

**“ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE
SEGUNDA GENERACIÓN, A PARTIR DEL
APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA
DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN
BOGOTÁ – COLOMBIA”.**



GERMÁN DARÍO PALACIOS PALACIOS

**DIRECTOR
ING. MSc. JOSÉ ALEJANDRO MARTÍNEZ S.**

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN
Titulación como Especialista en Gestión de Residuos Sólidos**

**UNIVERSIDAD EAN
FACULTAD DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
BOGOTÁ – COLOMBIA
2014**

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**. Forjador de mi vida, por proporcionarme esta oportunidad de crecimiento personal y profesional.

A mi **Familia y amigos**. Por el tiempo concedido, comprensión y sus palabras de aliento.

Al Ingeniero y mentor profesional **José Alejandro Martínez S**. Por su paciencia, orientación del conocimiento e impulso para seguir adelante.

A la **Universidad EAN** y su cuerpo docente. Por su contribución al conocimiento y enseñanzas recibidas para el fortalecimiento profesional y académico.

Al Semillero de investigación **Vestigium** de la Facultad de ingeniería de la Universidad EAN y a la docente **Lina María Perez**.

A **Carolina Vásquez Rodríguez**. Por su motivación, inspiración, invaluable ayuda y acompañamiento en el viaje.

A **todos** los que creen que **si** es posible hacer del mundo un mejor lugar día a día.

A TODOS GRACIAS...

RESUMEN

La subsistencia, es la principal tarea que desarrolla el ser humano, está intrínseca en él como instinto innato y al igual que cualquier organismo terrestre, se alimenta de los recursos que brinda la naturaleza, para obtener la energía suficiente y cumplir con sus actividades de subsistencia. Lo anterior hizo que desarrollara habilidades y destrezas, que puso en práctica hace muchos miles de años, con la cacería y la recolección, causando un impacto mínimo sobre la naturaleza. Cuando comenzó a cultivar el campo, se dio comienzo a la agricultura, hace unos 10.000 años con la consecuente tala de bosques, afectación de las praderas y en general uso del suelo para obtener tierras de cultivo y también combustible como fuente de energía para abastecer la construcción de poblados y permanencia de sí mismo en un territorio; de esta forma se multiplicó la presencia y acción del hombre sobre el medio (Toledo, 1998).

La energía desde siempre, permite que el ser humano interrelacione o interactúe con el medio que lo rodea y otorga la capacidad para realizar una actividad o una operación como un atributo para lograr un cambio y es demandada constantemente para mantener el ritmo de vida del ser.

Indiscutiblemente, el Homo Sapiens haciendo uso de las fuentes de energía a su alcance supo conducir sus propósitos hasta el punto en que el 11% del total de tierra firme del mundo es utilizada para la producción de cultivos agropecuarios y el 30% para el pastoreo o ganado, (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, 2011). Esto determina la importancia del sector alimenticio en el mundo, pero esto ha migrado en los últimos años, ya que los terrenos que son aptos para cultivo o ganadería, se han destinado para el cultivo y producción de Soya, Caña de Azúcar, Remolacha, Palma y otros vegetales con alto contenido de azúcar con el fin específico de producir bioetanol y no para comercialización como alimento.

Hoy día al hablar de Biocombustibles, se entiende en primera instancia como una fuente alternativa de energía, frente a las fuentes de energía agotables como el petróleo, gas natural, carbón o uranio cuyas reservas son limitadas, (Almarales, Sotolongo, Parúas y Nuñez, 2001), que han sido las tradicionales derivadas de los combustibles fósiles, con reservas no renovables y que generan un elevado impacto ambiental negativo, por la carga contaminante que se libera al medio ambiente a partir de su combustión, el consumo de los recursos naturales para su consecución y los efectos notables en la salud de los seres vivos.

Se deben diferenciar aquellos de primera generación, cuya producción surge de Aceites vegetales o grasas animales para el caso del biodiesel y de los productos ricos en sacarosa, almidón y algunos tubérculos para el caso del bioetanol como la caña de azúcar, maíz y yuca respectivamente entre otros, frente a los de segunda generación a partir de la fermentación de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos – FORSU (que es el objetivo central de este proyecto) o al uso de lignocelulósicos para producir concretamente bioetanol .

