

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA
ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA**



OFICINA REGIONAL PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE – RLC

“Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en el Colombia”

Elzbieta Bochno Hernández
Punto Focal en Colombia – Consultora FAO

Octubre 2011
Bogotá - Colombia

INDICE

1. Introducción	pag. 3
2. Cadenas de producción de biocombustibles en Colombia	pag. 8
2.1. Situación del sector agropecuario	pag. 8
2.2. Biocombustibles	pag. 10
2.2.1. Biodiesel	pag. 10
2.2.2. Etanol	pag. 19
2.2.3. Otras iniciativas - Biomasa	pag. 25
3. Posibilidad de Proyectos	pag. 27
4. Conclusiones	pag.28
5. Bibliografía	pag.31

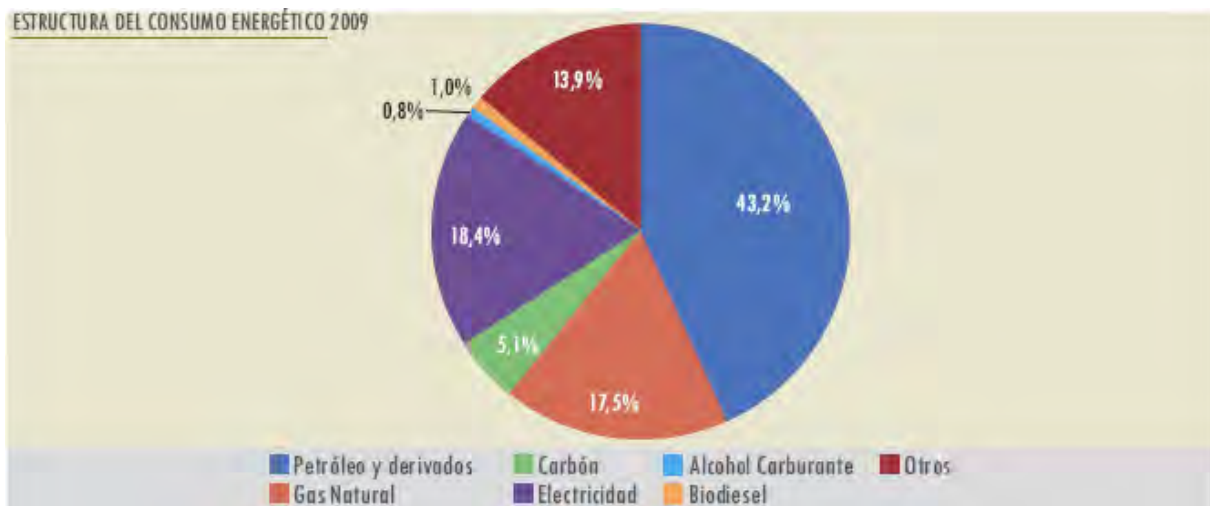
1. INTRODUCCION

Según la Agencia Internacional de Energía [5] los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) actualmente concentran el 88% de la matriz energética mundial y llegarían concentrar el 80% del total en 2035, cuando la matriz incluiría energía nuclear (7.4%), energías provenientes del petróleo (27%), gas natural (26.7%), carbón (25%), hidroelectricidad (7%) y energías renovables (6%).

Colombia tiene una matriz de generación eléctrica limpia, cerca del 70% es proveniente de la hidroelectricidad.

En cuanto a consumo de energía [33] el 65,8% proviene de fuentes de petróleo y el 1,8% los biocombustibles.

Gráfica 1. Matriz energética colombiana



Fuente: UPME [33]

La complejidad y transversalidad del tema de bioenergía, entendido en su amplia aplicación, se refleja claramente en un diferenciado marco normativo en el cual está inmersa la bioenergía en Colombia.

Por un lado, el país cuenta con una política de fomento al uso racional y eficiente de la energía y promoción de la utilización de las energías alternativas, definida en la Ley 697 de 2001 y reglamentada mediante una serie de normas, que incluyen el Decreto 2688 de 2008 (modificatorio del 3683 de 2003), el cual define la Comisión Intersectorial para el Uso

Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, CIURE, como una instancia de asesoramiento y apoyo para el Ministerio de Minas y Energía. Hacen parte de esta Comisión el Ministerio de Minas y Energía MME, Ministerio de Comercio Industria y Turismo MCIT, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, Departamento Nacional de Planeación DNP, Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas IPSE.

El país cuenta también con el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Demás Formas de Energía No Convencionales PROURE, adoptado mediante la Resolución 180919 de 2010, expedida por el Ministerio de Minas y Energía.

El objetivo del Programa PROURE, es promover el Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, que contribuya a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales, utilizando para ello 6 programas estratégicos:

1. Fortalecimiento institucional.
2. Educación y fortalecimiento de capacidades en Investigación, desarrollo tecnológico e innovación- I+D+I y gestión del conocimiento.
3. Estrategia financiera e impulso al mercado.
4. Protección al consumidor y derecho a la información.
5. Gestión y seguimiento de metas e indicadores.
6. Promoción del uso de Fuentes No Convencionales de Energía.

En el tema de Fuentes No Convencionales de Energía, el Plan establece como meta, tener en el año 2015 el 3.5% de participación de FNCE en el Sistema Interconectado Nacional y 20% de FNCE para las Zonas Interconectadas. Las Fuentes No Convencionales de Energía incluirán energía eólica, biomasa, pequeñas centrales hidroeléctricas y energía solar, entre otros.

Colombia cuenta con un amplio marco normativo en biocombustibles, donde a través de las Leyes 693 de 2001 y 939 de 2004, se estableció la obligatoriedad de la mezcla de componentes oxigenados en combustibles y el uso de biocombustibles de origen vegetal o animal en motores diesel, respectivamente. En el año 2008, el documento CONPES 3510 definió los lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, con 10 estrategias:

1. Creación de la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles
2. Definición de un programa orientado a reducir los costos de producción de los biocombustibles en las etapas de producción y transformación, con criterios de sostenibilidad ambiental y social.
3. Evaluación y definición de un plan de desarrollo de infraestructura de transporte
4. Continuar incentivando la producción eficiente de biocombustibles
5. Definición de un Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en Biocombustibles
6. Armonización de la Política Nacional de Biocombustibles con la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional
7. Definición de un nuevo esquema de regulación de precios de los biocombustibles
8. Continuación de la política de mezclas de biocombustibles y combustibles fósiles
9. Desarrollo de acciones específicas para abrir nuevos mercados y diferenciar el producto colombiano en los mercados internacionales.
10. Desarrollo de acciones para garantizar un desempeño ambientalmente sostenible a través de la incorporación de variables ambientales en la toma de decisiones de la cadena productiva de biocombustibles.

El objetivo de la política nacional de biocombustibles es propender por la diversificación de la canasta energética a través del uso de biocombustibles, con criterios de desarrollo agroindustrial, sostenibilidad ambiental y autosuficiencia energética.

El seguimiento a las estrategias de desarrollo de biocombustibles definidas en ese documento de política es función de la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles, creada mediante el decreto 2328 de 2008. La Comisión, es presidida por el Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural, e integrada además por representantes de los Ministerios de Minas y Energía, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Comercio, Industria y Turismo, Transporte y por el Departamento Nacional de Planeación.

