia	Se dicta la norma en materia de penalización para delitos relacionados con biocombustibles <sup>133</sup> .
Ley	818	2003	Julio 8	Congreso de la República de Colombia	Se dictan normas en materia tributaria y se dictan otras disposiciones <sup>134</sup> .
Ley	788	2002	Diciembre 27	Congreso de la República de Colombia	Se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones <sup>135</sup> .
Ley	693	2001	Septiembre 19	Congreso de la República de Colombia	Se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo <sup>136</sup> .

**Fuente:** Elaborado por el autor.

<sup>133</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1028. (Junio 12 de 2006). Por la cual se adiciona el Código Penal y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2006. No. 46298.

<sup>134</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 818. (Julio 8 de 2003). Por la cual se dictan normas en materia tributaria y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2003. No. 45242.

<sup>135</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 788. (Diciembre 27 de 2002). Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2002. No. 45046.

<sup>136</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 693. (Septiembre 19 de 2001). Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2001. No. 44564.

**Cuadro 13.** Decretos para el fomento y producción de biocombustibles

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Decreto	4892	2011	Diciembre 23	MinMinas	Se dictan disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores <sup>137</sup> .	Actualmente vigente.
Decreto	4145	2011	Noviembre 3	MinAgricultura	Se crea la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios – UPRA <sup>138</sup> .	Actualmente vigente.
Decreto	1135	2009	Marzo 31	MinMinas	Se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento <sup>139</sup> .	Actualmente vigente.
Decreto	383	2007	Febrero 12	MinHacienda	Establece estímulos para la implementación de Zonas Francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles <sup>140</sup> .	Actualmente vigente.

<sup>137</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 4892. (Diciembre 23 de 2011). Por el cual se dictan disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores. Bogotá D.C., 2011.

<sup>138</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Decreto 4145. (Noviembre 3 de 2011). Por el cual se crea la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios - UPRA y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2011.

<sup>139</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 1135. (Marzo 31 de 2009). Por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2009. No. 47308.

<sup>140</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Decreto 383. (Febrero 12 de 2007). Por el cual se modifica el Decreto 2685 de 1999 y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2007.

**Cuadro 13.** (Continuación)

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Decreto	4051	2007	Octubre 23	MinHacienda	Concepto sobre la viabilidad de declarar la existencia de zonas francas permanentes <sup>141</sup> .	Actualmente vigente.
Decreto	2629	2007	Julio 10	MinMinas	Se dictan disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustibles para su funcionamiento <sup>142</sup> .	El Decreto 1135 de 2009 lo modifica en su totalidad.

Fuente: Elaborado por el autor.

**Cuadro 14.** Resoluciones para el fomento y producción de biocombustibles

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Resolución	4 0626	2017	Julio 4	MinMinas	Se establece la mezcla E8 de alcohol carburante con gasolina motor corriente para los departamentos ubicados en la zona sur, suroccidente, centro, oriente, norte y nororiente del país <sup>143</sup> .	Actualmente vigente.

<sup>141</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Decreto 4051. (Octubre 23 de 2007). Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 2685 de 1999 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46790. p. 32.

<sup>142</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. DECRETO 2629 DE 2007. (Julio 10 de 2007). Por medio del cual se dictan disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustibles para su funcionamiento. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46685.

<sup>143</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0626. (Julio 4 de 2017). Por la cual se modifica el artículo 1º de la Resolución 40527 del 7 de junio de 2017, en relación con las mezclas de alcohol carburante con gasolina motor. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. No. 50284.

**Cuadro 14.** (Continuación)

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Resolución	4 0527	2017	Junio 7	MinMinas	Se reestablece gradualmente la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en algunas zonas del país <sup>144</sup> .	La Resolución 40626 de 2017 modifica el Artículo 1 en relación con las mezclas de alcohol carburante con gasolina motor.
Resolución	4 0467	2017	Mayo 24	MinAmbiente y MinMinas	Se modifica la Resolución 789 de 2016, en lo relacionado con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro Combustible y Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado utilizado como componente oxigenante de gasolinas <sup>145</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	4 0434	2017	Mayo 18	MinMinas	Se suspende la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en algunas zonas del país <sup>146</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	4 0277	2017	Abril 4	MinMinas	Se reestablece la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en el Departamento de Antioquia <sup>147</sup> .	Actualmente vigente.

<sup>144</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0527. (Junio 7 de 2017). Por la cual se restablece gradualmente la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en algunas zonas del país. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. No. 50257.

<sup>145</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0467. (Mayo 24 de 2017). Por la cual se modifica la Resolución 789 de 2016, relacionada con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro Combustible y Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado utilizado como componente oxigenante de gasolinas. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017.

<sup>146</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0434. (Mayo 18 de 2017). Por la cual se suspende temporalmente la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en algunas zonas del país. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. No. 50237.

<sup>147</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0277. (Abril 4 de 2017). Por la cual se restablece la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en el Departamento de Antioquia. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017.

**Cuadro 14.** (Continuación)

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Resolución	4 1053	2016	Noviembre 2	MinMinas	Se modifica la Resolución 18 0687 de 2003, mediante la cual se regula la producción, acopio, distribución y puntos de venta de alcohol carburante y su uso con los combustibles nacionales e importados <sup>148</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	789	2016	Mayo 20	MinAmbiente y MinMinas	Se modifica la Resolución 898 de 1995 en lo relacionado con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro Combustible y Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado utilizado como componente oxigenante de gasolinas y se dictan otras disposiciones <sup>149</sup> .	La Resolución 4 0467 de 2017 modifica el Artículo 8, en cuanto al plazo establecido con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro.
Resolución	4 0437	2016	Abril 29	MinMinas	Se restablece gradualmente el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con gasolina motor para las zonas norte y suroccidental del país <sup>150</sup> .	Actualmente vigente.

<sup>148</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 1053. (Noviembre 2 de 2016). Por la cual se modifica la Resolución 180687 de 2003, mediante la cual se regula la producción, acopio, distribución y puntos de venta de alcohol carburante y su uso con los combustibles nacionales e importados". Diario Oficial. Bogotá D.C., 2016. No. 50046.

<sup>149</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 789. (Mayo 20 de 2016). Por la cual se modifica la Resolución 898 de 1995 en lo relacionado con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro Combustible y Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado utilizado como componente oxigenante de gasolinas. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2016. No. 49883.

<sup>150</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0437. (Abril 29 de 2016). Por la cual se restablece gradualmente el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con gasolina motor para las zonas norte y suroccidental del país. Bogotá D.C., 2016.

**Cuadro 14.** (Continuación)

TIPO	No.	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Resolución	4 1079	2015	Octubre 1	MinMinas	Se aclara la Resolución 4 1072 de 2015 <sup>151</sup> , mediante la cual se estableció el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para la zona suroccidental del país para uso en vehículos automotores <sup>152</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	9 0932	2013	Octubre 31	MinMinas	Se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunas plantas de abastecimiento mayorista <sup>153</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	18 0257	2012	Febrero 28	MinMinas	Se restablece la mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunos departamentos de la Costa Atlántica <sup>154</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	18 2368	2009	Diciembre 29	MinMinas	Se modifica la Resolución 18 0687 de 2003 en relación con el programa de oxigenación de combustibles en el país <sup>155</sup> .	Actualmente vigente.

<sup>151</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 1072. (Septiembre 30 de 2015). Por la cual se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para la zona Suroccidental del país para uso en vehículos automotores. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2015. No. 49651.

<sup>152</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 1079. (Octubre 2 de 2015). Por la cual se aclara la Resolución 41072 de 2015, mediante la cual se estableció el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para la zona suroccidental del país para uso en vehículos automotores. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2015. No. 49653.

<sup>153</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 9 0932. (Octubre 31 de 2013). Por la cual se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunas plantas de abastecimiento mayorista. Bogotá D.C., 2013.

<sup>154</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0257. (Febrero 28 de 2012). Por la cual se restablece la mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunos departamentos de la Costa Atlántica. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2012. No. 48358.

<sup>155</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 2368. (Diciembre 29 de 2009). Por la cual se modifican las resoluciones 18 0687 de 2003 y 18 1088 de 2005, en relación con el programa de oxigenación de combustibles en el país. REVISTA LEGISLACIÓN ECONÓMICA. Bogotá D.C., 2009. No. 1376. p. 152.

**Cuadro 14.** (Continuación)

TIPO	NÚMERO	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Resolución	2604	2009	Diciembre 24	MinMinas, MinSalud y MinAmbiente	Se determinan los combustibles limpios teniendo como criterio fundamental el contenido de sus componentes, se reglamentan los límites máximos de emisión permisibles en prueba dinámica para los vehículos que se vinculen a la prestación del servicio público y se adoptan otras disposiciones <sup>156</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	18 1069	2005	Agosto 18	MinMinas	Modifica la Resolución 18 0687 de 2003 y se establecen otras disposiciones <sup>157</sup> .	Actualmente vigente.
Resolución	1565	2004	Diciembre 27	MinAmbiente y MinMinas	Regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos, calderas y motores de combustión interna <sup>158</sup> .	No se encuentra vigente en su totalidad.

<sup>156</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE Y MINISTERIO DE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2604. (Diciembre 24 de 2009). Por la cual se determinan los combustibles limpios teniendo como criterio fundamental el contenido de sus componentes y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2009. No. 47578.

<sup>157</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 1069. (Agosto 18 de 2005). Por la cual se modifica la Resolución 18 0687 del 17 de junio de 2003 y se establecen otras disposiciones. Bogotá D.C., 2005.

<sup>158</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 1565. (Diciembre 27 de 2004). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2004. No. 45777.

**Cuadro 14.** (Continuación)

TIPO	NÚMERO	AÑO	FECHA	ENTIDAD	TEMA	CAMBIOS
Resolución	18 0687	2003	Junio 17	MinMinas	Se expide la regulación técnica prevista en la Ley 693 de 2001, en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes <sup>159</sup> .	No se encuentra vigente.
Resolución	898	1995	Agosto 23	MinAmbiente	Se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en motores de combustión interna de vehículos automotores <sup>160</sup> .	La Resolución 789 de 2016 la modifica en su totalidad.

**Fuente:** Elaborado por el autor.

**Cuadro 15.** Otros documentos para el fomento y producción de biocombustibles

TIPO	AÑO	ENTIDAD	TEMA
PLAN NACIONAL DE DESARROLLO	2014 - 2018	Departamento Nacional de Planeación	Consolidar el desarrollo minero-energético para la equidad regional garantizando el abastecimiento de combustibles líquidos y de biocombustibles incrementando la capacidad de las principales refinerías del país <sup>161</sup> .
PLAN NACIONAL DE DESARROLLO	2010 - 2014	Departamento Nacional de Planeación	Desarrollo de estrategias para promover el uso de combustibles limpios y los aspectos que conlleven a la reducción de gases contaminantes producidos por fuentes móviles buscando tener vehículos de tecnologías limpias que generen menor contaminación <sup>162</sup> .

<sup>159</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0687. (Junio 17 de 2003). Por la cual se expide la regulación técnica prevista en la Ley 693 de 2001, en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes y su uso en los combustibles nacionales e importados. Bogotá D.C., 2003.

<sup>160</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Resolución 898. (Agosto 23 de 1995). Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. Bogotá D.C., 1995.

<sup>161</sup> Departamento Nacional de Planeación. Plan Nacional De Desarrollo 2014 - 2018: Todos Por Un Nuevo País. Colombia: 2014.

<sup>162</sup> Departamento Nacional de Planeación. Plan Nacional De Desarrollo 2010 - 2014: Prosperidad Para Todos. Bogotá D.C., Colombia: 2011.

**Cuadro 15.** (Continuación)

TIPO	AÑO	ENTIDAD	TEMA
CONPES 3510	2008	Departamento Nacional de Planeación	Política orientada a promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, aprovechando las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes <sup>163</sup> .
NTC 5414	2006	ICONTEC	Transporte de etanol anhidro desnaturalizado <sup>164</sup> .
NTC 5389	2005	ICONTEC	Almacenamiento de etanol anhidro desnaturalizado y su mezcla con gasolina motor <sup>165</sup> .
Protocolo de Kyoto	1997	CMNUCC	Compromete a los países industrializados a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. Establece metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de quemar combustibles fósiles durante más de 150 años <sup>166</sup> .

**Fuente:** Elaborado por el autor.

Como se puede observar, Colombia ha avanzado fuertemente en la legislación para promover el uso y producción de biocombustibles para la mezcla gasolina-etanol no sólo con leyes, sino que además en sus Planes de Desarrollo y Energéticos plantea mejorar la calidad de los biocombustibles y aumentar la producción en el país. Gracias a esto, se ha desarrollado ampliamente normatividad de tipo técnico suficiente para el crecimiento de esa industria en el país.

<sup>163</sup> Departamento Nacional de Planeación. Documento CONPES 3510. Colombia: 2008.

<sup>164</sup> COLOMBIA. ICONTEC. NTC 5414. (Abril 26 de 2006). Etanol anhidro desnaturalizado. Transporte. Bogotá D.C., 2006.

<sup>165</sup> COLOMBIA. ICONTEC. NTC 5389. (Octubre 26 de 2005). Etanol anhidro desnaturalizado y su mezcla con gasolina motor. Almacenamiento. Bogotá D.C., 2005.

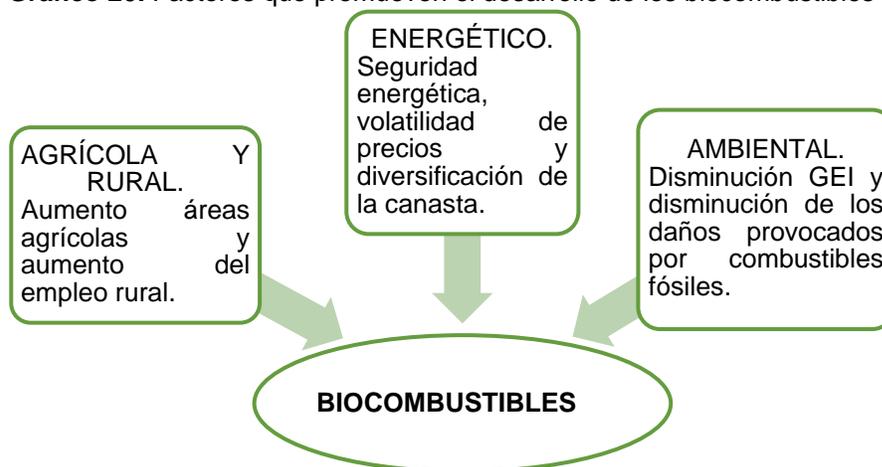
<sup>166</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Protocolo De Kyoto. Colombia. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>

## 5. COMPORTAMIENTO DEL USO Y PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL EN COLOMBIA

Primordialmente “es necesario poner en contexto la discusión en torno a la importancia de los biocombustibles en la matriz energética del país, pues no sólo contribuye a mejorar la calidad de los combustibles que se consumen en el país por el mayor octanaje del etanol, sino que contribuyen a la seguridad energética y al desarrollo del sector agrícola. La preocupación aumenta cuando nos percatamos que las precarias reservas de crudo con las que cuenta el país (1.665 millones de barriles) sólo nos alcanzan para ser autosuficientes 5 años y no más.”<sup>167</sup>

Por otro lado, se presentan en el Gráfico 20 los factores que promueven el uso y la producción de los biocombustibles que serán detallados en las dimensiones social, ambiental y económica en términos de beneficios, ventajas, desventajas y limitaciones.