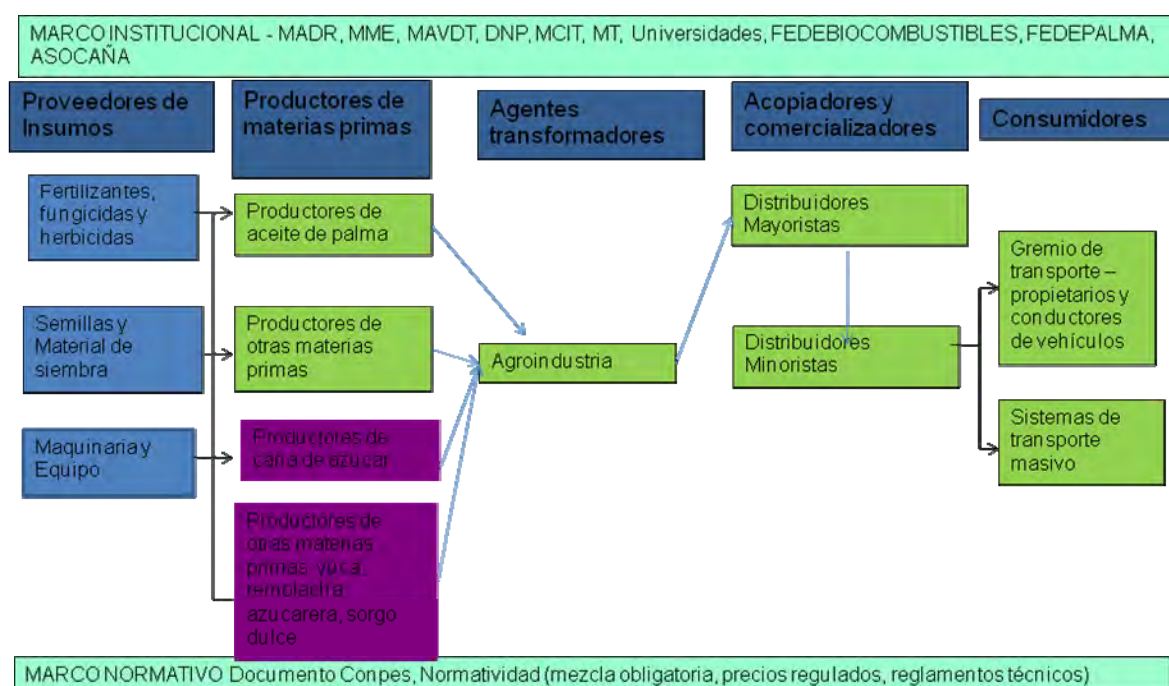
Conforme con los lineamientos de política, reconociendo la importancia que el sector de biocombustibles puede significar para el desarrollo agroindustrial del país, la estrategia nacional de biocombustibles plantea seguir aumentando la mezcla obligatoria de etanol y biodiesel, logrando en el mediano plazo unas mezclas cercanas al 20%, así como a incursionar en el mercado internacional exportando los biocombustibles colombianos, como un producto diferenciado, producido de manera sostenible.

El sector de biocombustibles se beneficia de una amplia gama de incentivos tributarios, los beneficios abarcan desde la producción de la materia prima agrícola hasta la comercialización de los biocombustibles. En efecto, los ingresos generados por el aprovechamiento de cultivos de tardío rendimiento, como la palma de aceite, están exentos del impuesto de renta por un término de 10 años, las plantas de producción de biocombustibles que cumplan con el requisito de inversión mayor a 75.000 SMMLV o vinculación de 500 empleos, pueden acceder a un régimen especial de Zonas Francas que les permite la importación de maquinaria sin el pago de aranceles y una tarifa única del impuesto de renta del 15%. Por último, tanto el etanol como el biodiesel con destino a la mezcla con gasolina y diesel respectivamente, se encuentran exentos de los impuestos al consumo.

Por otra parte, el Gobierno Nacional ha implementado una estructura de precios regulados, relacionada con el precio del hidrocarburo (con el cual compite el biocombustible), el precio de la materia prima (con la cual se produce el biocombustible) y un precio piso.

La cadena productiva de biocombustibles en Colombia, incluye todas las etapas de una cadena, como son los productores de materia prima, los proveedores de insumos, los agentes transformadores, acopiadores y comercializadores, terminando en los consumidores. Toda la cadena se desenvuelve en un marco normativo e institucional. El siguiente gráfico representa de forma esquemática la cadena de biocombustibles en Colombia.

Gráfica 2. Esquema cadena de biocombustibles en Colombia



Fuente: Elaboración propia

Los productores de biocombustible (etanol y biodiesel) dejan de ser solo productores agropecuarios, insertándose en el sistema energético del país, por lo que deben cumplir una serie de requisitos técnicos y ambientales que impone al producto terminado unas exigencias de calidad y desempeño, así como al productor de biocombustible la necesidad de registrar sus instalaciones ante el Ministerio de Minas y Energía y mantener cantidades definidas del producto almacenadas, para garantizar el continuo suministro al mercado nacional.

Los proyectos de biocombustibles, deben cumplir con las normas ambientales que para este fin expide el MAVDT, por ejemplo concesiones de aguas, licencias ambientales (en casos que se exijan), control de emisiones etc.

En julio de 2009, se aprobó la Especificación Nacional Disponible (una etapa previa a la expedición de una norma técnica) que define los lineamientos para la producción sostenible de biocombustibles, con 8 principios.

- Cumplimiento legal
- Cambio Climático y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
- Diversidad Biológica
- Protección ambiental

- Derechos humanos, laborales y bienestar social.
- Seguridad Alimentaria y Competencia con Usos Locales de la Biomasa.
- Prosperidad económica
- Transparencia

La producción de biocombustibles no es una tarea excluyente y trata de involucrar al pequeño productor en la cadena. Es así, como en el sector productivo de la caña, que en la actualidad es el principal proveedor de materia prima para etanol, el 25% del área pertenece a los ingenios, mientras el 75% corresponde a proveedores. Esto significa que el sector reúne a aproximadamente 1.600 cañicultores (entre grandes, medianos y pequeños).

A su vez, cerca de 7.000 productores palmeros son pequeños cultivadores que cada vez más se vinculan con los grandes cultivadores y comercializadores en Alianzas Estratégicas, conformando cerca de 109 Alianzas con 5.391 productores pequeños.

Ahora bien, la inserción de pequeños productores en la cadena de biocombustibles se perfila como una oportunidad, desarrollando proyectos con adecuados procesos de organización, viabilidad técnica, económica y ambiental y con permanente asistencia técnica. Para esto, los productores cuentan con distintos programas misionales que pone a su disposición el Ministerio de Agricultura, tal es el caso de Alianzas Productivas y Oportunidades Rurales o los esquemas de crédito asociativo, el Incentivo de Asistencia Técnica, la Línea Especial de Crédito y el Incentivo de la Capitalización Rural del Programa DRE.

El desarrollo del Programa Nacional de Biocombustibles, ha representado nuevas inversiones en el sector agrícola de alrededor US\$1.320 millones de dólares [26]

2. CADENAS DE PRODUCCION DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

2.1. Situación del sector agropecuario

Colombia tiene un gran potencial para el desarrollo agropecuario, con disponibilidad de tierras aptas, tanto para el uso agrícola como el uso pecuario y forestal. De la totalidad de las tierras agropecuarias el 77% se destina a la ganadería, 14% a la producción forestal y 7% a la producción agrícola. [22]

El sector agropecuario colombiano muestra en los últimos años una situación estable, tanto en las áreas dedicadas a la agricultura como en la producción de alimentos, con una disminución de cultivos transitorios e incremento de cultivos permanentes y forestales, de acuerdo al siguiente cuadro. La disminución en el año 2010 se debe principalmente a las muy difíciles condiciones de ola invernal que afectó a Colombia.

Tabla 1. Indicadores sectoriales

Indicador/año	2006	2007	2008	2009	2010
Área cultivos transitorios (Has)	1.564.597	1.597.065	1.648.160	1.608.972	1.516.649
Área cultivos permanentes (Has)	2.687.573	2.794.508	2.846.703	2.907.770	2.906.770
Área forestal (Has)	239.067	301.159	331.440	352.204	376.633
Total área dedicada a la agricultura (Has)	4.491.237	4.692.732	4.826.304	4.868.254	4.800.052
Producción agrícola (Ton)	24.409.700	25.422.942	25.035.761	25.349.120	23.975.674
Inventario ganadero (cabezas)	26.129.019	26.703.159	26.877.824	7.359.290	28.579.257
Producción Ganadera - carne y leche (Ton)	1.679.381	1.696.941	1.846.303	1.865.859	1.670.417
Producción avícola – pollo y huevos (Ton)	1.375.263	1.422.528	1.552.958	1.600.769	1.651.941
Producción porcícola (Ton)	148.239	177.196	169.821	170.050	185.379
Producción acuícola (Ton)	71.167	78.471	76.632	79.758	81.288
Total producción pecuaria (Ton)	3.274.050	3.375.136	3.645.714	3.716.436	3.589.025

Fuente: estadísticas MADR

El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 [28], reconoce el potencial del sector agropecuario para lograr el crecimiento económico fundamentado en una cultura de innovación, enmarcada en un entorno de productividad y competitividad, crecimiento que se impulsará por las cinco locomotoras de desarrollo:

- (i) los nuevos sectores basados en la innovación;

- (ii) la agricultura y el desarrollo rural;
- (iii) la infraestructura de transporte;
- (iv) el desarrollo minero y la expansión energética; y
- (v) la vivienda y el desarrollo de ciudades amables.

La política agropecuaria para el cuatrienio 2010 - 2014 se dirige a la implementación de mecanismos que permitan la generación de empleo e ingresos en la población rural, el incremento de la competitividad de la producción agropecuaria, la amplificación y diversificación del mercado interno y externo, la equidad en el desarrollo regional y la gestión del riesgo agropecuario.

2.2. Biocombustibles

2.2.1. Biodiesel

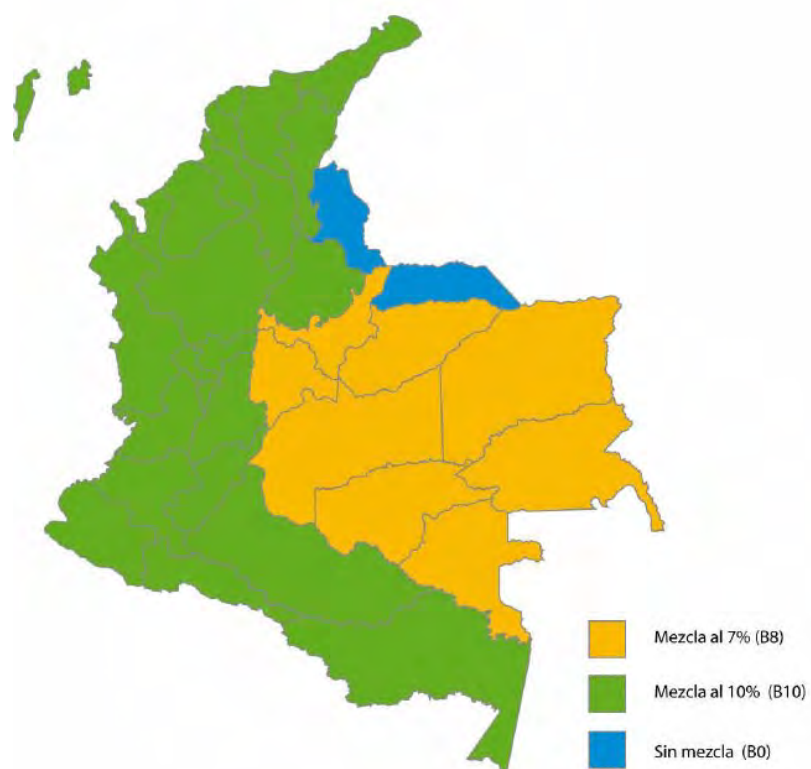
La producción de biodiesel, cuenta en el país con un amplio marco normativo, que incluye normas relacionadas con:

- la obligatoriedad de la mezcla – Ley 939/04
- exenciones tributarias – Ley 788/02 que definió las exenciones del impuesto global y del IVA para la mezcla de biodiesel; Ley 939/04 mediante la cual se establecieron exenciones en impuesto de renta para las plantaciones de cultivos de tardío rendimiento (como la palma africana); Ley 1004/05 y sus decretos 383/07, 4051/07, 4285/09 que reglamentan el tema de Zonas Francas, cuya declaración permite la importación de maquinaria sin el pago de aranceles y una tarifa única del impuesto de renta del 15.
- normas técnicas y ambientales – Resoluciones 1289/05, 180782/07, 182087/07
- fórmulas de precio, reguladas por el gobierno – Resoluciones 181780/05 y 180134/09

El país empezó con una mezcla de B5, solo en algunas zonas (Costa Atlántica), en el año 2008 y hoy tenemos una mezcla obligatoria de 7 y 10%, diferenciada por regiones, como se muestra en la siguiente gráfica. En un corto tiempo esperamos contar con una mezcla obligatoria de B10 unificada para todo el territorio colombiano, llegando en el mediano plazo

a ampliar esta mezcla a porcentajes mayores (B20) conforme terminen los estudios de viabilidad que de manera conjunta desarrollan el sector público y privado.

Gráfica 3. Mezcla obligatoria de biodiesel en Colombia



Fuente: MME [26]

La cadena de producción de biodiesel está estrechamente relacionada con la cadena de producción de aceite de palma, ya que esta es en la actualidad la única materia prima que es transformada en biodiesel. La experiencia del país y los avances en la cadena de producción de aceite de palma permitieron un rápido crecimiento de la producción de biodiesel,

El esquema de la cadena de biocombustibles (para etanol y biodiesel) se muestra en la gráfica 3, mientras la siguiente gráfica expone las etapas y productos de la cadena de la palma de aceite.

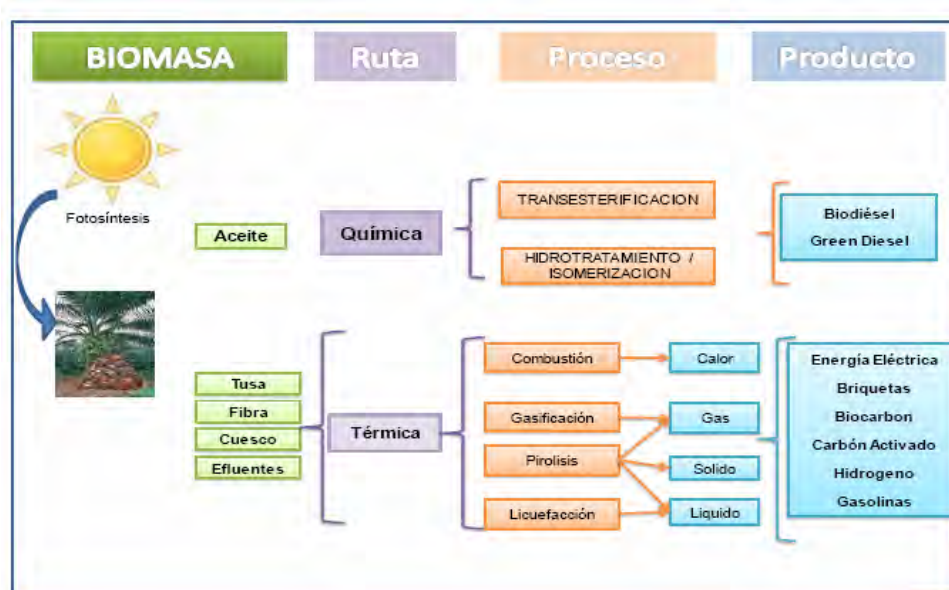
Gráfica 4. Esquema cadena de aceite de palma



Fuente. FEDEPALMA [20]

Al mirar la cadena de producción como una fuente de energía, también podemos encontrar otras tecnologías y usos de sus productos como fuente de energía, como lo muestra el siguiente diagrama.

Gráfica 5. Cadena de productos energéticos de palma



Fuente: FEDEPALMA [20]

La cadena de la palma de aceite es una de las cadenas muy importantes para el desarrollo agroindustrial del país que muestra un fuerte crecimiento en los últimos años, como se puede comprobar en las estadísticas de áreas sembrada y producción de aceite.

Tabla 2. Estadísticas sector palmero

Indicador/Año	2006	2007	2008	2009	2010
Área sembrada (Has)	292.570	306.961	337.038	360.620	404.104
Producción Aceite de Palma crudo (Ton)	714.308	733.241	777.509	804.838	753.075
Rendimiento aceite (Ton/Ha)	4,02	3,67	3,51	3,41	3,00

Fuente: FEDEPALMA[15]

El sector palmero colombiano, que se caracteriza por la gran disponibilidad de subproductos de alto nivel energético (racimos vacíos, fibra, cascarilla, efluentes líquidos), tiene la capacidad de generación de 75 y 160 Kwh/ tRFF, cuando la planta de procesamiento está en operación o parada, respectivamente, tres o cuatro veces mejor que cuando se utiliza un sistema tradicional con turbinas de vapor de contrapresión [31]. Solo el 20% de las plantas aprovechan los residuos para la cogeneración de energía.