**Gráfico 20.** Factores que promueven el desarrollo de los biocombustibles



**Fuente:** Extraído de PALACIOS LOZANO, María Teresa, *et al.* Evaluación ambiental estratégica de políticas, planes y programas de biocombustibles en Colombia, con énfasis en biodiversidad. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008. p. 31 y editado por el autor.

### 5.1 PROS Y CONTRAS DEL USO Y PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN EL ÁMBITO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL

La sustitución de los combustibles fósiles por otros de origen vegetal, cobra una gran importancia en nuestros días por varias razones fundamentales que mencionan Amarís, Manrique y Jaramillo<sup>168</sup>: provienen de una fuente renovable, son

<sup>167</sup> ACOSTA M., Amylkar. Los Biocombustibles son parte de la solución. En: CATORCE 6. 1 de agosto de 2017.

<sup>168</sup> AMARÍS, Johana Marcela; MANRIQUE, Diego Antonio y JARAMILLO, Julián Ernesto. Op. cit.,

un instrumento de lucha contra el deterioro medioambiental, y son un factor de desarrollo de la agricultura e industrias derivadas del sector automotriz y de transporte.

No obstante, es preciso tener en cuenta que la sustitución de carburantes por biocarburantes en el transporte no necesariamente elimina por completo las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes al ciclo completo, es decir, incluyendo todas las actividades necesarias para obtener cultivos energéticos y producir biocarburante a partir de ellos. La investigación realizada sobre esta cuestión ha crecido exponencialmente en los últimos años, y los resultados sobre el saldo de emisiones son diversos y no siempre consistentes, aunque coinciden en señalar que la segunda y posteriores generaciones de producción de biocarburantes estarán mucho más cerca de conseguir un saldo neto nulo.<sup>169</sup>

### **5.1.1 Dimensión económica**

“Los biocombustibles son una oportunidad para la diversificación de la agricultura. En cuanto a la estructura de industria de transformación, se anota que la producción de etanol tiende a la integración vertical con los cultivos y a estar sujeta a economías de escala en producción. La producción de biocombustibles puede tener impactos fiscales por las exenciones de impuestos y otorgamiento de subsidios a los productores de materia prima y producto final”<sup>170</sup>. En Colombia existen subsidios y exenciones a los impuestos a las industrias que generen un compromiso con la producción de biocombustibles, y que además lo promuevan de forma adecuada.

#### **5.1.1.1 Beneficios**

“Los biocombustibles tienen el potencial de incrementar los ingresos por exportaciones, de incrementar los ingresos de los campesinos y de obtener beneficios ambientales”<sup>171</sup>. Además “fomentan el crecimiento económico en regiones agrícolas por la creación de demanda de cultivos locales”<sup>172</sup>.

De otra parte, el cultivo de caña representa [...] el 3.71% del PIB agrícola. Esta agroindustria genera más de 110 mil empleos formales directos e indirectos permanentes, principalmente en el campo, sobre todo en las zonas en donde el conflicto social y armado ha sido más agudo y cruento. De allí la importancia que el Gobierno Nacional relance y le dé un renovado impulso al uso de los biocombustibles en Colombia, pues [...] son parte de la solución a la problemática social, ambiental y energética del país y lejos están de ser el problema como algunos lo sugieren. Hoy por hoy la participación de la biomasa en la matriz

---

<sup>169</sup> SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Op. cit., p.72

<sup>170</sup> CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Op. cit., p. 90.

<sup>171</sup> Consorcio CUE. Op. cit., p. 2.

<sup>172</sup> GONZÁLEZ MERINO, Arcelia y CASTAÑEDA ZAVALA, Yolanda. Biocombustibles, biotecnología y alimentos. En: NUEVA ÉPOCA. Mayo de 2008. Vol. 57, p. 60.

energética del país es del 0.8%, lo cual se debe en gran medida a la industria de los biocombustibles<sup>173</sup>.

Con la exención de impuestos y el incremento de subsidios para las industrias, el país genera productividad en materia de biocombustibles y permite incentivar la cadena de producción del bioetanol, por esa razón, los beneficios económicos en Colombia demuestran que aunque hasta ahora se estén implementando regulaciones para mejorar el sector económico, el impacto en el país es fuerte y genera el uso masivo del bioetanol a corto y mediano plazo.

#### **5.1.1.2 Ventajas**

En primer lugar, se puede mencionar del etanol que “A diferencia de las energías tradicionales, una ventaja estratégica que suele destacarse es que los biocombustibles serían una fuente energética renovable. Otra ventaja sería que se puede seleccionar y modificar genéticamente para adaptarla a diferentes ambientes y propósitos”<sup>174</sup>.

Además, “el alcohol carburante no contiene azufre, lo cual tiene un efecto positivo para el medio ambiente, por el efecto de dilución y en términos de costos ya que, de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), los costos incrementales para reducir el contenido de azufre de gasolinas están en el orden de los 10 centavos de dólar por galón. En el caso de Colombia, estos costos ascienden a 18 centavos de dólar por galón. Es por esto que, en el país, gracias al bioetanol, se presenta un ahorro por ese concepto”<sup>175</sup>.

Otra ventaja que se plantea es que el bioetanol puede ser adaptado en Colombia para ser exportado a corto plazo, “Se dice que existen recursos naturales para autoabastecerse y exportar Y la expectativa de un precio de materias primas elevado a nivel internacional, con un valor agregado exportable que se añade, sería sinónimo de una entrada de divisas importante. De ahí que la posibilidad de exportar agrocombustibles sea uno de los argumentos fundamentales en los que se basan quienes consideran este producto como un potencial instrumento para el desarrollo económico”<sup>176</sup>.

#### **5.1.1.3 Desventajas**

Teniendo en cuenta que la producción a escala industrial del etanol en Colombia es relativamente nueva, es necesario incorporar nuevos terrenos agrícolas y

---

<sup>173</sup> ACOSTA M., Amylkar. El reto de los biocombustibles. En: WWW.AMYLKARACOSTA.NET. 22 de diciembre.

<sup>174</sup> SAIDÓN, Mariana. Biocombustibles: Actores y debates en América Latina. En: ECONOMÍA. Junio de 2009. Vol. XXXIV, p. 179.

<sup>175</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 149. Op. cit., p. 4.

<sup>176</sup> SAIDÓN, Mariana. Op. cit., p. 180.

tecnologías que pueden llegar a generar mayores costos que los que se vienen manejando en la producción de la gasolina:

La producción de biocombustibles aún cuesta considerablemente más que la de combustibles fósiles, incluso teniendo en cuenta el fuerte incremento en los precios del petróleo. Para la producción, almacenamiento y transporte de biocombustibles se requieren grandes cantidades de insumos (además de la tierra y el agua) cuya producción y transporte también demanda cantidades de energía. Se necesita energía para sembrar, producir fertilizantes o pesticidas, cosechar, transportar y procesar los granos o plantas hasta su forma final de biocombustible.<sup>177</sup>

Por otro lado, “Los beneficios de la primera generación han sido oscurecidos por sus problemas, que incluyen: el aumento de precios y volatilidad de los precios de los alimentos, debido a la competencia entre cultivos”<sup>178</sup>, por lo que “si los alimentos se encarecieran sustantivamente en los próximos años, también aumentarían los precios de los biocombustibles, que tienen que competir con los combustibles fósiles para entrar en el mercado”<sup>179</sup>, esto influiría no sólo en el sector económico sino que además, crea una confrontación en el aspecto social con la seguridad alimentaria.

#### **5.1.1.4 Limitaciones**

“Los precios del petróleo, como todos, son cíclicos. Aunque a largo plazo se registra una tendencia ascendente, la misma no elimina las oscilaciones cíclicas y en promedio, a siete u ocho años de alzas de precio sigue un período semejante de bajas. Desde cualquier punto de vista que se mire, el éxito de los biocombustibles depende de la obligación de usarlos, de las exenciones y subsidios del estado, del sobreprecio a los consumidores, del desconocimiento de los derechos de los trabajadores y de mil formas de arrebatarse a las comunidades rurales el uso de sus tierras”<sup>180</sup>.

La falta de credibilidad en esta alternativa energética como promesa para el desarrollo económico es consecuencia, por un lado, de las amplias y crecientes necesidades energéticas y, por otro, a la acotada disponibilidad de tierras para producción de biocombustibles. Sobre todo, teniendo en cuenta la necesidad de disponer de espacio para la producción de alimentos. A su vez, es difundido y aceptado por la mayoría de los actores que, si a nivel mundial, se dispusiera de todos los aceites vegetales, de todo el maíz y de toda la caña que hoy se produce para fabricar biocombustibles, se reemplazaría sólo un 12% de la producción actual de gasoil. Otros, que atenúan los discursos prometedores de la producción masiva de biocombustibles como estrategia de desarrollo, explican que si se tendiera al monocultivo podría existir dependencia económica y climática y, a su vez, se enfatiza con frecuencia que las nuevas tendencias de demanda en el

---

<sup>177</sup> SALINAS CALLEJAS, Edmar y GASCA QUEZADA, Víctor. Los biocombustibles. En: EL COTIDIANO. Octubre de 2009.vol. 157, p. 79.

<sup>178</sup> CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Op. cit., p. 19.

<sup>179</sup> SAIDÓN, Mariana. Op. cit., p. 181.

<sup>180</sup> MONDRAGÓN, Héctor. Caña de azúcar, palma aceitera, biocombustibles y relaciones de dominación. En: REVISTA Etnias&política. Diciembre de 2007. p. 22-35.

mercado de alimentos parecen prometedoras a futuro y quizá convenga orientar hacia allí la producción<sup>181</sup>.

## 5.1.2 Dimensión social

“Los incrementos y la volatilidad de los precios tienen un impacto negativo, especialmente sobre los sectores de menores ingresos”<sup>182</sup> en el ámbito económico y social, del mismo modo, la CEPAL<sup>183</sup> asevera que a concentración de la propiedad que puede requerirse para lograr economías de escala puede crear conflictos sociales.

### 5.1.2.1 Beneficios

“La industria de biocombustibles puede producir importantes subproductos o externalidades positivas, tales como: Energía (cogeneración con bagazo de caña de azúcar), créditos de carbono (para sustitución de combustibles, tratamiento de aguas residuales y tratamiento de vinazas), alimento animal (residuos de procesamiento de soya, remolacha o yuca), empleos en áreas rurales y generar nuevas oportunidades a las regiones que está actualmente bajo el flagelo de la producción de cultivos ilícitos y actividad de la guerrilla”<sup>184</sup>.

La cadena productiva del etanol genera una serie de empleos diversos (calificados y no calificados, agrícolas e industriales, directos e indirectos etc.), pero el principal impacto en el empleo es percibido en los cultivos de caña de azúcar, en el sector agrícola. En los cultivos de caña de azúcar la cantidad y el tipo de mano de obra requerido varía de manera significativa dependiendo del nivel de mecanización del cultivo. Por un lado, en los cultivos tradicionales no mecanizados la intensidad de mano de obra es mayor por las labores de corte y la mayoría de los empleos son no calificados. Por otra parte, los cultivos mecanizados son menos intensivos en mano de obra y se necesitan trabajadores con cierto grado de conocimientos técnicos que les permitan operar la maquinaria en el cultivo<sup>185</sup>.

Se estima que en un cultivo no mecanizado se emplean aproximadamente 0.23532 empleos directos por hectárea (teniendo en cuenta las labores asociadas a alistamiento del terreno, labores culturales y labores de cosecha), mientras que en un cultivo mecanizado se generan aproximadamente 0.028 empleos por hectárea, un 12% del total de los empleos generados en un cultivo tradicional no mecanizado. Esto se debe a que para la cosecha manual se requieren aproximadamente 40 personas por hectárea durante 8 horas, mientras la labor mecanizada requiere en promedio 5 personas por hectárea durante 4 horas. En Colombia un 25% de los cultivos se encuentran mecanizados actualmente, pero la tendencia es a que el trabajo de corte se mecanice cada vez más.<sup>186</sup>

---

<sup>181</sup> SAIDÓN, Mariana. Op. cit., p. 179.

<sup>182</sup> CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Op. cit., p. 25.

<sup>183</sup> Ibid., p. 25.

<sup>184</sup> Consorcio CUE. Op cit., p. 2.

<sup>185</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op cit., p. 63.

<sup>186</sup> Ibid., p. 63.

El desarrollo de nuevas plantaciones y de plantas productoras de etanol pueden generar nuevas dinámicas en la economía rural y nacional, reincorporando a la economía vastas extensiones de tierras improductivas o con usos no sostenibles, que favorecerían la creación de empleos con una repercusión en la calidad de los empleados y sus hogares, contribuiría a desarrollos de infraestructura y desarrollos tecnológicos y permitiría que estas dinámicas se dieran en zonas marginadas en las cuales la población es vulnerable y en muchos casos ha sido afectada por la violencia. Adicionalmente, uno de los objetivos que se pretende alcanzar con la política es generar una mayor ocupación lícita y pacífica del territorio nacional, generando mayor seguridad dado el debilitamiento de los cultivos ilícitos.<sup>187</sup>

El objetivo de fomentar los cultivos agrícolas en terrenos improductivos o que no han sido manipulados por apropiaciones ilícitas o por ser terrenos baldíos, permite dar una caracterización adicional a los suelos colombianos como un plus para generar mayores cantidades de cultivos apropiados para producir bioetanol.

### 5.1.2.2 Ventajas

Como primera instancia es necesario aclarar que la producción de bioetanol en Colombia es netamente enfocada al uso como aditivo en la gasolina para producir las mezclas E5 y E10 que hoy en día son populares en el mercado. Sin embargo, aunque muchos biocombustibles aún no han sido comprobados, el etanol derivado de la caña de azúcar y del maíz, tiene un largo historial como aditivo en la gasolina. El etanol derivado de la caña de azúcar ha tenido la mejor relación de costo-eficacia y pocos países poseen la combinación adecuada de suelo, clima, tierra disponible y bajos costos laborales para el cultivo de la caña como lo ha sido Colombia.

### 5.1.2.3 Desventajas

En algunos casos, la expansión de la frontera agrícola genera condiciones sociales particulares, pues determina la exclusión de comunidades que han vivido tradicionalmente de los montes y bosques nativos. Por otra parte, si bien hay quienes expresan que producir biocombustibles generaría puestos de empleo adicionales, debido a la generación de una cadena de valor alrededor de ellos, también hay otros que ven límites en este sentido, sobre todo si se utilizan ciertas materias primas en particular que requieren procedimientos intensivos en tecnología y no en mano de obra.<sup>188</sup>

“Por otra parte, existen grandes preocupaciones sobre el posible impacto negativo que el uso de biomasa para la producción de combustibles puede tener sobre la seguridad alimentaria, pues este nuevo uso que se le puede dar a los *commodities* agrícolas introduce un nuevo determinante en el mercado de alimentos que puede afectar tanto su disponibilidad como su precio”<sup>189</sup>.

---

<sup>187</sup> Ibid., p. 62.

<sup>188</sup> SAIDÓN, Mariana. Op. cit., p. 183.

<sup>189</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 22.

Finalmente, el tema social que ha cobrado tal vez el lugar más importante en las discusiones actuales es el de la disyuntiva “Energía versus Alimentos”. Cuando la producción de biocombustibles se realiza a partir de cultivos generados específicamente para tal fin, y no con restos de biomasa producida en otras actividades, el suelo cultivable disputa su asignación entre alimentos y biocombustibles. La consecuencia de esta presión sobre el agro sería una disminución en la cantidad y un aumento en el precio de los alimentos. Por su parte, empresarios vinculados a la producción de biocombustibles, junto con consultores que se ocupan de sus negocios, argumentan que “Energía versus Alimentos” es una falsa disyuntiva<sup>190</sup>. Según Saidón<sup>191</sup>, académicos que aceptan la validez de la disyuntiva, conciben como una oportunidad económica el desarrollo de los biocombustibles y proponen generarlos con materias primas que dejen de competir con los alimentos.

#### **5.1.2.4 Limitaciones**

La expansión de la producción y el uso de etanol han estado frenadas por la previsión de una falta de demanda a futuro. “Factores como la reducción en el consumo de gasolina por la conversión a gas natural vehicular, el desmonte de subsidios a los combustibles, la mayor eficiencia del parque vehicular a gasolina, la mayor penetración de vehículos que utilizan diésel (ACPM) por su eficiencia y las medidas del Pico y Placa, han sido determinantes”<sup>192</sup>.

#### **5.1.3 Dimensión medioambiental**

La CEPAL<sup>193</sup> afirma que la rotación de cultivos y la agricultura orgánica y de bajo impacto en arado pueden ser las soluciones sostenibles en algunas regiones de Colombia, sin embargo, las presiones comerciales pueden conducir al deterioro de los ecosistemas.

Por otro lado, “El uso intensivo del suelo y del agua, y el impacto de los monocultivos sobre la biodiversidad pueden ser nocivos y pueden estar estimulados por la ausencia de cobros por servicios ambientales”<sup>194</sup>.

##### **5.1.3.1 Beneficios**

“El etanol es una alternativa amigable con el ambiente, pues es una fuente de energía renovable y sostenible que por sus características ayuda a mitigar los efectos del calentamiento global. Es un combustible natural biodegradable, el 85%

---

<sup>190</sup> SAIDÓN, Mariana. Op. cit., p. 183.

<sup>191</sup> Ibid., p. 184.

<sup>192</sup> MARTÍNEZ TORRES, Hernán. Op. cit.

<sup>193</sup> CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Op. cit., p. 25.

<sup>194</sup> Ibid., p. 25.

se degrada aproximadamente en 28 días, mientras que los combustibles fósiles pueden durar años para degradarse”<sup>195</sup>.

Existen diferentes mezclas que se han planteado en Colombia una de ellas es la E10, como ya se había mencionado, “Al utilizar una mezcla del 10% de etanol se produce una reducción de emisiones de CO entre 22 y 50% en vehículos de carburador, así como una disminución de hidrocarburos totales ente 20 y 24%. Consigo mejoraría la calidad de vida, ya que basándose en la cuestión ambiental del planeta, con solo 10% de etanol en la gasolina (E10), se pueden disminuir en 27% las emisiones de monóxido de carbono en carros nuevos, y 20% las emisiones de hidrocarburos”<sup>196</sup>.

Además, “la agroindustria de los biocombustibles en Colombia ha contribuido con la reducción de 35% de la concentración del material particulado PM10, entre 80% y 50% de la concentración SO<sub>2</sub> y CO, siendo estos contaminantes los que mayor influencia tienen con la mala calidad del aire. En 2014 el uso de biocombustibles redujo las emisiones de GEI en un estimado de 2,5 millones de toneladas, reducción que al 2020 podría alcanzar unas 17 millones de toneladas”<sup>197</sup>.

“De acuerdo con un estudio desarrollado en Colombia en 2011 por parte del consorcio colombo-suizo CUE y financiado por el BID y los Ministerios de Minas y Energía, Agricultura y Desarrollo Rural, así como el de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), con base en un análisis del ciclo de vida, la reducción de GEI del etanol de caña de azúcar en Colombia con respecto a la gasolina es del 74% de las emisiones en comparación con el combustible de origen fósil. Gracias a ello, con las mezclas actuales, los biocombustibles ya están contribuyendo a reducir 2.5 millones de toneladas/año, equivalentes a 6 por ciento de la meta al año 2030 a que se comprometió Colombia en la Cumbre de Paris (COP21) a finales de 2015”<sup>198</sup>.

“Colombia, aunque no es un gran emisor de GEI, pues sólo participa con el 0,4% de las emisiones totales a nivel mundial y ocupa el puesto 40 en el ranking global, sí preocupa el ritmo de su crecimiento en los últimos años. En efecto, entre 1990 y el 2010 pasó de emitir GEI 165 millones de toneladas a 220 millones. Si el país no hiciera nada, la proyección para el año 2030 sería de 333 millones de toneladas. El objetivo, entonces, es reducir 66.5 millones con el uso de energías renovables”<sup>199</sup>.

---

<sup>195</sup> El Heraldo. Colombia tiene la planta más moderna del mundo para la producción de etanol. El Heraldo. Agosto 27 de 2015. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/economia/colombia-tiene-la-planta-mas-moderna-del-mundo-para-la-produccion-de-etanol-213970>

<sup>196</sup> CORTÉS MARÍN, Elkin; MAHECHA SUAREZ, Héctor y PARDO CARRASCO, Sandra. Biocombustibles y autosuficiencia económica. En: DYNA. vol. 76, p. 101. 2009.

<sup>197</sup> Fedebiocombustibles. Federación Nacional De Biocombustibles. 2015. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/index.php>.

<sup>198</sup> ACOSTA M., Amylkar. Los Biocombustibles son parte de la solución. En: CATORCE 6. 1 de agosto de 2017.

<sup>199</sup> ACOSTA M., Amylkar. El reto de los biocombustibles. Op. cit.

En conclusión, “dentro de los beneficios que ha traído al país el uso de biocombustibles en el sector transporte, está el hecho de que las mezclas actuales disminuyen las emisiones de gases efecto invernadero en más de 2,5 millones de toneladas de gas carbónico, lo que equivale a sembrar 190 millones de árboles en un año”<sup>200</sup>. Claro está, que “el beneficio ambiental se puede observar [...] cuando se realiza la combustión en los motores. Por cada kg de petróleo se emiten 7.14 kg de CO<sub>2</sub> y por cada kg de alcohol quemado, se emiten 0,956 kg de CO<sub>2</sub>, esto permite indicar que el petróleo emite siete veces más gases efecto invernadero respecto al alcohol”<sup>201</sup>, y confirma que el etanol mejora las características del ambiente gracias a su poder de reducir los gases de efecto invernadero.

### 5.1.3.2 Ventajas

El etanol “al ser también un aditivo oxigenante, reemplaza a aditivos nocivos para la salud humana como el plomo<sup>202</sup>, que afectan la capacidad mental en niños; y reemplaza “el MTBE (Metil ter-butil éter), que ha incrementado el porcentaje de personas afectadas por cáncer”<sup>203</sup>.

Hay dos características importantes que constituyen una ventaja al usar bioetanol, según el IICA<sup>204</sup>:

- El octanaje del etanol puro es de 113 y se quema mejor a altas compresiones que la gasolina, por lo que da mayor poder a los motores.
- El etanol actúa como un anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío y previniendo el congelamiento, esto permite que exista una mayor lubricidad en el motor de combustión interna.

Para Fedebiocombustibles<sup>205</sup>, la característica esencial que favorece la mecánica del vehículo al usarse en él el bioetanol es que aumenta un par de puntos el octanaje de cada gasolina. Igualmente, baja la temperatura de combustión, lo cual favorece la posibilidad de detonación y pistoneo. Por consiguiente, hay un ligero aumento en el rendimiento y la potencia del motor”.

---

<sup>200</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 147. Op. cit., p. 2.

<sup>201</sup> Revista Dinero. Ingenios azucareros le apuestan al etanol. Revista Dinero. Junio 3 de 2009. Disponible en: <http://www.dinero.com/negocios/articulo/ingenios-azucareros-apuestan-etanol/74916>

<sup>202</sup> IICA. Bases del programa hemisférico de agroenergía y biocombustibles. San José, Costa Rica: 2007.

<sup>203</sup> Ibid.

<sup>204</sup> IICA. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. Op. cit., p. 5.

<sup>205</sup> El Tiempo. El etanol es fuente alterna de combustible. Fedebiocombustibles. s.f. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-108.htm>

Por otro lado, la Revista Dinero<sup>206</sup> asegura que las plantas, bien sea un árbol de caña o las plantas de la yuca, generan la posibilidad de capturar el dióxido de carbono que se emite con la combustión de los biocombustibles., convirtiendo al proceso en un círculo virtuoso, es decir que ellas capturan la contaminación que produce el biocombustible al ser usado, aspecto que no pasa al producir combustibles fósiles.

Para concluir, si bien los defensores de los biocombustibles utilizan frecuentemente el prefijo Bio, como sinónimo de que éstos tienen consecuencias medioambientales positivas, está actualmente en debate si los beneficios ambientales de producirlos y utilizarlos superan o no sus costos. En el discurso de los gobiernos de la mayor parte de los países europeos, así como de grandes empresas multinacionales dedicadas a la biotecnología y de algunos organismos internacionales, uno de los aspectos fundamentales que promovió el desarrollo de los biocombustibles fue la proclamación de una ventaja ambiental y para la salud, pues generarían menos emisiones nocivas respecto de los combustibles tradicionales, y permitirían con esto, atenuar el cambio climático global. Al respecto, suele afirmarse que podría no emitirse dióxido de carbono neto haciendo que la nueva planta vuelva a absorberlo. También se alega que los biocombustibles permitirían bajar el tenor de azufre emitida y evitar con esto la lluvia ácida<sup>207</sup>.

### **5.1.3.3 Desventajas**

Existen instituciones ambientalistas que argumentan que algunos biocombustibles generan más emisiones y afectan la salud y el medio ambiente, pues crean una polución más pulverizada y liberan más contaminantes que destruyen la capa de ozono.

“Con relación a la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), generadores del Cambio Climático Global, suele afirmarse que el bioetanol es generador de GEI significativo e incluso podría exceder a las fuentes energéticas tradicionales. Los biocombustibles son emisores de dióxido de carbono por la combustión que se genera al producirlos. Sin embargo, el grado de emisiones varía según su proceso de producción y los insumos utilizados”<sup>208</sup>

“Si se consideran también otros indicadores ambientales adicionales a la emisión de GEI y la demanda de energía no renovable, los biocombustibles muestran mayores impactos sobre acidificación, eutrofización, y eco toxicidad, principalmente causados por el uso de fertilizantes y pesticidas. Estos efectos negativos pueden ser minimizados con la implementación de las mejores prácticas agrícolas y

---

<sup>206</sup> Revista Dinero. Cerca de 100 mil empleos generará industria de biocombustibles. Agosto 7 de 2007. Disponible en: <http://www.dinero.com/actualidad/noticias/articulo/cerca-100-mil-empleos-generara-industria-biocombustibles/48023>

<sup>207</sup> SAIDÓN, Mariana. Op. cit., p. 183.

<sup>208</sup> Ibid., p. 183.

considerando tratamientos alternativos, tales como control biológico de insectos y plagas”<sup>209</sup>.

En lo que respecta a “la utilización de biocombustibles en automóviles, se ha detectado un efecto ambiental negativo cuando el tráfico es lento y se usa etanol. Además, si los motores no están adecuadamente calibrados, se incrementan las emisiones de micropartículas orgánicas sobre el aire”<sup>210</sup>.

Por otra parte, se ha manifestado que la deforestación, la utilización de ciertos cultivos que absorben poca agua y la utilización organismos genéticamente modificados tendrían consecuencias negativas sobre la biodiversidad e incrementarían el riesgo de catástrofes ambientales como los deslizamientos y las inundaciones. A su vez, el monocultivo junto con el uso de agroquímicos podría degradar los suelos, limitar así su capacidad de producción e impactar negativamente la biodiversidad. Si los biocombustibles son derivados de celulosa de árboles o de pastos perennes adecuadamente manejados en cultivos diversificados y producidos en suelos en proceso de desertificación, podría disminuir la erosión e incluso contribuir a su restauración<sup>211</sup>.

#### **5.1.3.4 Limitaciones**

“La simplicidad de las moléculas de alcohol con respecto a la gasolina hace que las mezclas en referencia generen menores emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Sin embargo, esto no significa que el uso masivo de etanol represente una solución para los severos problemas de contaminación atmosférica que enfrentan actualmente varios de los grandes centros urbanos del país”<sup>212</sup>.

Por eso, existen varias controversias sobre los beneficios y costos de la producción y consumo de biocombustibles en el mundo. Las dos mayores críticas a los biocombustibles son la presión que su producción puede hacer sobre el uso de suelo, incentivando la deforestación y aumentando el precio de los alimentos, y el alto nivel de emisiones ligadas a su producción. Por ejemplo, la producción de etanol a partir de maíz puede generar altas cantidades de GEI a través del uso de tractores, fertilizantes y plantas de procesamiento. En particular deben ser tenidos en cuenta temas asociados al balance energético (ciclo de vida), las emisiones locales y globales y la expansión de la frontera agrícola, los cambios de uso de suelo y los impactos que esto tiene sobre la biodiversidad y la calidad del suelo y de los recursos hídricos.<sup>213</sup>

Por otro lado, “en relación con especies amenazadas, las principales presiones identificadas fueron el uso de agroquímicos, la pérdida de hábitat, el deterioro de los ecosistemas y la caza, presiones que se pueden ver intensificadas por la expansión de los cultivos para producir materias primas para biocombustibles. Los

---

<sup>209</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 60.