Los racimos vacíos se utilizan en las plantaciones colombianas como complemento a la nutrición del cultivo y como barrera sanitaria [27], sin embargo a nivel mundial se conoce su aprovechamiento para la obtención de carbón activado, investigación en la cual también está avanzando Colombia en colaboración con la Universidad de Georgia para producir biocarbón mediante los procesos de pirolisis.

El sector sigue en su empeño por mejorar el desempeño ambiental del proceso productivo del aceite de palma. Recientemente fue aprobado [14] en las Naciones Unidas el “Proyecto Sectorial Sombrilla MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) de Fedepalma para la captura de metano, desplazamiento de combustibles fósiles y cogeneración de energía renovable”.

Con este hecho se dio luz verde a lo que se constituye, en su primera fase, el proyecto más grande del mundo de captura y mitigación del metano basado en el manejo de aguas residuales. Para la siguiente etapa de cogeneración y venta a la red de energía renovable derivada de biogás y biomasa, su potencial total es de 250 MW nominales instalado.

Este crecimiento del área de la palma y la organización social de la cadena facilitó la entrada de la cadena de biodiesel en el escenario nacional.

En la actualidad están en funcionamiento 6 plantas de biodiesel, con una capacidad nominal de 506.000 t/año, todas utilizan aceite de palma como la materia prima.

Tabla 3. Plantas de biodiesel en Colombia

Región	Proyecto	Capacidad (Ton/año)	Área (Has)	Empleos directos	Empleos indirectos
Norte (Cesar)	Oleoflores	70.000	15.555	2.222	4.444
Norte (Magdalena)	Odin Energy	36.000	8.000	1.142	2.284
Norte (Magdalena)	Biocombustibles Sostenibles del Caribe	100.000	22.222	3.174	6.348
Oriental (Cundinamarca)	BioD	100.000	22.222	3.174	6.348
Oriental (Meta)	Aceites Manuelita	100.000	22.222	3.174	6.348
Central (Santander)	Ecodiesel de Colombia	100.000	22.222	3.174	6.348
Total		506.000	112.443	16.060	32.120

Fuente: Cálculos propios

La entrada de biodiesel en el escenario palmero colombiano, permitió la utilización de 112 mil hectáreas a producir materia prima para el biodiesel, lo que representa cerca de 48 mil empleos entre directos e indirectos, utilizando para la producción los excedentes exportables de aceite, sin afectar la seguridad alimentaria de la población. Cerca de 7.000 productores palmeros son pequeños cultivadores que cada vez más se vinculan con los grandes cultivadores y comercializadores en Alianzas Estratégicas, conformando cerca de 109 Alianzas con 5.391 productores pequeños.

En el caso de grasas y aceites, nuestro país es netamente importador, sin embargo el sector de aceite de palma es un sector con excedentes exportables, que pueden destinarse a la producción de biodiesel, sin afectar la seguridad alimentaria. De acuerdo con FEDEPALMA (2008), se calcula que en el año 2009 el 50% del aceite de palma, se destina al mercado tradicional, 10% al mercado de exportación y 40% al mercado de biodiesel.

El sector agropecuario colombiano, por su baja participación en la producción, exportaciones y consumo mundiales tanto de aceites y grasas como de azúcares, es tomador de los precios del mercado internacional. Por lo tanto, las variaciones de los precios en Colombia, obedecen más a la situación macroeconómica, que a situación local de producción o comercialización de aceites y grasas.

El desarrollo del Programa Nacional de Biocombustibles, ha representado la sustitución de importaciones de *diesel ultra low sulfur* (actualmente 43.000 barriles / día). [26]

En el caso de biodiesel de palma, 5 de las 6 iniciativas en marcha en Colombia son lideradas por palmicultores, varias de ellas de forma asociativa. En las regiones palmeras de Colombia se unen los medianos y grandes empresarios con los pequeños productores en alianzas estratégicas, en las que confluyen los esfuerzos de todos en mutua disposición para el progreso.

El sector palmero está comprometido con la sostenibilidad ambiental de su producción y cuenta con guía ambiental ampliamente conocida y aplicada por el sector productivo.

Antes de la implementación de la estrategia nacional de biocombustibles, se han desarrollado en nuestro país varios estudios, que demuestran los beneficios ambientales y de desempeño de los biocombustibles, entre otros:

- Estudio de obtención de biodiesel a partir de aceites de fritura usados, desarrollado por el profesor Hugo Martínez de la Universidad Nacional, que permitió a nivel experimental establecer la caracterización de los aceites, la del biodiesel obtenido y la evaluación de su funcionamiento en motores. El estudio concluyó que el biodiesel puede ser utilizado como un oxigenante del ACPM, ya que disminuye progresivamente los niveles de opacidad a medida que incrementa su concentración en

la mezcla. Cabe anotar que las pruebas fueron realizadas en un motor de 3.900 centímetros cúbicos y 6 cilindros ensamblado en la Universidad Nacional.

- Estudio “Producción de biodiesel a partir de aceites vegetales utilizando enzimas libres”, desarrollado por la Universidad Nacional, sede Manizales, cuyos resultados sugieren que el aceite de palma refinado es el más apropiado para emplearse como materia prima en la reacción de transesterificación utilizando catalizadores alcalinos, debido a que posee una cantidad importante de ácidos grasos insaturados, lo cual permite obtener un biocombustible con buenas propiedades a bajas temperaturas; además, su bajo contenido de ácidos grasos libres no representa una condición limitante para el uso de catalizadores alcalinos.
- Estudio “Biodiesel - Una revisión del desempeño mecánico y ambiental” [2] de la Universidad de Antioquia, demostró que *“combustible aumenta entre 10 y 24%, para el biodiesel y sus mezclas, debido al menor poder calorífico del biocombustible comparado con el del diesel convencional. Las emisiones de CO disminuyen de 10 a 50%, HC 12 a 55%, con B30 y B100 respectivamente. La opacidad de humos disminuye entre 0 y 30% y los SOx entre 20 y 100%, debido al escaso contenido de azufre del biodiesel. La reducción global de CO₂ es de 16 a 78,4% para B20 y B100 respectivamente. La ventaja medioambiental de biodiesel es el cierre del ciclo de vida del CO₂ (emisión nula), pues las plantas oleaginosas por medio del proceso de fotosíntesis toman este gas y lo transforman en oxígeno”*.
- El estudio “Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma”, desarrollado por la Universidad de Antioquia y publicado en 2005 en la revista Ingeniería y Desarrollo de la Universidad del Norte [1], mostró que el índice másico de CO₂ se redujo en 0.6, 1.4 y 2.7% al usar B5, B10 y B20 respectivamente. Mientras que el diesel convencional emite 3.13 kg CO₂/kg comb, las mezclas B5, B10 y B20 emiten 3.1, 3.01 y 3.06 kgCO₂/kgcomb respectivamente. Este trabajo presentó ligeros incrementos en las emisiones específicas de NO_x al usar biodiesel. Las mayores diferencias (en torno a un 3% para B20) se produjeron a elevados grados de carga, en los que las condiciones de temperatura en el motor son mayores.

- El estudio “Evaluación de mezclas de biodiesel de palma como combustible diesel” [11] desarrollado por ECOPETROL-ICP y Cenipalma, en banco de pruebas demostró una disminución en todas las emisiones contaminantes en motores estacionarios (desde el 7 hasta el 53%), incluidas las emisiones de óxidos de nitrógeno.

En cuanto a modificación de ecosistemas y posible afectación de la biodiversidad, teniendo en cuenta la diferenciación entre la expansión de la frontera agropecuaria, ampliación de áreas dentro de la frontera o mantenimiento de áreas con reorientación productiva establecida por el Instituto Alexander von Humboldt [18], está clara la ventaja comparativa de Colombia en el sentido de la disponibilidad de tierras aptas para agricultura, subutilizadas dentro de la frontera agrícola, básicamente en la producción pecuaria extensiva.

Dicha evaluación ambiental estratégica en biocombustibles arrojó un resultado bastante prometedor en cuanto al índice de amigabilidad ambiental que es mejor en el cultivo de palma, en comparación con la ganadería extensiva.