<sup>210</sup> SAIDÓN, Mariana. Op. cit., p. 183.

<sup>211</sup> Ibid., p. 183.

<sup>212</sup> El Tiempo. ¿Qué Tan Bueno Es El Etanol?. Op. cit.

<sup>213</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 23.

departamentos en donde se presentarían mayores amenazas sobre dichas especies dadas por la expansión de los cultivos son en primer lugar Valle del Cauca, seguido de Cauca y Nariño”<sup>214</sup>.

La producción de biocombustibles desplaza tierra y granos de la producción de alimentos, y al subir los precios de éstos, se generan incentivos para expandir las fronteras agrícolas alrededor del mundo. Este proceso libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera al descomponerse o quemarse la materia vegetal que cubría esos terrenos. Esto puede suceder de manera directa, en la medida en que los cultivos que remplazan el ecosistema previo se utilizan para biocombustibles, o de manera indirecta, si tierra que antes se utilizaba para otros cultivos se asigna para insumos de biocombustibles y esos otros cultivos comienzan entonces a producirse en zonas que antes eran ecosistemas naturales. Adicionalmente, en la medida en que nuevos predios se abren a la agricultura aumenta el riesgo de que predios aledaños también sean deforestados para actividades agropecuarias porque se facilita el acceso a ellos. Finalmente, al abrir la tierra en las tareas de preparación para la agricultura se libera carbono que hasta entonces se encontraba confinado en el suelo<sup>215</sup>.

---

<sup>214</sup> PALACIOS LOZANO, María Teresa, *et al.* Op. cit., p. 44.

<sup>215</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit p. 26.

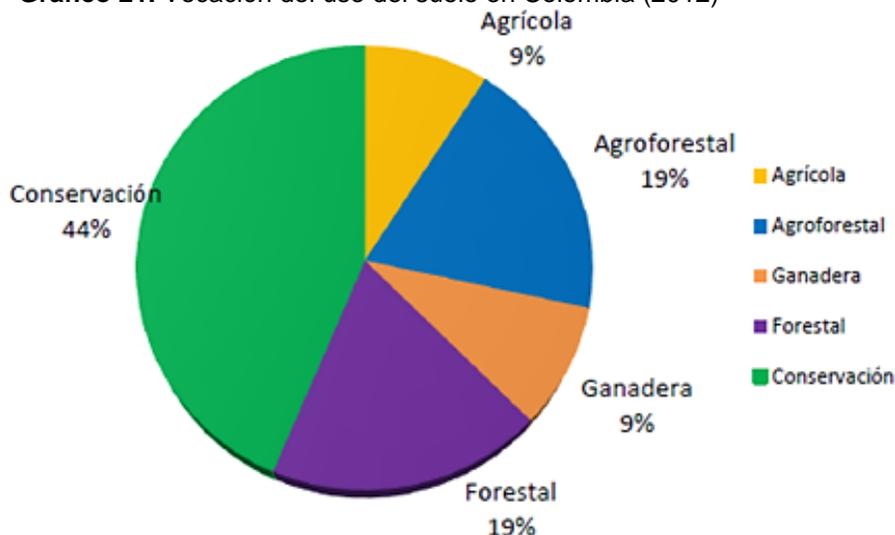
## 6. CAMBIO DE USO DE SUELO

El cambio de uso de suelos agrícolas a energéticos se presenta cuando se plantea obtener energía en vez de alimentos para obtener beneficios económicos y suplir las exigencias energéticas en el país. Sin embargo, “al cambiar el uso de la tierra, se reduce la diferencia de tierras entre lo que se necesita para la producción de biocombustibles y lo que se destina actualmente”<sup>216</sup>.

La obtención de las materias primas para los biocombustibles implica utilizar tierras arables o desplazar las tierras de su uso original, con el fin de obtener la cantidad necesaria para suplir las exigencias de los programas de crecimiento de bioenergía. El empleo de tierras para la producción de materias primas de biocombustibles, que [...] han sido destinadas para otros usos, se conoce como cambio en el uso de la tierra. El reemplazo de bosques y tierras marginales y la rotación de cultivos con el fin de producir biocombustibles se consideran actividades que producen emisiones de GEI por cambio en el uso de la tierra. [...] El cambio en el uso de la tierra es una de las variables de mayor incertidumbre en la producción y empleo de biocombustibles<sup>217</sup>.

En el Gráfico 21 se tienen en cuenta la vocación del uso del suelo en Colombia con un 9 por ciento para el sector agrícola y un 19 por ciento para el sector agroforestal que influyen en el campo de los biocombustibles.

**Gráfico 21.** Vocación del uso del suelo en Colombia (2012)



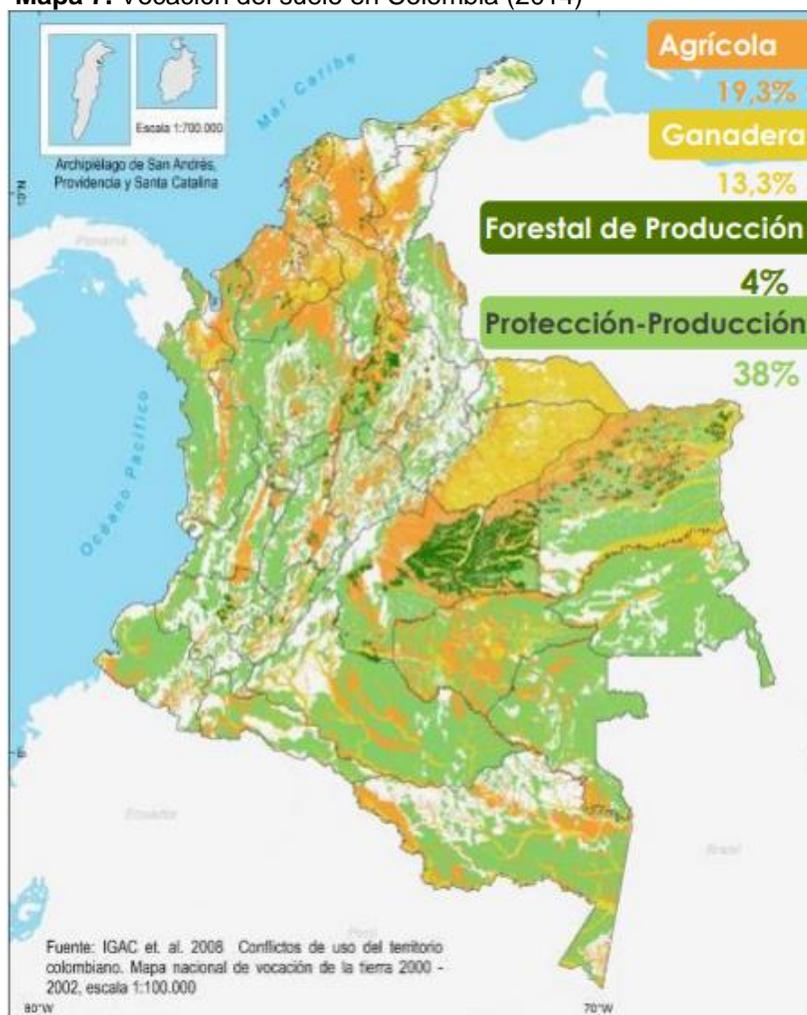
**Fuente:** GARCÍA, Helena y CALDERÓN, Laura. Evaluación de la política de los biocombustibles en Colombia. Colombia: 2012. p. 97.

<sup>216</sup> MARTÍNEZ JARAMILLO, Juan Esteban. Op. Cit., p. 41.

<sup>217</sup> VALENCIA BOTERO, Mónica Julieth; RINCÓN PÉREZ, Luis Eduardo y CARDONA ALZATE, Carlos Ariel. Efecto del cambio en el uso de la tierra devenido del cultivo de pala aceitera para la producción de biodiésel en Colombia. BOGOTÁ (COLOMBIA). Junio de 2014. Vol. 18, No. 1, p. 93.

Según la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)<sup>218</sup>, en Colombia la vocación del suelo (Mapa 7) destinada para actividades agrícolas se caracteriza en un 19.3 por ciento y 42 por ciento con vocación para plantaciones forestales. La cobertura de la tierra (Mapa 8) está dedicada a cultivos agrícolas en un 4.6 por ciento.

**Mapa 7.** Vocación del suelo en Colombia (2014)



**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Unidad De Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Colombia: 2014. p. 13. Disponible en: [http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA\\_Oferta\\_Institucional.pdf#search=UPRA](http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA_Oferta_Institucional.pdf#search=UPRA)

<sup>218</sup> Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Unidad De Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Colombia: 2014. p. 13. Disponible en: [http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA\\_Oferta\\_Institucional.pdf#search=UPRA](http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA_Oferta_Institucional.pdf#search=UPRA)

**Mapa 8.** Cobertura de la tierra en Colombia (2014)



**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Unidad De Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Colombia: 2014. p. 13. Disponible en: [http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA\\_Oferta\\_Institucional.pdf#search=UPRA](http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA_Oferta_Institucional.pdf#search=UPRA)

“De 21,5 millones de ha aptas para agricultura solo se cultivan 4,9 millones (22,7%), lo cual indica que gran parte de la superficie potencialmente agrícola (9 millones de ha) se dedican equivocadamente a otros usos menos productivos; se destaca que 5,8 millones de ha están dedicadas a la minería y 40 millones de ha, a pastos y ganadería”<sup>219</sup>.

La vocación del suelo agrícola según UPRA depende de la distribución de 26 millones de ha que son el 23 por ciento de suelos agropecuarios colombianos,

<sup>219</sup> ÁVILA DÍAZ, Álvaro Javier y CARVAJAL ESCOBAR, Yesid. Agrocombustibles y soberanía alimentaria en Colombia. En: REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA. Enero de 2015. Vol. 24, No. 1, p. 53.

donde el 10 por ciento (11 millones de ha) son suelos con vocación agrícola (Figura 24).

**Figura 24.** Suelos agropecuarios en Colombia (2015)



**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Uno de los pilares del plan ‘Colombia siembra’ es sembrar lo que toca, donde toca. Colombia. Octubre 5 de 2015. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Uno-de-los-pilares-del-plan-Colombia-Siembra-es-sembrar-lo-que-toca,-donde-toca-MinAgricultura.aspx>

Una de las consecuencias que genera la producción de biocombustibles es la alteración que sufren los ecosistemas que son intervenidos para cultivar materias de origen vegetal que satisfagan las demandas energéticas. Esas alteraciones afectan de cierta forma a las especies, por lo que muchas organizaciones ecologistas internacionales y de localidades afectadas, esperan una revisión y la propuesta de alternativas tendientes a disminuir y posteriormente eliminar o sustituir estas prácticas por otras más amigables con el ambiente y la vida en general.<sup>220</sup> La sustitución de ecosistemas complejos pro monocultivos trae pérdida en biodiversidad, pérdida de los servicios ambientales asociados a estos ecosistemas, aumento en el uso de fertilizantes y plaguicidas, mayor degradación y erosión de suelos e introducción y propagación de organismos genéticamente modificados así como de especies exóticas.<sup>221</sup>

“El impacto generado por los desplazamientos depende en gran medida de la intensidad de las actividades agropecuarias que se desplacen. Si los cultivos desplazados son intensivos y productivos, el desplazamiento puede tener efectos negativos disminuyendo la oferta de alimentos y aumentando los precios de los mismos. Si por el contrario, se desplazan actividades extensivas, los efectos son

<sup>220</sup> GARCÍA, Vilma. Los biocombustibles y la perspectiva de su futuro. Disponible en: <http://etecnologia.com/medio-ambiente/biocombustibles>. 2010.

<sup>221</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 59.

menores y pueden llegar a ser compensado mediante la intensificación de las actividades existentes”<sup>222</sup>.

Desde el punto de vista ambiental, las situaciones posibles van desde los impactos netamente negativos por la ocupación y tala (y/o quema) de bosques hasta situaciones potencialmente positivas como la utilización de terrenos degradados mediante la utilización de especies arbóreas. En otros casos la tierra ya se cultiva y cambia la producción o incluso se mantiene el mismo cultivo y solo cambia su uso. Cuando el cultivo se asocia a deforestación, se producen los impactos ambientales negativos de pérdida de biodiversidad, afectación de ciclos hídricos y erosión. La gravedad de estos impactos depende de la magnitud de la expansión de los cultivos y de los bienes y servicios ambientales que proveen los ecosistemas afectados.<sup>223</sup>

Sin embargo, “la normatividad colombiana ordena que ni un centímetro de selva o de las áreas alimentarias sea utilizado para producir biocombustibles. Recomienda sí que aquellas zonas ganaderas subutilizadas o de suelos pobres, se aprovechen para ampliar la frontera agrícola con cultivos energéticos que sirvan como materia prima para la producción de biocombustibles”<sup>224</sup>. Es necesario que Colombia fortalezca estos requerimientos ya algunos cultivos se han realizado en zonas protegidas o zonas que no debieron ser usadas, sin tener en cuenta que en varias regiones del país existen suelos pobres y abandonados que pueden ser reutilizados para producir nuevos cultivos.

“Por el momento lo cierto es que los cultivos con potencial para la producción de biocombustibles constituyen una oportunidad para revitalizar y mejorar el nivel de vida de las comunidades rurales, y hay que aprovechar las oportunidades que se presentan. Por otra parte, se debe procurar que existan políticas adecuadas que permitan distribuir apropiadamente esos ingresos a lo largo de toda la cadena de producción”<sup>225</sup>.

## 6.1 SUELOS AGRÍCOLAS

El 30 por ciento del territorio en el país está subutilizado o sobreutilizado (principalmente por la ganadería), mientras que el 70 por ciento se usa, pero no siempre de forma eficiente. Empezando porque, de 114 millones de ha con las que cuenta el país, 26 millones tienen posibilidades para la producción agrícola, pecuaria y forestal, y solo se produce en 6,3 millones de ha (24,2 %). De los suelos netamente agrícolas, que son 11,3 millones de ha, solo se aprovecha el 35 por ciento. En contraste, hay 8 millones de ha de vocación ganadera y a las actividades

---

<sup>222</sup> Ibid., p. 88.

<sup>223</sup> GÓMEZ, José Javier; SAMANIEGO, Joseluis y ANTONISSEN, Mariana. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 37. Santiago de Chile: CEPAL, 2008. ISBN 1680-8886. p. 11.

<sup>224</sup> Fedebiocombustibles. Mitos y realidades de los biocombustibles en Colombia. Op. cit., p. 15.