Gráfica 6. Índice de amigabilidad



Fuente: IvH [18]

De acuerdo con este estudio, los impactos sobre la biodiversidad podrían ser positivos, cuando áreas con vocación agrícola y forestal destinadas actualmente a ganadería extensiva, sean convertidos a cultivos como la palma de aceite.

Está claro, que cualquier reconversión necesita de una evaluación previa de suelos y análisis de la oferta – demanda de recurso hídrico, situación regional de producción de alimentos así como de un acompañamiento técnico y ambiental a la producción instalada.

En cuanto a la utilización de agua por riego en el sector palmero, esta cambia de acuerdo al comportamiento de la oferta hídrica para cada zona palmera. En la Zona Norte se presenta una mayor demanda anual, en los departamentos del Magdalena y Cesar, para lo cual se tiene la infraestructura básica de riego y su captación y concesión está debidamente aprobada por la Autoridad Ambiental correspondiente. Le sigue en importancia de uso del recurso hídrico la Zona Oriental, en los departamentos del Meta y Casanare. Las Zonas Central y Occidental por la oferta hídrica adecuada, no requieren agua para riego.

En el proceso de producción de biodiesel, el subproducto producido es la glicerina, que se obtiene en una proporción del 10%, o sea por una tonelada de aceite utilizado se produce una tonelada de biodiesel y 100 kg de glicerina. Este subproducto del proceso de producción de biodiesel es utilizado en la industria química para jabones y detergentes, sin embargo en el mundo hay diversas iniciativas para su utilización como por ejemplo como aditivo del biodiesel o desarrollo de nuevas tecnologías que disminuyan o supriman la generación de este subproducto.

En Colombia también estamos investigando el posible uso de la glicerina como suplemento alimenticio para animales, en el proyecto de investigación en ejecución por la Universidad Nacional de Medellín, que con aporte del Ministerio busca evaluar el efecto de la suplementación de forrajes con glicerol proveniente de la obtención de biodiesel, para incrementar la producción y la competitividad en la producción de leche, por el aumento de su calidad composicional y el CLA (Ácido linoléico conjugado).

Otro de los proyectos de investigación, cofinanciado por el MADR, en ejecución por la Universidad de Antioquia - “Tecnologías avanzadas de oxidación aplicadas a la descontaminación de los efluentes líquidos asociados a la producción de biodiesel en Colombia” – revisó los nuevos procesos tecnológicos, más amigables con el ambiente y más eficientes en cuanto al tratamiento de los efluentes generados en el proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales.

Para buscar otras alternativas de materias primas para la producción de biodiesel, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural está financiando la investigación en la cadena de biocombustibles, que para el caso de biodiesel, incluye evaluación y zonificación de áreas aptas, desarrollo de paquetes tecnológicos para cultivos como jatropha o higuierilla, así como incursionamos en la investigación de microalgas colombianas, como posible fuente de aceites para la producción de biodiesel.

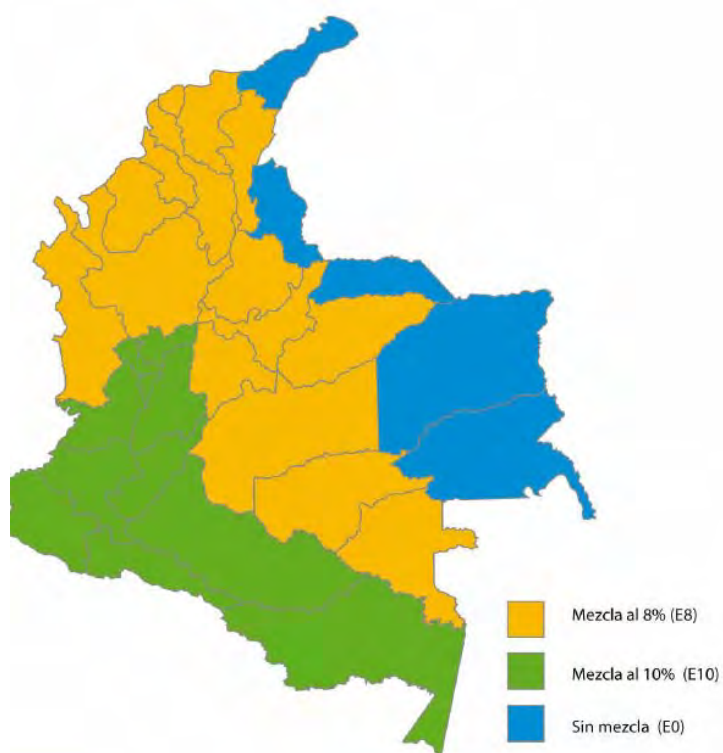
2.2.2. Etanol

La producción de etanol, cuenta en el país con un amplio marco normativo, que incluye normas relacionadas con:

- la obligatoriedad de la mezcla – Ley 693/01
- exenciones tributarias – Ley 788/02 que definió las exenciones del impuesto global, IVA y sobretasa para la mezcla de etanol; Ley 1004/05 y sus decretos 383/07, 4051/07, 4285/09 que reglamentan el tema de Zonas Francas, cuya declaración permite la importación de maquinaria sin el pago de aranceles y una tarifa única del impuesto de renta del 15.
- normas técnicas y ambientales – Resoluciones 180687/03, 181069/05
- fórmulas de precio, reguladas por el gobierno – Resoluciones 181088/05, 180222/06, 181232/08 y 180120/09

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 tenemos una mezcla obligatoria de 8 y 10%, de acuerdo a la producción nacional y disponibilidad de etanol para la mezcla, como se muestra en la siguiente gráfica. Los planes del gobierno y del sector privado incluyen llegar en mediano plazo (2013) a mezclas obligatorias mayores, conforme con los resultados de los estudios de viabilidad que se están desarrollando, para en 2015 permitir la entrada en Colombia de mezclas flexibles para vehículos Flex Fuel.

Gráfica 7. Mezcla obligatoria de alcohol carburante en Colombia



Fuente: MME [26]

La producción de etanol en Colombia está vinculada de manera directa con el sector azucarero nacional, que cuenta con una historia de más de 100 años de desarrollo. 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 asegurado, aprovechando para la producción de etanol los excedentes de exportación.

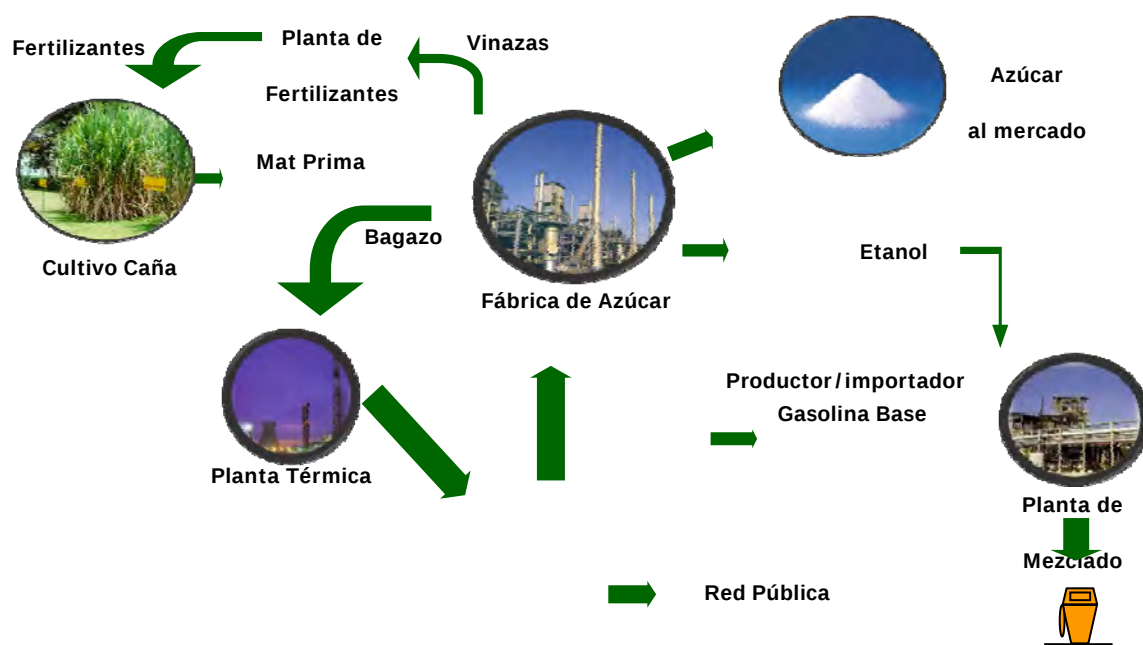
Tabla 4 . Estadísticas sector azucarero 2006-2010