<sup>225</sup> IICA. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. Op. cit., p. 10.

de pastoreo (traslado del ganado de un lado a otro) se dedican 38 millones de ha.<sup>226</sup>

“Entre muchos factores, tal vez el determinante para el uso poco eficiente del suelo agrícola en Colombia es la ausencia de una política agropecuaria integral, robusta, de largo plazo y con enfoque industrial, que permita el desarrollo de grandes proyectos inclusivos, con incorporación masiva de mano de obra local y bien remunerada”<sup>227</sup>. Los suelos agrícolas en Colombia se han destinado para cultivos alimentarios como el arroz, el cacao, el café y otros cultivos de supervivencia. Es necesario que dentro de la normativa y los planes de desarrollo en el país se plantee de forma eficiente el uso de los suelos en regiones donde la ganadería está siendo sobreutilizado el terreno y el fomento de cultivos en las regiones donde aún se mantienen terrenos abandonados que poseen características favorables para el alimento.

“La FAO, la IEA y el IPCC sugieren que para superar estos percances es necesario el incremento de los rendimientos de los cultivos, producción a escala de los cultivos y el desarrollo tecnológico. En esta aproximación sigue la convicción en la agregación de la producción alimenticia y de biomasa y que es posible tener más bioenergía conservando los mismos niveles de producción de alimentos”<sup>228</sup>.

## 6.2 SUELOS ENERGÉTICOS

Los cultivos energéticos han generado grandes expectativas en el sector de la bioenergía. En términos generales, cultivos energéticos son aquellos destinados específicamente para la producción de energía en alguna de sus formas (térmica, eléctrica o para el transporte). Se busca que la biomasa derivada de estos cultivos sea aprovechable casi en su totalidad para la producción de energía. Idealmente, los cultivos deben ser de crecimiento rápido y con características favorables para la producción de bioenergía, como una elevada productividad (con el objetivo de que la energía que se desprenda de la biomasa sea superior a la que requiere su transformación en biocombustible y a la que ha sido necesaria para su cultivo), un bajo coste unitario de producción, resistencia a las plagas, resistencia a la sequía, buena adaptación a tierras de baja productividad y que permitan el uso de tecnologías tradicionales.

Los cultivos energéticos pueden favorecer la diversificación del agro, abriendo nuevas oportunidades para los agricultores profesionales. Asimismo, constituyen en cierto modo un seguro para los productores de biocombustibles, en tanto que su disponibilidad supone una mayor garantía en el suministro. Existen además una serie de ventajas medioambientales, sociales y económicas, como son la

---

<sup>226</sup> MORALES MANCHEGO, Martha. El 65,8 % de la tierra apta para sembrar en Colombia no se aprovecha. El Tiempo. Mayo 24 de 2016. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16601436>

<sup>227</sup> Fedebiocombustibles. Boletín No. 153. En: BIOCMBUSTIBLES HOY. Agosto 3 de 2016.

<sup>228</sup> MARTÍNEZ JARAMILLO, Juan Esteban. Op. Cit., p.22.

reducción de residuos agrícolas, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y de SO<sub>2</sub>, la potenciación del desarrollo rural y la independencia energética.<sup>229</sup>

Existen cultivos en Colombia que poseen mejores balances energéticos, según el IICA<sup>230</sup>, esto demuestra la relación entre la cantidad de unidades de energía que se consumen para obtener el bioetanol y la cantidad de unidades de energía que produce el cultivo. Como ya se ha mencionado, en el país el cultivo de caña de azúcar es el que tiene un gran énfasis para producir etanol, en el Cuadro 16 se confirma que éste cultivo presenta ventajas energéticas frente al cultivo del maíz, además el balance ambiental confirma que la caña de azúcar no emite tanto CO<sub>2</sub> al ambiente como lo puede hacer la remolacha. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la paja obtiene mejor balance ambiental por lo que es necesario revisar en Colombia la obtención de bioetanol a partir de ésta materia prima.

**Cuadro 16.** Balance energético para algunos cultivos en la producción de etanol (2007)

	Etanol	
	Balance energético (Unidad retornada de energía por cada unidad de energía no renovable usada)	Trigo
Remolacha		2
Maíz		1.5
Caña de azúcar		8.3
Balance ambiental (GHG emisiones por tonelada de petróleo, en toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> )	Remolacha	2.17
	Trigo	1.85
	Caña de azúcar	0.41
	Paja	0.33

**Fuente:** IICA. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. San José, Costa Rica: 2007. p. 14.

En definitiva, “la necesidad de buscar soluciones a la seguridad energética, han transformado a los biocombustibles en una de las alternativas. Los cultivos de biomasa entran a competir por los factores de producción usados por la agricultura y también por el uso final de las materias primas, por un lado se demanda para la producción de biocombustibles y por el otro lado la alimentación humana”<sup>231</sup>.

### 6.3 VOCACIÓN DEL USO DEL SUELO PARA CULTIVAR CAÑA DE AZÚCAR

El cultivo de caña de azúcar se ha dado en primer lugar en zonas productoras de caña de azúcar en las que este tipo de plantación ya ocupaba el terreno y por lo

<sup>229</sup> SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Op. cit., p.107.

<sup>230</sup> IICA. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. Op. cit., p. 14.

<sup>231</sup> MARTÍNEZ JARAMILLO, Juan Esteban. Op. Cit., p.3.

tanto no se ha dado un cambio significativo en el uso del suelo. En segundo lugar, se han dado en zonas en las cuales la caña de azúcar no es un producto tradicional y han remplazado tierras que antes estaban destinadas principalmente a la ganadería extensiva en los municipios de Pivijay (Magdalena) y de Puerto López (Meta). [...] Antes de iniciar la producción de etanol en Colombia, la caña de azúcar fue usada para la producción de azúcar para exportación. La reducción de exportación de azúcar puede ser compensada por un incremento de plantaciones de caña en algún otro lugar. Dependiendo de los ecosistemas naturales afectados (matorrales, bosque húmedo, selva tropical), el balance de GEI del etanol de caña de azúcar es relativo al de la gasolina<sup>232</sup>.

Se relaciona en la Figura 25 la estructura agraria y la mejora energética al ser la caña de azúcar un cultivo potencial para la producción de bioetanol en América Latina. Se resaltan con color verde las características potenciales de producir bioetanol a partir del cultivo de caña en Colombia.

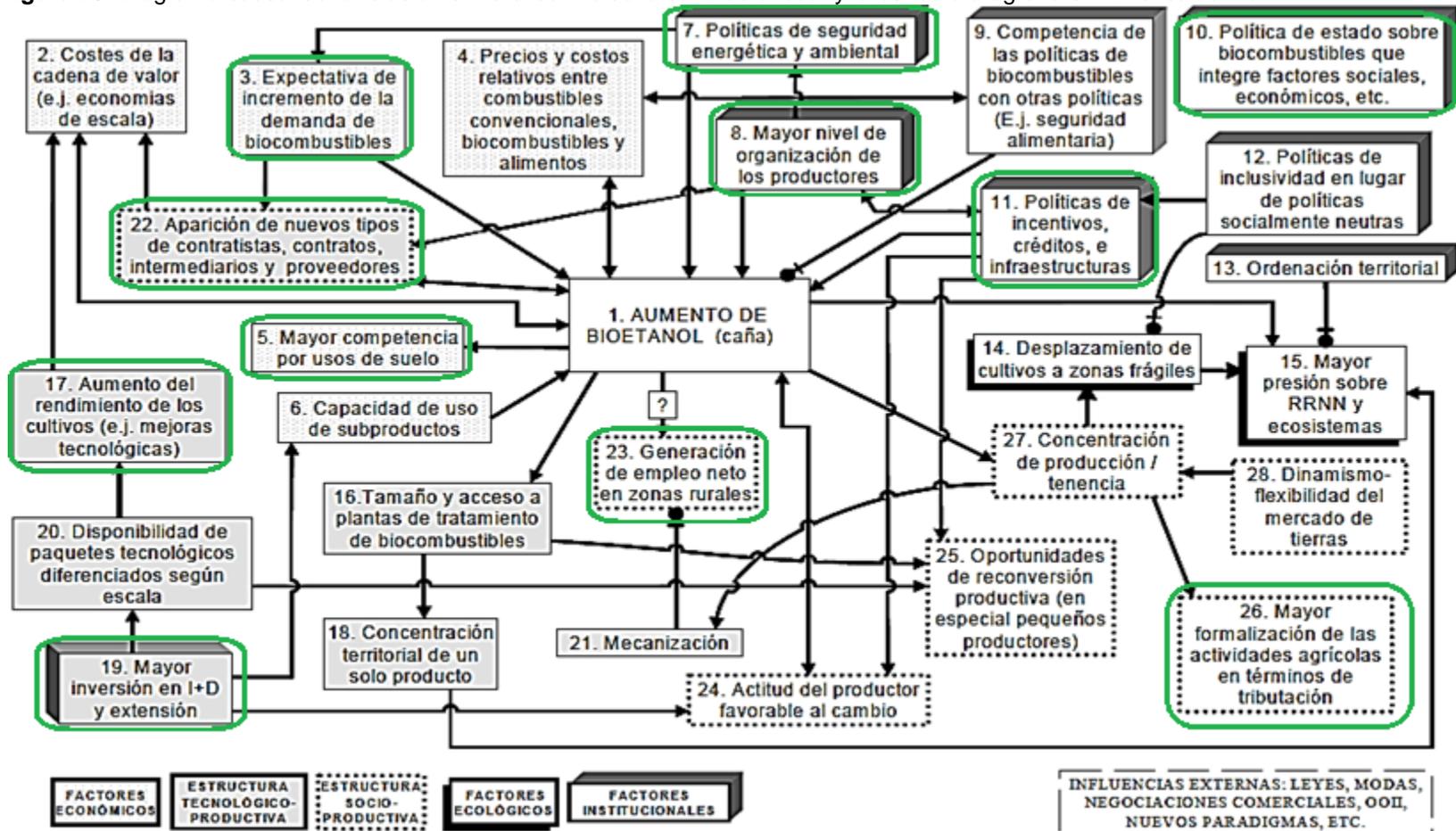
Razo<sup>233</sup> describe en su diagrama que en el proceso existe un aumento en el rendimiento de los cultivos, además se crean mejoras tecnológicas y mejoran su eficiencia al crearse una inversión en Investigación y Desarrollo. Por otro lado, existe una mayor competencia en el uso del suelo frente al cambio de cultivar para conseguir alimentos y el de cultivar para producir energía. Sin embargo, al usar los cultivos para producir energía se incrementa la demanda de los biocombustibles y se genera empleo en las zonas rurales. La aparición de nuevas políticas que integren los factores sociales económicos y ambientales incentiva la producción de los biocombustibles y generan conciencia frente a la seguridad alimentaria. Por último existe una mayor organización en los productores y aumenta la aparición de proveedores y contratistas que favorecen al sector económico del país.

---

<sup>232</sup> GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Op. cit., p. 57.

<sup>233</sup> RAZO, Carlos, *et al.* Op. cit., p. 19.

**Figura 25.** Diagrama causal de la relación entre el cultivo de la caña de azúcar y la estructura agraria en América Latina



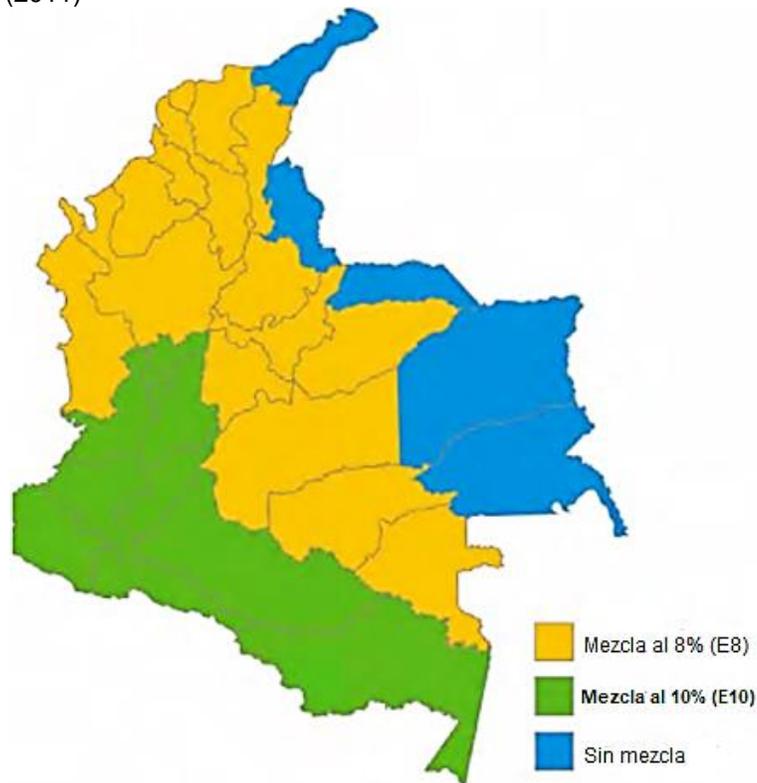
**Fuente:** RAZO, Carlos, *et al.* Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina. Santiago de Chile: CEPAL, 2007. ISBN 978-92-1-323097-8. p. 19.

El Diagrama establece la estructura agraria y energética de producir bioetanol y hace una introducción a los que el país estipula como el estado actual del bioetanol como alcohol carburante.

## 7. ESTADO ACTUAL DEL BIOETANOL COMO ALCOHOL CARBURANTE

“Colombia empezó a utilizar la mezcla obligatoria de etanol con gasolina en el año 2005, cuando en el mes de octubre entró en funcionamiento la primera destilería del sector azucarero, Incauca, ubicada en el municipio de Miranda, Cauca, mostrando un constante crecimiento a partir de su inicio. Hoy existe una mezcla obligatoria de 8 y 10%, de acuerdo a la producción nacional y disponibilidad de etanol para la mezcla”<sup>234</sup>, como se muestra en el Mapa 9.

**Mapa 9.** Mezcla obligatoria de alcohol carburante en Colombia (2011)



**Fuente:** BOCHNO HERNÁNDEZ, Elzbieta. Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Colombia. Bogotá: Octubre de 2011. p. 20.

“La entrada de la mezcla obligatoria de etanol en la gasolina colombiana, no significó un aumento de las áreas dedicadas a producir caña, pero si la dinamización de este mercado, ofreciendo a los productores de caña otro producto final, con mercado

<sup>234</sup> BOCHNO HERNÁNDEZ, Elzbieta. Op. cit., p. 19.

asegurado, aprovechando para la producción de etanol los excedentes de exportación”<sup>235</sup>.

A partir del documento CONPES 3510 de 2008, en Colombia se identificaron una serie de retos y estrategias orientadas a generar las condiciones necesarias para el mejoramiento de la eficiencia productiva de la agroindustria de los biocombustibles de manera económica, social y ambientalmente sostenible según lo aclara Herrera<sup>236</sup>. En el Cuadro 17 se encuentran los retos y las estrategias planteados en el documento CONPES y el estado de éstos en la actualidad.

**Cuadro 17.** Retos y estrategias en materia de biocombustibles

<b>RETOS</b>	<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>ESTADO ACTUAL</b>
Reducción del consumo de combustibles fósiles por medio del desarrollo de los biocombustibles	Definir un plan de investigación y desarrollo en materia de biocombustibles.	Se ha realizado una mayor inversión en I+D que contribuye a disminuir el uso de combustibles fósiles, aumenta la producción de los biocombustibles y el uso de la mezcla E10 en el país.
Promoción de la producción sostenible de biocombustibles por medio de políticas.	Continuar con la política de mezclas de biocombustibles y combustibles fósiles.	La normativa colombiana ha evolucionado fuertemente desde la Ley 693 de 2001 y se ha hecho énfasis en generar subsidios e incentivos tributarios que estimulen a las empresas a producir bioetanol de forma sostenible.
Reducción de los costos de producción de los biocombustibles.	Definir un nuevo esquema de regulación de precios de los biocombustibles.	Se han definido resoluciones para concretar la fórmula del precio de etanol desde el año 2012, observando que desde el 2014 han aumentado los precios del etanol.
Incremento de la productividad de los biocombustibles en toda la cadena productiva.	Garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental y de la política ambiental en toda la cadena productiva.	Por medio de normativas y Planes de Desarrollo se han realizado investigaciones para producir bioetanol a escala industrial en nuevas regiones del país, como ejemplo se encuentra el estudio de caso de la planta Bioenergy.
Consolidación de la política nacional de biocombustibles con la política nacional de seguridad alimentaria.	Incentivar la producción eficiente, económica, social y ambientalmente sostenible de biocombustibles en las regiones aptas para ello.	I+D realizados en regiones específicas han demostrado que Colombia posee tierras aptas para nuevas plantaciones de materias primas, un ejemplo es la yuca que aunque puede ser una restricción por la seguridad alimentaria, se acoplaría la tecnología del país para usarse únicamente su raíz.

<sup>235</sup> Ibid., p. 20.

<sup>236</sup> HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Op. cit.

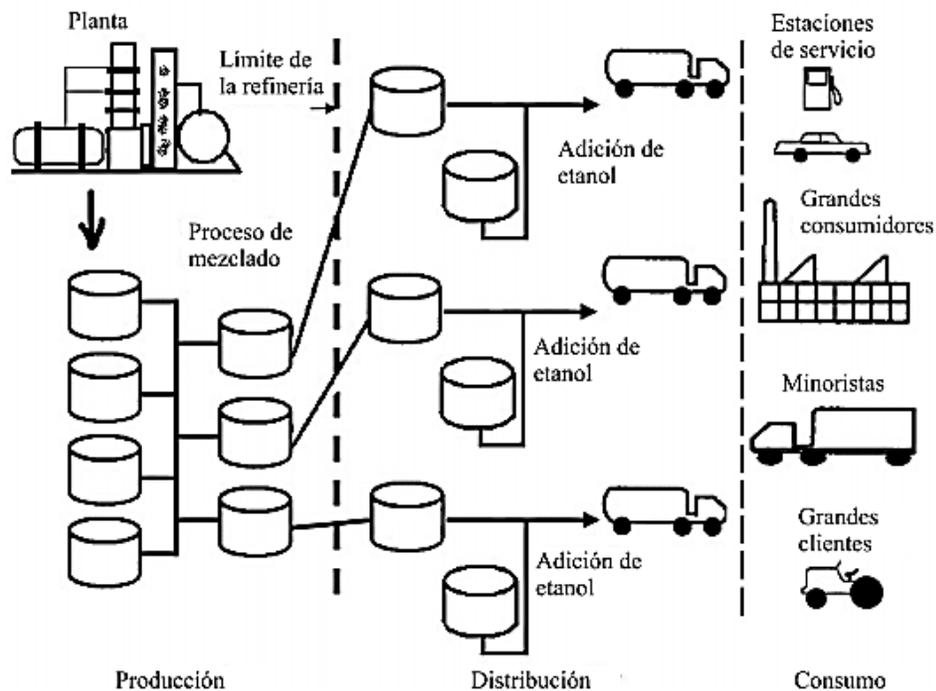
**Fuente:** Extraído de HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Biocombustibles en Colombia. 2009. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/> y editado por el autor.

El IICA afirma que en América Latina “existe la necesidad de promover el avance tecnológico y la capacitación laboral para apoyar el desarrollo de la competitividad y la producción eficiente de los biocombustibles en toda la región. Además de apoyar la capacidad de innovación local, los países de la región se beneficiarían de los esfuerzos de colaboración en I+D y transferencia de tecnología, tanto localmente como a nivel mundial”<sup>237</sup>.

## 7.1 USO DEL BIOETANOL FRENTE A LA APLICACIÓN REAL

En la actualidad, Colombia ha incorporado en casi todas las regiones la mezcla E10, en la Figura 26 se puede encontrar el diagrama de incorporación del biocombustible en las cadenas de distribución de gasolina como lo describe Ocampo<sup>238</sup>. Los pasos a seguir se dan desde la producción del etanol en la planta de refinación, pasando al proceso de mezclado con la gasolina para obtener E10 y su posterior distribución a las estaciones de servicio de gasolina, a consumidores y minoristas para su consumo en los motores de combustión interna.

**Figura 26.** Diagrama para la integración de etanol en las cadenas de distribución de gasolina



<sup>237</sup> GAZZONI, Decio Luiz. Biocombustibles y alimentos en América Latina y el Caribe. En: IICA. 2009. p. 103.

<sup>238</sup> OCAMPO DUQUE, William Andrés. ¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia? En: REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA. Septiembre de 2006. No. 38, p. 10.

**Fuente:** OCAMPO DUQUE, William Andrés. ¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia? En: REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA. Septiembre de 2006. No. 38, p. 10.

### **7.1.1 Impacto en los motores de combustión interna**

La incorporación del bioetanol en el parque automotor requiere considerar factores como: la disponibilidad, que implica producción y distribución del biocombustible, la intervención de la legislación colombiana para el establecimiento de la mezcla a implementar, realizar los cambios necesarios en los motores, entre otros, según lo afirma Amarís et al<sup>239</sup>.

En Colombia se promovió el cambio de combustible fósil a mezclas con biocombustibles mediante el modelo Brasileiro, sin tener en cuenta las diferencias fundamentales entre el parque automotor de los dos países. El gobierno colombiano se propuso impulsar la producción de biocombustibles buscando primordialmente, la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles. La implementación de este programa se proyectó en diferentes fases que incluían el centro del país, al inicio, y que recientemente se ha completado para todo el territorio colombiano. La mayoría de los autos colombianos a gasolina soportan una mezcla de E10, sin necesidad de realizar cambios en los vehículos. El uso de mezclas superiores involucra cambios en los sistemas de alimentación y en algunas partes de los motores, que deben ser considerados. Lo cual, genera costos adicionales al simple hecho de adquirir el nuevo combustible.

El bioetanol como combustible tiene un desarrollo de casi 30 años en el mundo, existe un panorama difuso sobre las propiedades físico-químicas de las mezclas gasolina-etanol y su comportamiento cuando se utilizan en motores de combustión interna coinciden en que no es clara la relación entre las propiedades, el desempeño y las emisiones finales del motor. Esto en gran parte puede deberse a la existencia de calidades variables de gasolina y a la gran variedad de motores empleados en el mundo. Sin embargo, algunos autores mencionan problemas asociados a la poca lubricación que ofrece la mezcla de E10 en la cámara de combustión comparada con la gasolina. Otro efecto indeseable es el aumento probable de la corrosión en elementos metálicos del motor debido a la presencia de agua, ya que el etanol es higroscópico. Cuando se utilizan biocombustibles en motores de combustión interna, el consumo de estos aumenta. Esto se debe a que si se disminuye la relación de aire-combustible estequiométrica para la misma velocidad de operación del motor, el mismo nivel de carga y la misma masa de aire, la masa de combustible que se necesita debe ser mayor.

La geografía en Colombia y la altura de las ciudades son variadas, por tanto las condiciones de operación de los motores cambian considerablemente desde el nivel del mar hasta ciudades como Tunja o Bogotá con una altura aproximada de 2600 metros sobre el nivel del mar. Otro aspecto importante en Colombia es la variedad del parque automotor. Bogotá es un ejemplo, cuenta con más de un millón de vehículos, de los cuales el 9% son particulares y el restante son públicos. El promedio de antigüedad de los vehículos particulares es de 15 años y el de los públicos de 25 años. Por tanto, muchos automotores que circulan por las

---

<sup>239</sup> AMARÍS, Johana Marcela; MANRIQUE, Diego Antonio y JARAMILLO, Julián Ernesto. Op. cit., p. 25.

carreteras colombianas no cuentan con un sistema de control de emisiones apto y utilizan tecnologías de dosificación de combustible obsoletas.<sup>240</sup>

El impacto en Colombia al usar las mezclas de bioetanol-gasolina en los motores de combustión interna se ve reflejado en mejoras ambientales en algunos parámetros que se pueden relacionar con el vehículo a usar. Justificando los parámetros anteriormente mencionados se encuentra en el Cuadro 18 el comportamiento de algunos eventos provocados al cambiar la gasolina por bioetanol en motores de combustión interna.

**Cuadro 18.** Comportamiento del bioetanol en comparación a la gasolina (2015)

PARÁMETRO A COMPARAR	COMPORTAMIENTO
Emisiones	Reduce CO y de HC a medida que se aumenta el porcentaje de la mezcla. Comportamiento variable en cuanto a los óxidos de Nitrógeno. La emisión de aldehídos tiende a aumentar.
Potencia	Aumenta (9 por ciento con una mezcla E20).
Consumo	Aumenta (4 por ciento para mezclas E15).
Lubricidad	Disminuye.
Respuesta del motor en condiciones invernales	Problemático.
Corrosión	Aumenta en las partes metálicas y componentes de caucho.

**Fuente:** Extraído de AMARÍS, Johana Marcela; MANRIQUE, Diego Antonio y JARAMILLO, Julián Ernesto. Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. En: REVISTA FUENTE: EL REVENTÓN ENERGÉTICO. Diciembre de 2015. Vol. 13, No. 2, p. 23-34 y editado por el autor.

Concluyendo de esa forma que el bioetanol considerado como aditivo para la gasolina reduce los contaminantes como el CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, pero en algunos casos aumenta la distribución de mini partículas que afectan la salud humana. Sin embargo, al usar el etanol en vehículos la potencia y el rendimiento aumenta y permite que el motor tenga una mejor eficiencia.

<sup>240</sup> AMARÍS, Johana Marcela; MANRIQUE, Diego Antonio y JARAMILLO, Julián Ernesto. Op. cit., p. 25.

## 8. CONCLUSIONES

- Las condiciones climáticas que posee Colombia en cuanto a su geografía y su situación climática posicionan al país como un lugar estratégico para el desarrollo de un programa de bioetanol. De la misma forma se puede encontrar una ventaja en la disponibilidad de materias primas y su productividad como el cultivo de la caña de azúcar y la yuca que desarrollan el sector agrícola y fortalecen la producción de bioetanol.
- En Colombia existe un marco regulatorio imponente que fomenta el uso y la producción del bioetanol y de la mezcla etanol-gasolina con normativa en las dimensiones ambiental, social y económica. El desarrollo competitivo de la producción de biocombustibles en Colombia frente a la producción mundial requiere de ambiciosas estrategias de innovación realizadas en diversas áreas del conocimiento y de políticas rígidas que fomenten su uso y producción con características únicas del país.
- El bioetanol cumple con características favorables que permiten ser una fuente de energía renovable promisoría en el país, además de ser amigable con el medio ambiente, fomenta el desarrollo rural y energético y reduce las emisiones provenientes de los combustibles fósiles. No obstante, al revisar los efectos del bioetanol se puede encontrar que los ámbitos económico y social se ha visto favorecido por la generación de empleo y mejoras en la calidad de vida en los sectores rurales, mientras que en los ámbitos agrícola y ambiental no se han encontrado suficientes constancias de que el uso del bioetanol en vehículos automotores disminuyan todos los agentes contaminantes del ambiente.
- Las limitaciones de usar y producir bioetanol en Colombia en el ámbito socio-ambiental se dan primero por el cambio repentino del uso del suelo al usar terrenos que cultiven materias primas energéticas en vez de alimentos, produciendo así, una segunda desventaja cuando hay un desequilibrio en la seguridad alimentaria, aunque ésta no llegue a representar una amenaza para el país, y por último, por la apropiación de terrenos ilícitos que han sido abandonados o desaprovechados.
- Existen diversos proyectos a escala laboratorio y diversos ingenios a gran escala provenientes de zonas geográficas en Colombia como el Valle del Cauca, esto demuestra el dinamismo en el sector, la capacidad tecnológica de innovar y desarrollar nuevas investigaciones a partir de materias primas como los residuos lignocelulósicos y residuos industriales, y por último demuestra la competitividad del país frente a otros para descubrir nuevas materias primas de origen vegetal y tecnologías que permitan la producción del bioetanol.

- La producción de bioetanol en Colombia ha aumentado significativamente, pasando por mezclas de etanol–gasolina E6 y E8 para años del 2005 al 2011, mientras que para el 2017 se maneja en casi todo el territorio nacional la mezcla E10, sin embargo, es necesario fortalecer de manera tecnológica y científica el programa del bioetanol en el país para que se logre una mezcla mayor como la E20 que reemplace en su mayoría a los combustibles fósiles.

## 9. RECOMENDACIONES

- Analizar las ventajas y desventajas que se generan al momento de producir biocombustibles de tercera y cuarta generación, como los residuos lignocelulósicos, residuos agrícolas, residuos provenientes del reciclaje y de materias primas genéticamente modificadas.
- Investigar oportunidades de mejora de nuevos cultivos que consigan mejores características y una competencia de éstos que no se dé frente a la seguridad alimentaria en el mundo.
- Comparar los diferentes biocombustibles para hacer un diagnóstico que permita encontrar mejores fuentes de energía renovables que sean compatibles con la tecnología colombiana.

## BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, Alejandro y NAVARRO, Enrique. Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. En: RESEARCH GATE.

ACOSTA M., Amylkar. La apuesta por los biocombustibles. En: LA NACION. Santa Marta. Marzo 28 de 2016.

ACOSTA M., Amylkar. El reto de los biocombustibles. En: WWW.AMYLKARACOSTA.NET. 22 de diciembre de 2016.

ACOSTA M., Amylkar. Los Biocombustibles son parte de la solución. En: CATORCE 6. 1 de agosto de 2017.

ACOSTA, Orlando y CHAPARRO-GIRALDO, Alejandro. Biocombustibles, Seguridad Alimentaria y Cultivos Transgénicos. En: REVISTA SALUD PÚBLICA. Febrero 9 de 2009. Vol. 11, No. 2, p. 290-300.

ADLER, Erich. Lignin chemistry - Past, present and future. En: WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. vol. 11, p. 169-218.