Indicador/Año	2006	2007	2008	2009	2010
Área sembrada (Has)	203.184	202.926	205.664	208.254	219.309
Producción caña molida (Ton)	22.019.933	21.090.203	19.207.728	23.588.646	20.272.594
Rendimiento caña (Ton/Ha)	118,4	113,9	120,9	120,3	114,6
Producción de etanol)miles de litros	265.684	271.773	255.584	324.563	287.062

Fuente: ASOCAÑA [4]

La cadena de azúcar genera en Colombia más de 36.000 empleos directos y 216.000 indirectos. El empleo que genera tanto el sector azucarero, es empleo de calidad. Más de un millón de personas depende del cluster de caña de azúcar, con promedio de tiempo laboral de 10 años. El 80% de los trabajadores de nómina cuenta con casa propia. La mitad de los empleados de este sector tiene formación técnica o universitaria (20% con postgrados).

Gráfica 8. Esquema cadena de azúcar



Fuente: ASOCAÑA

De acuerdo a las ventajas competitivas y comparativas de Colombia, la producción de etanol se realiza a escala comercial principalmente a partir de la caña de azúcar, con unos tímidos esfuerzos y búsquedas de aprovechamiento de otras materias primas (yuca, remolacha azucarera, sorgo dulce). De los 6 proyectos que están funcionando en el país, con una capacidad nominal de 1.275.000 litros/días, 5 plantas son del sector azucarero en el valle geográfico del Río Cauca, produciendo actualmente cerca de 1.250.000 litros diarios de etanol.

Tabla 5. Plantas de alcohol carburante en Colombia

REGION	INVERSIONISTA	CAPACIDAD (L/DIA)	HECTAREAS	EMPLEOS DIRECTOS	EMPLEOS INDIRECTOS
Suroccidente (Miranda, Cauca)	Incauca	350.000	11.942	2.171	4.342
Suroccidente (Palmira, Valle)	Providencia	300.000	9.287	1.688	3.376
Suroccidente (Palmira, Valle)	Manuelita	250.000	8.721	1.586	3.172
Suroccidente (Candelaria, Valle)	Mayagüez	250.000	6.587	1.198	2.396
Suroccidente (La Virginia, Risaralda)	Risaralda	100.000	3.004	546	1.092
Llanos (Pto. López, Meta)	GPC	25.000	1.200 (yuca)	240	480
TOTAL		1.275.000	40.741	7.429	14.858

La industria azucarera es una industria inclusiva, el 25% de las tierras utilizadas para la producción de caña, pertenece a los ingenios, mientras el 75% corresponde a proveedores que suministran la materia prima para su transformación. Esto significa que el sector reúne a aproximadamente 1.600 cañicultores (entre grandes, medianos y pequeños).

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.

Antes de la implementación de la estrategia nacional de biocombustibles, se han desarrollado en nuestro país varios estudios, que demuestran los beneficios de los biocombustibles, entre otros:

- Estudio de mezclas de gasolina con etanol anhidro, desarrollado por ICP y ECOPETROL en 2003-2005, muestra una disminución en las emisiones de todos los compuestos contaminantes, tanto para la mezcla de la gasolina corriente como para la gasolina extra con el 10% de alcohol carburante. Según dicho estudio la adición de 10% de Etanol Anhidro a la gasolina aumenta de 2 a 3 unidades el Índice Anti-Detonante (IAD) de la Gasolina Corriente y de 1 a 2 el de la Gasolina Extra, incrementa la presión de vapor (RVP) entre 1.0 y 1.3 psi, aumenta su afinidad por el agua, por lo cual es necesario controlar su contenido, muestra reducciones de emisiones de CO de hasta un 48%, y hasta un 20% en THC, sin pérdida apreciable de potencia (en un motor de prueba de carburador) y una reducción de emisiones de CO entre 22% y 50% para vehículos de carburador y reducciones menores para vehículos de inyección en vehículos de prueba en Bogotá.

En cuanto a modificación de ecosistemas y posible afectación de la biodiversidad, teniendo en cuenta la diferenciación entre la expansión de la frontera agropecuaria, ampliación de áreas dentro de la frontera o mantenimiento de áreas con reorientación productiva establecida por el Instituto Alexander von Humboldt [18], está clara la ventaja comparativa de Colombia en el sentido de la disponibilidad de tierras aptas para agricultura, subutilizadas dentro de la frontera agrícola, básicamente en la producción pecuaria extensiva.

Dicha evaluación ambiental estratégica en biocombustibles arrojó un resultado bastante prometedor en cuanto al índice de amigabilidad ambiental que es mejor en el cultivo de la caña de azúcar, en comparación con la ganadería extensiva.

Gráfica 9. Índice de amigabilidad



Fuente: IvH [18]

De acuerdo con este estudio, los impactos sobre la biodiversidad podrían ser:

- menos favorables y con altas reservas o restricciones, cuando se presente la sustitución entre la ganadería extensiva y la caña de azúcar, por el potencial alto uso de agroquímicos, maquinaria, y del recurso hídrico en el sistema de producción de la caña de azúcar.
- Neutros, cuando un cultivo de caña de azúcar reemplaza a otro cultivo transitorio igual o menos favorable ambientalmente, como por ejemplo el caso de arroz.

Está claro, que cualquier reconversión necesita de una evaluación previa de suelos y análisis de la oferta – demanda de recurso hídrico, situación regional de producción de alimentos así

como de un acompañamiento técnico y ambiental a la producción instalada. En el caso cañero y azucarero colombiano no se ha presentado la sustitución de cultivos ya que se aprovecharon las tierras ya dedicadas a la caña, desde hace más de 100 años.

La industria azucarera colombiana, consciente de la protección del ambiente y del compromiso social que tiene con su entorno, ha venido trabajando en actividades que propenden por el uso racional y sostenible del agua, específicamente estableciendo estrategias que apuntan a la disminución de la contaminación y el consumo de este recurso. Podemos señalar que hoy “el uso del agua en el sector se ha reducido en un 50% en los últimos veinte años, gracias a los sistemas desarrollados por Cenicaña. El sector azucarero es el que aporta menos carga contaminante al río Cauca: es responsable solamente del 2% de la que se vierte a su caudal por todos los sectores productivos y municipios de la región” [3].

El proceso de producción de etanol produce gran cantidad de efluentes – vinazas, a nivel mundial esta producción de vinazas llega a 10-13 litros de vinaza por cada litro de etanol producido. Sin embargo, el proceso tecnológico utilizado por las refinerías colombianas es altamente amigable ambientalmente, las destilerías del sector producen desde 0.89 a máximo 3 litros de vinaza por cada litro de etanol [3]. Además esta tecnología permite aumentar la concentración de sólidos totales del 10 al 60%.

La vinaza, con un adecuado tratamiento, se puede convertir en un co-producto útil para la fertilización del campo o para la alimentación animal. Además, la literatura menciona otras posibilidades de uso de este co-producto, como aditivo de hormigón en la construcción, en la compactación y eliminación del exceso de polvo en vías carretables, fabricación de aglomerados, curtiembres y productos para la limpieza de calderas, entre otros.

La última temporada invernal en el país, que afectó entre otras la región del Valle del Cauca, obligó a suspender la mezcla de etanol en el mes de diciembre de 2010, restableciendo nuevamente el suministro en febrero de 2011. Esta suspensión demuestra claramente las prioridades del gobierno nacional en la implementación de la política de biocombustibles, que son el desarrollo rural pero también la seguridad alimentaria, por tanto en momentos de necesidad se suspendió la mezcla para destinar toda la producción de la caña a transformarla en azúcar.

La investigación que financia el MADR en la cadena de etanol se dirige principalmente al mejoramiento de los procesos de producción, tecnologías de etanol celulósico, evaluación del desempeño en motores y materias primas opcionales como sorgos dulces o yuca

2.2.3. Otras iniciativas - Biomasa

Colombia no tiene una cadena de otros productos de bioenergía bien estructurados, sin embargo si contamos con un estudio de potencialidad de biomasa, que demuestra que esta fuente de energía podría tener una más amplia utilización en el futuro.

Actualmente contamos con varios proyectos de aprovechamiento de biogás proveniente de residuos municipales, los cuales se convierten en el principal tipo de proyecto bajo el mecanismo MDL, como se puede verificar en la siguiente tabla de proyectos MDL aprobados por el MAVDT, donde del total de 39 proyectos, 10 se relacionan con biogás, en su mayoría a partir de rellenos sanitarios.

Tabla 6. Proyectos MDL en el tema de biogás

Proyecto	Departamento	Municipio	Año
Manejo de gas en los rellenos sanitarios Curva de Rodas y la Pradera	Antioquia	Medellín	2008
Recuperación y combustión del biogás generado en el relleno sanitario La Esmeralda	Caldas	Manizales	2008
Captación, tratamiento y aprovechamiento energético del biogás proveniente del relleno sanitario Doña Juana	Cundinamarca	Bogotá	2008
Recuperación y combustión del biogás generado en el relleno sanitario El Guayabal	Norte de Santander	Cúcuta	2008
Proyecto de desgasificación del relleno sanitario Antanas	Nariño	Pasto	2009
Relleno sanitario de Pirgua en Tunja, Boyacá	Boyacá	Tunja	2008

Introducción de la recuperación y combustión de metano en el sistema de tratamiento de lodos existentes en la PTAR de Cañavalejo, Cali, Colombia	Valle	Cali	2008
Parque ecológico Praderas del Magdalena	Cundinamarca	Girardot	2008
Cambio de combustible en INCAUCA (aprovechamiento biomasa residual de cosecha para desplazar el consumo de carbón)	Cauca	Miranda	2007
Cemex Colombia: proyecto de Biomasa (sustitución parcial de combustible fósil por biomasa)	Tolima	Payandé	2007

Además de estos proyectos de MDL, contamos en el país con las iniciativas de cogeneración, relacionadas directamente con las cadenas de etanol y biodiesel. En el año 2007, con una inversión de 31 millones de dólares, los ingenios azucarero ampliaron su capacidad de generación de energía a través de bagazo, llegando así a 120 MW, que corresponde a cerca de la mitad del potencial total de generación de energía del sector azucarero (si se tiene en cuenta toda la biomasa generada en la cosecha y molienda de caña, es decir, tanto el bagazo como las hojas que actualmente no son aprovechadas en su totalidad). Mientras tanto, el sector palmero colombiano, se caracteriza por la gran disponibilidad de subproductos de alto nivel energético (racimos vacíos, fibra, cascarilla, efluentes líquidos), tiene la capacidad de generación de 75 y 160 Kwh/ tRFF, pero solo el 20% de las plantas aprovecha los residuos para la cogeneración de energía

También algunos proyectos apoyados por el IPSE Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas, instituto entre cuyas funciones está la planificación y promoción de soluciones energéticas integrales, viables financieramente, autosostenibles en el largo plazo y asociadas a proyectos de desarrollo productivo en los territorios que conforman las Zonas No Interconectadas ZNI, tienen relación con bioenergía, como:

- Proyecto municipio de Necoclí (Antioquia). Generación de energía eléctrica a partir de residuos de madera mediante tecnología de gasificación, en el corregimiento El Totumo.

- Proyecto de Multigeneración Belén de Bajira (Chocó). Aprovechando el proceso de extracción de aceite producto del cultivo de Palma se instalará una pequeña planta de Biodiésel. Con los residuos líquidos del proceso implementarán biodigestores para generar energía eléctrica. Igualmente se generará energía vía mezclas de aceite crudo con ACPM.
- Generación de Energía aprovechando del Relleno Sanitario en San Andrés vía pirolisis (Isla de San Andrés). Se ha establecido un potencial de generación de 4 MW. Se utilizarán las 40 toneladas/día de basura, así como el material almacenado durante varios años. Tecnología a utilizar: Pirolisis.
- Generación de Energía a partir de Pastos mediante la tecnología de Biogás en Puerto Leguízamo. Se utilizará la descomposición de los pastos para generar energía utilizando descomposición bacteriana para producir Biogás.

De esta manera, consideramos que la biomasa, como fuente energética, podría en mediano plazo, convertirse en el tercer segmento (además de biodiesel y etanol) en la producción de bioenergía en Colombia.

3. POSIBILIDAD DE PROYECTOS

Colombia participa activamente en el Programa Mesoamericano de Biocombustibles, con un esfuerzo de todos los países de establecer una red de investigación en biocombustibles, iniciativa que podría ser apoyada por la FAO, para su sostenibilidad y ampliación de la idea a América del Sur.

Colombia, no está ajeno a la investigación y búsqueda de nuevas posibles fuentes para su utilización como materia prima para la producción de biocombustibles. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha priorizado la inversión en proyectos de investigación en el campo de los biocombustibles, con el objeto de mejorar la productividad de la producción actual y además, evaluar la eficiencia de diferentes materias primas alternativas. En las convocatorias 2004-2008 se cofinanciaron 31 proyectos, por un valor total de \$32.787 millones, donde el aporte del MADR asciende a \$15.773 millones.

Los proyectos están avanzando en evaluación de materias primas como caña, yuca y sorgo dulce, palma, higuera, jatropha, sachapallino, procesos más limpios y eficientes para la producción de etanol y biodiesel, utilización de los subproductos del proceso así como también estamos avanzando en la investigación en biocombustibles de II generación (microalgas).

Existen diferentes temas de investigación que se están desarrollando en casi todos los países, que podrían servir de punto de partida para un proyecto regional de investigación en biocombustibles, en los cuales nos gustaría participar para aportar nuestros avances y desarrollar iniciativas regionales, como

- Evaluación de materias primas opcionales para la producción de biocombustibles, especialmente en el tema de algas y jatropha
- Análisis de Ciclo de Vida
- Tecnologías de obtención de alcohol celulósico
- Dendroenergía

El tema de bioenergía se convierte en un tema muy importante de cooperación internacional, que permite pensar en grandes iniciativas multilaterales y regionales, siempre buscando la sostenibilidad del sistema de producción de biocombustibles y la ampliación de los beneficios a los productores agropecuarios.

4. CONCLUSIONES

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.

Los estudios de zonas geográficas con mayor aptitud para los cultivos de palma de aceite y caña de azúcar, teniendo en cuenta la situación climática, edafológica y ambiental, muestran 3,5 millones de hectáreas aptas para palma de aceite y 3,9 millones de hectáreas aptas para caña de azúcar, lo que permite creer que el avance de la producción de biocombustibles Seguirá creciendo cumpliendo las expectativas del gobierno y de los colombianos.

Tabla 7. Área potencial para palma de aceite

REGION	DEPARTAMENTOS	ÁREA POTENCIAL (HA)
ORIENTAL	Cundinamarca, Meta, Casanare	1.933.821
CENTRAL	Bolívar, Santander, Norte de Santander	693.103
NORTE	Cesar, Magdalena, Antioquia – Urabá	579.493
OCCIDENTAL	Nariño	66.865
OTRAS		226.718
TOTAL		3.500.000

Tabla 8. Área potencial para caña de azúcar

DEPARTAMENTO	ZONA	AREA POTENCIAL (HA)
Cesar	Río Cesar	1.506.458
Santander	Río Lebrija	471.014
Tolima	Río Magdalena	315.770
Córdoba	Río León	308.679
Bolívar, Atlántico	Planicies	302.280
Magdalena	Prado y Sevilla	289.512
Valle, Cauca, Risaralda	Río Cauca	210.000
Meta	Piedemonte, Altillanura	200.000
Antioquia	Urabá	187.000
Huila	Río Magdalena	48.245
Cundinamarca	Tocaima	33.061
Norte de Santander	Río Zulia	26.202
TOTAL		3.898.221

Se han venido rompiendo paradigmas sobre el uso del biodiesel en mezclas con el combustible fósil.- Es factible transportar mezclas de biodiesel – diesel por los poliductos sin afectar la calidad de otros productos como el Jet A-1 - Prueba piloto de Transporte por poliductos - Ecopetrol S.A (Es cuestión de mantener estrictas condiciones operacionales). Es posible manejar el biodiesel en zonas frías con diversas alternativas – cada agente escoge la solución costo efectiva que más le convenga - Trazadores eléctricos, Aditivos, Premezclas.