Agronet. Yuca en producción de etanol. En: AGRONET.

ALFARO, Pilar. Los biocombustibles, un sector estratégico. En: ECODES. 31 de julio de 2007.

ALONSO GARZÓN, Diana Marisol. Producción de bioetanol por materia de origen vegetal en países de américa. Bogotá, Colombia: Universidad de América, 2015. Estado del arte.

ALVEAR, M., *et al.* Estudio de la hidrólisis ácida de cáscaras de naranja Citrus Sinensis para la obtención de etanol. En: UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.

AMARÍS, Johana Marcela; MANRIQUE, Diego Antonio y JARAMILLO, Julián Ernesto. Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. En: REVISTA FUENTE: EL REVENTÓN ENERGÉTICO. Diciembre de 2015. Vol. 13, No. 2, p. 23-34.

ANGARITA, Guina, *et al.* Obtención de bioetanol a partir de la cubierta de naranja. SENA, 2012.

Asocaña. El bioetanol colombiano de caña de azúcar. Colombia. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/12001.aspx>

Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). El biodiésel y el bioetanol, cada vez más, una opción rentable. En: AGRO ENERGÉTICA. Julio 1 de 2006.p. 35-37.

ÁVILA DÍAZ, Álvaro Javier y CARVAJAL ESCOBAR, Yesid. Agrocombustibles y soberanía alimentaria en Colombia. En: REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA. Enero de 2015.vol. 24, No. 1, p. 43-60.

Bioenergy. Kilómetro 43 vía Puerto López, Puerto Gaitán. 2017. Disponible en: <http://www.bioenergy.com.co/SitePages/Home1111.aspx>  
BLANES, José y DE LA QUINTANA, Diego. Biocombustibles. En: REDESMA. 2008. Vol. 2.

BOCHNO HERNÁNDEZ, Elzbieta. Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Colombia. Bogotá: Octubre de 2011. p. 1-33.

CAPDEVILA, Verónica, *et al.* Simulación del proceso fermentativo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de arroz. En: AVANCES EN CIENCIA e INGENIERÍA. Vol. 6, p. 11-21.

CARDONA ALZATE, Carlos Ariel; MONTOYA RODRÍGUEZ, María Isabel y QUINTERO SUÁREZ, Julián Andrés. Selección de tecnologías apropiadas para la producción de etanol carburante. En: EIDENAR. Vol. 1, No. 2, p. 48-55.

Cenicaña. 50 Datos De Una Historia Dulce. Santiago de Cali. Agosto 30 de 2009. 2017. Disponible en: [http://www.cenicana.org/noticias/50anos\\_datos\\_produccion.pdf](http://www.cenicana.org/noticias/50anos_datos_produccion.pdf)

Cenicaña. Etanol: 10 años de producción en Colombia. Año 4 ed. Cali, Colombia: Cenicaña, 2016. No. 3. ISBN 2339-3246.

Cenicaña. Mitigar el cambio climático un compromiso de la agroindustria. Año 4 ed. Cali, Colombia: Cenicaña, 2016. No. 1. ISBN 2339-3246.

Cenicaña. Proceso de obtención de etanol. Colombia. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pop\\_up/fabrica/diagrama\\_etanol.php](http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php)

CEPAL. Brasil, Argentina y Colombia lideran producción de biocombustibles En La Región. CEPAL. 29 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.cepal.org/es/comunicados/brasil-argentina-y-colombia-lideran-produccion-de-biocombustibles-en-la-region>

CEPAL. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y El Caribe. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2011. ISBN 1680-9033.

Consortio CUE. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles En Colombia. Medellín, Colombia: Research Gate, 2012. p. 11-26.  
CORREDOR AVELLA, Germán. "Tablero de comando" para La promoción de los biocombustibles en Colombia. En: CEPAL. 2009.

CORTÉS MARÍN, Elkin; MAHECHA SUAREZ, Héctor y PARDO CARRASCO, Sandra. Biocombustibles y autosuficiencia económica. En: DYNA. 2009. Vol. 76, p. 101.

CORTÉS SIERRA, Simón; CHAVARRIAGA, Paul y LÓPEZ, Camilo. Biocombustibles y biotecnología: la yuca (*Manihot esculenta*) como modelo de investigación. En: ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA. 2010. Vol. 15. p. 3-24.

COWLING, E. B. Physical and chemical constraints in the hydrolisis of cellulose and lignocellulosic materials. En: BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING. Vol. 5.

CUNNINGHAM, Roberto. Biocombustibles como alternativa de los combustibles fósiles: ¿solución integral o apenas un paliativo? En: PETROTECNIA. p. 36.

DAGNINO, E., *et al.* Optimización de pretratamiento ácido de biomasa lignocelulósica para la obtención de etanol. En: HYFUSEN.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Decreto 4145. (Noviembre 3 de 2011). Por el cual se crea la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios - UPRA y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2011.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 1135. (Marzo 31 de 2009). Por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2009. No. 47308.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. DECRETO 2629 DE 2007. (Julio 10 de 2007). Por medio del cual se dictan disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustibles para su funcionamiento. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46685.

COLOMBIA. MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Decreto 383. (Febrero 12 de 2007). Por el cual se modifica el Decreto 2685 de 1999 y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2007.

COLOMBIA. MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Decreto 4051. (Octubre 23 de 2007). Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 2685 de 1999 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46790p. p. 32.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 4892. (Diciembre 23 de 2011). Por el cual se dictan disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores. Bogotá D.C., 2011.

DELGADO, Juan Eduardo; SALGADO, José Jorge y PÉREZ, Ronaldo. Perspectivas de los biocombustibles en Colombia. En: INGENIERÍAS UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. 2015. Vol. 14, No. 27, p. 13-28.

DEMIRBAS, A. Social, economic, environmental and policy aspects of biofuels. En: ENERGY EDUCATION SCIENCE AND TECHNOLOGY. 2010. Vol. 2, p. 75-109.

Departamento Nacional de Planeación. Documento CONPES 3510. Colombia: 2008.

Departamento Nacional de Planeación. Plan Nacional De Desarrollo 2010 - 2014: Prosperidad Para Todos. Bogotá D.C., Colombia: 2011.

Departamento Nacional de Planeación. Plan Nacional De Desarrollo 2014 - 2018: Todos Por Un Nuevo País. Colombia: 2014.

El Heraldo. Colombia tiene la planta más moderna del mundo para la producción de etanol. El Heraldo. Agosto 27 de 2015. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/economia/colombia-tiene-la-planta-mas-moderna-del-mundo-para-la-produccion-de-etanol-213970>

El Tiempo. ¿Qué Tan Bueno Es El Etanol?. Fedebiocombustibles. s.f. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-38.htm>

El Tiempo. Bioenergy, otra megaobra de Ecopetrol en la mira por sobrecostos. En: EL TIEMPO. Junio 4 de 2017. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/bioenergy-megaobra-de-ecopetrol-en-investigaciones-por-sobrecostos-95224>

El Tiempo. El alivio en el precio de la gasolina duró solamente cinco días. En: EL TIEMPO. Colombia. Julio 6 de 2017.

El Tiempo. El etanol es fuente alterna de combustible. Fedebiocombustibles. s.f. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-108.htm>

El Tiempo. Etanol y Biodiésel En Colombia. Revista Motor. Julio 28 de 2017. Disponible en: <http://www.motor.com.co/actualidad/industria/etanol-biodiesel-colombia/29097>

El Tiempo. Ordenan agregar más Bioetanol a gasolina que se utilice en Antioquia. En: EL TIEMPO. Colombia. Abril 5 de 2017.

Emprendedores Verdes. Cultivos Agroenergéticos. España. s.f. Disponible en: <http://www.emprendedorverderural.com/uploads/oportunidades/cultivosAgroenergéticos.pdf>

Enguítanos, M., Soria, A., Christidis, P., & Kavalov, B. (2002). Techno-economic analysis of bio-alcohol production in the EU: A short summary for decision-makers. Joint Research Centre - European Commission.

ESPINOSA FENWARTH, Andrés. ¿Importar o Producir Etanol?. Portafolio. Mayo 17 de 2016. Disponible en: <http://www.portafolio.co/opinion/andres-espinoza-fenwarth/importar-producir-etanol-495983>

FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, Italia: 2008. p. 1-114. ISBN 0251-1371.

FAO. El mercado de almidón añade valor a la yuca. Roma, Italia: FAO, 2006.

Fedebiocombustibles. En busca de los biocombustibles del mañana. 2017. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-437.htm>

Fedebiocombustibles. En marcha planta piloto de yuca y sorgo. En: FEDEBIOCOMBUSTIBLES. Tomado de [www.larepublica.com.co](http://www.larepublica.com.co).

Fedebiocombustibles. Genes de microorganismos sirven para producir etanol. En: FEDEBIOCOMBUSTIBLES. Tomado de [www.larepublica.com.co/nuevaeconomia](http://www.larepublica.com.co/nuevaeconomia).

Fedebiocombustibles. Mitos y realidades de los biocombustibles en Colombia. En: FEDEBIOCOMBUSTIBLES. 2011.

Fedebiocombustibles. Boletín No. 140. En: BIOCMBUSTIBLES HOY. Octubre 28 de 2015.

Fedebiocombustibles. Federación Nacional De Biocombustibles. 2015. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/index.php>

Fedebiocombustibles. Boletín No. 145. En: BIOCOMBUSTIBLES HOY. Marzo 16 de 2016.

Fedebiocombustibles. Boletín No. 147. En: BIOCOMBUSTIBLES HOY. Abril 27 de 2016.

Fedebiocombustibles. Boletín No. 148. En: BIOCOMBUSTIBLES HOY. Mayo 18 de 2016.

Fedebiocombustibles. Boletín No. 149. En: BIOCOMBUSTIBLES HOY. Junio 1 de 2016.

Fedebiocombustibles. Boletín No. 151. En: BIOCOMBUSTIBLES HOY. Junio 29 de 2016.

Fedebiocombustibles. Boletín No. 153. En: BIOCOMBUSTIBLES HOY. Agosto 3 de 2016.

Fedebiocombustibles. Boletín No. 157. En: BIOCOMBUSTIBLES HOY. Octubre 12 de 2016.

Fedebiocombustibles. Información estadística sector biocombustibles. Colombia. Julio de 2017. Disponible en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)

Fedebiocombustibles. Resoluciones de precios. Colombia. Septiembre 1 de 2017. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-30.htm>

FERNÁNDEZ, Jesús; LUCAS, Hugo y BALLESTEROS, Mercedes. Biocarburantes. En: REVISTA ENERGÍAS RENOVABLES. 2008.

FRITZ, Thomas. Agroenergía En América Latina. Alemania: 2008. 52-66 ISBN 978-3-923020-41-6.

GARCÍA CAMÚS, Juan Manuel y GARCÍA LABORDA, José Ángel. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. En: MADRIMASD. 2006.

GARCÍA ROMERO, Helena y CALDERÓN ETTER, Laura. Evaluación de la política de los biocombustibles en Colombia. Colombia: 2012.

GARCÍA, Vilma. Los biocombustibles y la perspectiva de su futuro. Disponible en: <http://etecnologia.com/medio-ambiente/biocombustibles>

GAZZONI, Decio Luiz. Biocombustibles y alimentos en América Latina y el Caribe. En: IICA. 2009. p. 1-118.

GOLDEMBERG, José. Ethanol for a Sustainable Energy Future. En: SCIENCE. No. 315.

GÓMEZ, Constanza. Colombia tiene potencial como productor de etanol. En: EL TIEMPO. 29 de septiembre de 2008.

GÓMEZ, Elkin A.; RÍOS, Luis A. y PEÑA, Juan D. Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. En: INFORMACION TECNOLOGICA. Vol. 23, No. 6, p. 73-86.

GÓMEZ, José Javier; SAMANIEGO, Joseluis y ANTONISSEN, Mariana. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 37. Santiago de Chile: CEPAL, 2008. ISBN 1680-8886.

GONZÁLEZ MERINO, Arcelia y CASTAÑEDA ZAVALA, Yolanda. Biocombustibles, biotecnología y alimentos. En: NUEVA ÉPOCA. Mayo de 2008. Vol. 57, p. 55-83.

GRACIA, Carlos. Biocombustibles: ¿Energía o Alimento?. España: 2009. 77-103 y 129-150

GÜESGUÁN SERPA, Óscar. A Más Etanol, Menor Precio De La Gasolina. El Espectador. Julio 30 de 2015. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/economia/mas-etanol-menor-precio-de-gasolina-articulo-576056>

GUEVARA LOZANO, July Andrea y MARULANDA MOLINA, Andrés Felipe. Evaluación De La Factibilidad De Producción De Etanol a Partir De Los Desechos De Musáceas (Plátano y Banano) Comerciales. Universidad de San Buenaventura de Santiago de Cali, 2012.

HACKENBERG, Norbert. Biocombustibles de segunda generación. Julio de 2008. En: REDESMA.

HERRERA JAIME, Beatriz, *et al.* Biocombustibles En Colombia. 2009. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/>

HERRERA, Stephan. Bonkers about biofuels. En: NATURE BIOTECHNOLOGY. Vol. 24, No. 7, p. 755.

HLPE. Los biocombustibles y la seguridad alimentaria. Italia, Roma: 2013.

IICA. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. San José, Costa Rica: 2007. ISBN 978-92-9039-850-9.

INFANTE, Arturo y TOBÓN, Santiago. Políticas públicas sobre biocombustibles y su relación con la seguridad alimentaria en Colombia. Bioenergía para el desarrollo sostenible. Roma, Italia: FAO, 2010. ISBN 978-92-5-306527-1.

INFORMACIÓN SUMINISTRADA. Ecopetrol recibe nueva patente por acondicionador de suelos. En: EL TIEMPO. 26 de junio de 2014.

La Patria. Biocombustibles, a Toda Marcha En Colombia. Fedebiocombustibles. s.f. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-195.htm>

LEMUS CASTILLO, William Giovanny. Análisis del impacto que han generado los biocombustibles en la agricultura seguridad alimentaria en los últimos años en Colombia. 2012.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1028. (Junio 12 de 2006). Por la cual se adiciona el Código Penal y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2006. No. 46298.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1083. (Julio 31 de 2006). Por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2006. No. 46346.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 1133. (Abril 9 de 2007). Por medio de la cual se crea e implementa el programa “Agro, Ingreso Seguro – AIS. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46595.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1151. (Julio 24 de 2007). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007. No. 46700.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1450. (Junio 16 de 2011). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Bogotá D.C., 2011.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1715. (Mayo 13 de 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá D.C., 2014.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 693. (Septiembre 19 de 2001). Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2001. No. 44564.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 788. (Diciembre 27 de 2002). Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2002. No. 45046.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 818. (Julio 8 de 2003). Por la cual se dictan normas en materia tributaria y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2003. No. 45242.