Se finalizó sin contratiempos las pruebas de larga duración con Biodiesel de Palma en una flota de servicio público – 100.000 kms – B-5, B-10, B-20, B-30 y B-50, así como en el sistema de transporte de carga operando con diferentes mezclas de biodiesel.

Se están desarrollando investigaciones tripartitas (Sector público, privado y academia) para avanzar en el programa de mezclas - Protocolo E12-E15- E20

Con el apoyo de los recursos del BID se están terminando bajo la coordinación del Ministerio de Minas y Energía dos estudios, muy importantes para seguir avanzando en el país en el programa de biocombustibles con un incremento de mezclas obligatorias, entrada en el mercado nacional de las mezclas voluntarias mayores, con la entrada paralela de vehículos Flex Fuel, así como en avanzar en alcanzar los mercados externos, sobre todo aprovechando las condiciones de los TLC que firmó o está negociando Colombia (Canadá, Unión Europea, Estados Unidos, Corea)

Para el sector agropecuario es muy importante seguir apoyando la cadena de biocombustibles, porque significa aumentar el área dedicada a agricultura y empleo rural y contamos con las áreas aptas para atraer nuevas inversiones.

El país, también está empeñado en el desarrollo de su propio sistema de certificación de la sostenibilidad de los biocombustibles, así como acompañamos distintas iniciativas internacionales (como GBEP, ISO, o mesa redonda de la sostenibilidad de biocombustibles y de palma).

Como se ha demostrado, la política de biocombustibles ha traído al país beneficios ambientales, sociales y económicos y esperamos seguir avanzando en su implementación como una política del Estado.

El Gobierno mantiene la política de biocombustibles, sosteniendo que no se disminuirán las mezclas y los cambios y aumentos se concertarán en la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles, teniendo en cuenta la capacidad de la producción nacional y los resultados de estudios técnicos.

“Llegar a donde ha llegado la agroindustria de los biocombustibles en Colombia, toma tiempo, pero el país lo ha hecho bien. Este sector tiene un objetivo cierto de expansión e innovación y alta tecnología. Todo se ha hecho y se hará con investigación y tecnología y, como ya se dijo, preservando el medio ambiente.”[17]

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Agudelo J. R., Bedoya I. D., Agudelo A. F. (2005) - Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma, en Ingeniería y Desarrollo. No. 18/2005 Uninorte
- [2] Agudelo J. R., Benjumea P., Gómez Meneses E., Pérez Bayer J. F. (2002) - Biodiesel - Una revisión del desempeño mecánico y ambiental, - en Ingeniería y Desarrollo. No. 13/2003 Uninorte
- [3] ASOCAÑA (2008) – Informe ejecutivo 2007-2008
- [4] ASOCAÑA (2011) – Informe Anual Sector Azucarero Colombiano 2010-2011
- [5] Asociación de Periodistas Económicos (2011) Tendencias energéticas mundiales –, <http://www.ape.org.co/tendencias-energeticas-mundiales/>
- [6] BNDES y CGEE (2008) – Bioetanol de caña de azúcar. Energía para el desarrollo sostenible – trabajo coordinado por Banco de Desarrollo de Brasil BNDES y Centro de Gestión y Estudios Estratégicos CGEE de Brasil, revisado por la FAO y CEPAL
- [7] Bonilla M., (2007) - Biocombustibles – Presentación MAVDT en el I Seminario Biocombustibles 2007, organizado por Virtual Pro en Bogotá
- [8] CGR (2008) – Biocombustibles: seguridad alimentaria e impacto ambiental – resumen ejecutivo de la Agenda Ciudadana
- [9] ECOPETROL, CENIPALMA, Si99, FEDEPALMA (2009) – Pruebas de larga duración con biodiesel de palma
- [10] ECOPETROL – ICP (2005) - Efecto del Etanol sobre las Propiedades Físico Químicas de las Gasolinas Colombianas y Desempeño en Motores y Vehículos – en Programa Nacional de Oxigenación de las Gasolinas con Etanol Anhidro, de www.ecopetrol.com.co
- [11] ECOPETROL-ICP, CENIPALMA (2005) Evaluación de mezclas de biodiesel de palma como combustible diesel.
- [12] EPA - A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, en Biomass Program: Environmental Benefits del Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2006
- [14] FEDEPALMA (2009) - Fedepalma se vincula al Protocolo de Kyoto – en <http://www.fedepalma.org/cgi-bin/noticia.pl?id=609>
- [15] FEDEPALMA (2011) - Anuario estadístico
- [16] FEDEBIOCOMBUSTIBLES, FDQ (2005) – Por las rutas de la Biogasolina – en www.fedebiocombustibles.com
- [17] FEDEBIOCOMBUSTIBLES (2011) – Biocombustibles – Una Industria en Marcha

- [18] IAvH (2008) – Sostenibilidad ambiental de políticas, planes y programas de biocombustibles en Colombia – Evaluaciones Ambientales Estratégicas, proyecto liderado por el MAVDT
- [19] Martínez J., (2008) – Sector Azucarero Colombiano: Mucha energía – presentación en Cali, marzo 2008
- [20] MESA, J (2011) - Potencial de la Palma de Aceite en la Producción de Energías Renovables – Presentación en el Congreso Mundial de Energías Renovables, en Buenos Aires, Argentina
- [21] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2011) – Cartilla de política agropecuaria 2010-2014
- [22] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, CORPORACION COLOMBIA INTERNACIONAL (2010) – Encuesta Nacional Agropecuaria 2009
- [23] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2011) – Agenda prospectiva de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para la seguridad alimentaria colombiana, vista desde la disponibilidad de alimentos
- [24] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2010) – Memorias al Congreso de la República 2006-2010
- [25] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2011) – Memorias al Congreso de la República 2010-2011
- [26] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA (2011) - Política pública y perspectivas de los biocombustibles en el actual Gobierno, presentación en Foro FENALCO en Bogotá
- [27] Mosquera M., Bernal P., Silva A., (2009) – Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena de oleaginosas, grasas y aceites en Colombia con énfasis en oleína roja.
- [28] Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 - “Prosperidad para todos”
- [29] Ríos, L.A., (2009) – Informe de avance proyecto “Evaluación de la calidad del biodiesel obtenido de oleaginosas autóctonas” - presentado en el taller de biocombustibles desarrollado en febrero 2009 por el MADR
- [30] Rodríguez M., (2008) - ¿Cuáles son los factores de sostenibilidad o insostenibilidad ambiental de la producción de biocombustibles en Colombia? – en <http://www.foronacionalambiental.org.co/libreria/pdf/SostenibilidadBiocombustiblesCongresoMRB.pdf>
- [31] Silva E., et all (2007) - Potencial de cogeneración de energía eléctrica en la agroindustria colombiana de palma de aceite: tres estudios de caso – en Palmas, Vol. 28 especial. Memorias tomo 2-2007
- [32] Schuetz G., (2007) - Overview of the global biofuels market – Presentación en la Conferencia UNCTAD sobre “Biocombustibles: una opción para las economías de menor intensidad en carbono”

- [33] UPME (2010) - Boletín estadístico de minas y energía 1990-2010
- [34] UPME (2007) - Alternativas de utilización de biogás de rellenos sanitarios en Colombia - http://www.upme.gov.co/Upme12/2007/Upme13/Biogas_Rellenos_Sanitarios.pdf
- [35] UPME, (2003) - Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás - http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_IMPLEMENTACION_SISTEMAS_PRODUCCION_DE_BIOGAS.pdf
- [36] UPME – Energías renovables: descripción, tecnologías y usos finales
- [37] UPME (2009) – Biocombustibles en Colombia