LI, H.; CANN, A. y LIAO, J. Biofuels: Biomolecular engineering fundamentals and advances. En: ANUAL REVIEW OF CHEMICAL AND BIOMOLECULAR ENGINEERING. p. 19-36.

LÓPEZ SILVA, A.; LÓPEZ FACAL, Xoán y FEIJOO ACOSTA, Gumersindo. Proceso de fabricación de bioetanol (II). En: INGENIERÍA QUÍMICA. Vol. 392, p. 145-146-151.

MADSON, P. W. y Monceaux D. A. Fuel ethanol production. En: KATZEN INTERNATIONAL, INC., CINCINNATI, OHIO, USA.

MANRIQUE, Luis Carlos; GUTIÉRREZ, Edgar y GONZÁLEZ, Gloria. Modelo de equilibrio general computable para la producción de azúcar y bioetanol en Colombia. En: REVISTA DE INGENIERÍA - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. 2009.

MARTÍNEZ JARAMILLO, Juan Esteban. Los efectos de los biocombustibles en la seguridad alimentaria en Colombia: Una aproximación con dinámica de sistemas. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2015.

MARTÍNEZ SEPÚLVEDA, José Alejandro y MONOYA GÓMEZ, Nancy Johana. Análisis preliminar de la viabilidad de obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En: PRODUCCIÓN + LIMPIA. Diciembre de 2013. Vol. 8, No. 2, p. 72-84.

MARTÍNEZ TORRES, Hernán. Espacio para el alcohol carburante. Portafolio. Mayo 11 de 2009. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/espacio-alcohol-carburante-340906>

MCLAREN, James. The economic realities, sustainable opportunities, and technical promises of biofuels. En: THE JOURNAL OF AGROBIOTECHNOLOGY MANAGEMENT AND ECONOMICS. Vol. 11, No. 1.

MINERVA, Alendy, *et al.* Simulación técnico económica de una planta de etanol de residuos lignocelulósicos. En: REVISTA CENTRO AZÚCAR. Vol. 4.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Unidad De Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Colombia: 2014. p. 13. Disponible en: [http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA\\_Oferta\\_Institucional.pdf#search=UPRA](http://www.minagricultura.gov.co/Documents/UPRA_Oferta_Institucional.pdf#search=UPRA)

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Uno de los pilares del plan 'Colombia siembra' es sembrar lo que toca, donde toca. Colombia. Octubre 5 de 2015. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Uno-de-los-pilares-del-plan-Colombia-Siembra-es-sembrar-lo-que-toca,-donde-toca-MinAgricultura.aspx>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Protocolo De Kyoto. Colombia. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>

[Anónimo] Resolución 9 0932. Porcentaje de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunas plantas de abastecimiento mayorista. 2013.

Moheno de la Cruz, Marina Guadalupe. Uso de un hidrolizado de cáscaras de naranja-toronja y dos cepas de levadura para la obtención de bioetanol. 2013. MONDRAGÓN, Héctor. Caña de azúcar, palma aceitera, biocombustibles y relaciones de dominación. En: REVISTA Etnias&política. Diciembre de 2007.p. 22-35.

MONSALVE, Jhon; MEDINA DE PÉREZ, Victoria y RUÍZ COLORADO, Angela. Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. En: UNAL. Vol. Año 73, No. 150, p. 21-27.

MONTOYA RODRÍGUEZ, María Isabel, *et al.* Evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención de alcohol carburante utilizando el algoritmo de reducción de residuos. En: REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA. Marzo de 2006. Vol. 36, p. 85-95.

MONTOYA RODRÍGUEZ, María Isabel, *et al.* Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz. En: EAFIT. Vol. 41, No. 139, p. 76-87.

MORALES MANCHEGO, Martha. El 65,8 % de la tierra apta para sembrar en Colombia no se aprovecha. El Tiempo. Mayo 24 de 2016. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16601436>

Noticias Caracol. Caña De Azúcar, El Gran Motor De La Economía En El Valle Del Cauca. Cali, 21 de julio de 2017: 2017.

COLOMBIA. ICONTEC. NTC 5389. (Octubre 26 de 2005). Etanol anhidro desnaturalizado y su mezcla con gasolina motor. Almacenamiento. Bogotá D.C., 2005.

COLOMBIA. ICONTEC. NTC 5414. (Abril 26 de 2006). Etanol anhidro desnaturalizado. Transporte. Bogotá D.C., 2006.

OCAMPO DUQUE, William Andrés. ¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia? En: REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA. Septiembre de 2006. No. 38, p. 7-19.

ORTIZ MARCOS, Susana. Buscando Combustibles Alternativos: El Bioetanol. En: Anales de mecánica y electricidad. Asociación de Ingenieros del ICAI, 2003. p. 46-53.

OTALORA ALVARADO, Rosmary. Análisis de la producción del bioetanol en Colombia: balance energético preliminar del etanol producido a base de caña de azúcar en el Valle del Cauca y su utilización en Bogotá D.C. 2011.

PALACIOS LOZANO, María Teresa, *et al.* Evaluación ambiental estratégica de políticas, planes y programas de biocombustibles en Colombia, con énfasis en biodiversidad. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008. p. 1-129.

PÉREZ ÁVILA, Alan Didier. Evaluación del proceso de producción de etanol carburante a partir de Caña azucarera, remolacha azucarera y maíz. En: UNAL. s.f. PIRS, V. y DUKULIS, I. Emission reduction potential of using biofuels. En: RESEARCH FOR RURAL DEVELOPMENT. p. 85-90.

Portafolio. Energías Renovables, La apuesta que debe hacer el país. Portafolio. Dicimembre 5 de 2016. Disponible en: <http://www.portafolio.co/innovacion/energias-renovables-en-colombia-502061>

Portafolio. Solo funcionan cinco destilerías de etanol y dos refinerías de biodiésel en Colombia. Febrero 4. 2009.

POSADA DÍAZ, Jaime. Producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de residuos orgánicos generados en una empresa de alimentos. Revista De Investigación. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2017. Vol. 10. No. 1. p. 47-59. ISBN 2011639X. Abril 25 de 2017.

POSSO, Fausto. Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas, Vol. 7, núm. 1-2. En: GEOENSEÑANZA. 2002. p. 54-73.

QUINTERO MORA, Leidy Patricia, *et al.* Evaluación de residuos de papa, yuca y naranja para la producción de etanol en cultivo discontinuo utilizando *Saccharomyces cerevisiae*. (Spanish). En: REVISTA ION. 01. Vol. 28, No. 1, p. 43-53.

RAZO, Carlos, *et al.* Biocombustibles y Su Impacto Potencial En La Estructura Agraria, Precios y Empleo En América Latina. Santiago de Chile: CEPAL, 2007. ISBN 978-92-1-323097-8.

Redacción Medio Ambiente. Minipartículas aumentan en el aire cuando se cambia de etanol a gasolina. En: EL ESPECTADOR. 24 de julio de 2017.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 1565. (Diciembre 27 de 2004). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2004. No. 45777.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0257. (Febrero 28 de 2012). Por la cual se restablece la mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunos departamentos de la Costa Atlántica. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2012. No. 48358.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0687. (Junio 17 de 2003). Por la cual se expide la regulación técnica prevista en la Ley 693 de 2001, en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes y su uso en los combustibles nacionales e importados. Bogotá D.C., 2003.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 1069. (Agosto 18 de 2005). Por la cual se modifica la Resolución 180687 del 17 de junio de 2003 y se establecen otras disposiciones. Bogotá D.C., 2005.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE Y MINISTERIO DE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2604. (Diciembre 24 de 2009). Por la cual se determinan los combustibles limpios teniendo como criterio fundamental el contenido de sus componentes y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2009. No. 47578.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0277. (Abril 4 de 2017). Por la cual se restablece la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en el Departamento de Antioquia. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0434. (Mayo 18 de 2017). Por la cual se suspende temporalmente la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en algunas zonas del país. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. No. 50237.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0437. (Abril 29 de 2016). Por la cual se restablece gradualmente el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con gasolina motor para las zonas norte y suroccidental del país. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2016.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0467. (Mayo 24 de 2017). Por la cual se modifica la Resolución 789 de 2016, relacionada con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro Combustible y Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado utilizado como componente oxigenante de gasolinas. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0527. (Junio 7 de 2017). Por la cual se restablece gradualmente la mezcla de alcohol carburante con gasolina motor corriente en algunas zonas del país. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. No. 50257.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 0626. (Julio 4 de 2017). Por la cual se modifica el artículo 1º de la Resolución 40527 del 7 de junio de 2017, en relación con las mezclas de alcohol carburante con gasolina motor. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2017. No. 50284.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 1053. (Noviembre 2 de 2016). Por la cual se modifica la Resolución 180687 de 2003, mediante la cual se regula la producción, acopio, distribución y puntos de venta de alcohol carburante y su uso con los combustibles nacionales e importados". Diario Oficial. Bogotá D.C., 2016. No. 50046.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 1072. (Septiembre 30 de 2015). Por la cual se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para la zona Suroccidental del país para uso en vehículos automotores. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2015. No. 49651.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 4 1079. (Octubre 2 de 2015). Por la cual se aclara la Resolución 41072 de 2015, mediante la cual se estableció el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para la zona suroccidental del país para uso en vehículos automotores. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2015. No. 49653.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 789. (Mayo 20 de 2016). Por la cual se modifica la Resolución 898 de 1995 en lo relacionado con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro Combustible y Etanol Anhidro Combustible

Desnaturalizado utilizado como componente oxigenante de gasolinas. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2016. No. 49883.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Resolución 898. (Agosto 23 de 1995). Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. Bogotá D.C., 1995.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 9 0932. (Octubre 31 de 2013). Por la cual se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunas plantas de abastecimiento mayorista. Bogotá D.C., 2013.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 2368. (Diciembre 29 de 2009). Por la cual se modifican las resoluciones 18 0687 de 2003 y 18 1088 de 2005, en relación con el programa de oxigenación de combustibles en el país. REVISTA LEGISLACIÓN ECONÓMICA. Bogotá D.C., 2009. No. 1376. p. 152.

RAMOS CASTELLANOS, Pedro y DELGADO TARDÁGUILA, Rosario. Cultivos Energéticos. En: Universidad de Salamanca. Energías y Cambio Climático. 1st ed. Salamanca, España: Universidad de Salamanca, 2008. p. 45. ISBN 978-84-7800-333-4.

Revista Dinero. Cerca de 100 mil empleos generará industria de biocombustibles. Agosto 7 de 2007. Disponible en: <http://www.dinero.com/actualidad/noticias/articulo/cerca-100-mil-empleos-generara-industria-biocombustibles/48023>

Revista Dinero. Contraloría reporta hallazgos en bioenergy por más de \$700.000 millones. Revista Dinero. Agosto 29 de 2017. Disponible en: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/hallazgos-fiscales-de-la-contraloria-en-bioenergy/249219>

Revista Dinero. Ingenios azucareros le apuestan al etanol. Revista Dinero. Junio 3 de 2009. Disponible en: <http://www.dinero.com/negocios/articulo/ingenios-azucareros-apuestan-etanol/74916>

RFA. Industry Statistics. Disponible en: <http://www.ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/>

RITSLAID, K.; KÜÜT, A. y OLT, J. State of the Art in Bioethanol Production . En: VIRTUAL PRO. p. 236-254.

RIVERA MAZORCO, Maya y ARISPE BARRIENTOS, Sergio. Biocombustibles y sus posibles repercusiones en Bolivia. CACCESN.

ROBLES OBANDO, Lina María. Acciones y estrategias para incrementar la competitividad de las empresas colombianas de bioetanol y biodiesel en el mercado internacional. 2011.

ROMERO CASTRO, Rubén Darío. El Meta Liderará tecnología limpia con puro etanol. En: REDACCIÓN EL TIEMPO. 19 de diciembre de 2016.

RUEDA, Alejandra. La bioenergía en América Latina y El Caribe El estado de arte en países seleccionados. FAO: 2013. p. 151-180. ISBN 978-92-5-307734-2.

SAIDÓN, Mariana. Biocombustibles: Actores y debates en América Latina. En: ECONOMÍA. Junio de 2009. Vol. XXXIV, p. 171-198.

SÁENZ VALIENTE, Santiago. Un negocio que carece de buenos incentivos. En: LA NACION. 13 de febrero de 2010.

SALINAS CALLEJAS, Edmar y GASCA QUEZADA, Víctor. Los biocombustibles. En: EL COTIDIANO. Octubre de 2009.vol. 157, p. 75-82.

SÁNCHEZ MACÍAS, José Ignacio; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Fernando y DÍAZ RINCÓN, Javier. Expectativas del sector de la bioenergía en Castilla y León. España: Consejo Económico y Social, 2009. p. 59-221.

SÁNCHEZ RIAÑO, A. M., *et al.* Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. En: REVISTA TUMBAGA. 2010. Vol. 5, p. 61-91.

SÁNCHEZ, Óscar Julián y CARDONA, Carlos Ariel. Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas. En: INTERCIENCIA. Vol. 30, No. 11, p. 671-678.

SCACCHI, C., *et al.* Greenhouse gases emissions and energy use of wheat grain-based bioethanol fuel blends. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Vol. 408.

SERNA, Fabiola; BARRERA, Luis y MONTIEL, Héctor. Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. En: JOURNAL OF TECHNOLOGY MANAGEMENT & INNOVATION. Enero 28 de 2011.vol. 6, No. 1.

Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). Bioetanol, Biotecnología Aplicada. Bogotá, Colombia: 2012.

UPME. Boletín Estadístico Unidad De Planeación Minero Energética. Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/>

UPME. Biocombustibles en Colombia. En: MINISTERIO DE MINAS y ENERGÍA. Abril de 2009.

VALDEZ ZEGARRA, Rafael Agustín. Biocombustibles, perspectivas, riesgos y oportunidades. En: PERSPECTIVAS. Junio de 2009.vol. 23, p. 41-53.

VALENCIA BOTERO, Mónica Julieth; RINCÓN PÉREZ, Luis Eduardo y CARDONA ALZATE, Carlos Ariel. Efecto del cambio en el uso de la tierra devenido del cultivo de pala aceitera para la producción de biodiésel en Colombia. En: ING. UNIV. BOGOTÁ (COLOMBIA). Junio de 2014. Vol. 18, No. 1, p. 91-102.

WALKER, D. Biofuels - For better or worse? En: ANNALS OF APPLIED BIOLOGY. Vol. 156, p. 319-327.

ZUÑIGA CERÓN, Vanessa; LÓPEZ VELASCO, José Luis y FLÓREZ PARDO, Luz Marina. Evaluación ambiental de la producción de etanol a partir de yuca (Manihot esculenta, Crantz), variedad M-THAI 8. En: EL HOMBRE y LA MÁQUINA No. 36.