En el presente documento se realiza la documentación bibliográfica sobre la fermentación y la obtención de Bioalcoholes, así como algunos estudios y pruebas en laboratorio con muestras específicas para determinar la dinámica de los factores que facilitan la producción de bioetanol y poder realizar un escalamiento adecuado para realizar la conversión de la fracción de residuos en Bioalcoholes de segunda generación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2. JUSTIFICACIÓN

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

3.2. ESPECÍFICOS

4. ALCANCES

5. MARCO TEÓRICO

5.1. ANTECEDENTES

5.2. NORMATIVIDAD

5.3. GENERALIDADES SOBRE LOS BIOCOMBUSTIBLES

5.3.1. Definición

5.3.2. Fabricación, importancia y usos

5.3.3. Situación actual de los biocombustibles

5.3.4. Impacto positivo o negativo de su fabricación

5.3.5. Tipos de Biocombustibles

5.4. BIOETANOL

5.4.1. Generalidades

5.4.2. Métodos de obtención

5.4.3. Subproductos de la obtención del bioetanol

5.4.4. Balance energético de la producción de bioetanol

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

6.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

6.3. PROCEDIMIENTO

7. RESULTADOS

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. Frente a la concentración de sustrato

8.2. Frente a la concentración de levadura

8.3. Con respecto a las pruebas con mezcla (Residuos orgánicos)

9. CONCLUSIONES

9.1. Frente a las pruebas realizadas

9.2. Frente al contexto de manejo ambiental y de residuos

10. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE TABLAS

Tabla 01: Normatividad significativa sobre biocombustibles en Colombia.

Tabla 02: Impactos Ambientales Asociados a los Biocombustibles.

Tabla 03: Procesos de obtención de biocombustibles.

Tabla 04: Pruebas exploratorias realizadas el 22/Mayo/2014.

Tabla 05: Pruebas exploratorias realizadas el 09/Junio/2014.

Tabla 06: Prueba definitiva I análisis de DBO_5 .

Tabla 07: Prueba definitiva II análisis de DBO_5 .

Tabla 08: Pruebas uso materia orgánica realizada el 27/Julio/2014.

INDICE DE FIGURAS

Gráfica 01. Usos de la gasolina motor (Corriente y Extra) en Colombia.

Gráfica 02. Usos del diesel (ACPM) en Colombia

Gráfica 03. Balanza comercial de hidrocarburos.

Gráfica 04. Precios Internacionales del petróleo – WTI, Históricos y proyectados.

Gráfica 05. Consumo de Biocombustibles en Colombia.

Gráfica 06. Evolución del parque automotor en Colombia.

Gráfica 07. Distribución porcentual del parque automotor en Colombia.

Gráfica 08. Distribución porcentual del uso de las fuentes de energía en Colombia.

Gráfica 09. Indicadores precios de cotización biocombustibles en Colombia.

Gráfica 10. Método obtención de etanol.

Gráfica 11. Proceso de obtención de bioetanol.

Gráfica 12. Diferencias en los procesos de obtención de bioetanol.

Gráfica 13. Diagrama de operaciones para la obtención de bioetanol experimental.

Gráfica 14. Botella para medición de DBO respirométrica.

Gráfica 15. Sistema moderno de DBO respirométrica.

INTRODUCCIÓN

Los núcleos poblacionales requieren del mantenimiento de diferentes estructuras financieras, productivas y sociales para surgir y perdurar en el medio; las necesidades de bienes y servicios de la población, encuentran satisfacción en las soluciones resultantes de los procesos que ejecutan estas estructuras, que en todo caso requieren de una fuente energética para crear dichas soluciones y hacer que lleguen hasta nuestras manos para consumirlas, dándoles el uso esperado.

De esta forma la demanda energética, se ha concentrado a lo largo del tiempo en los elementos que se encuentran a primera mano del hombre, cuya oferta se encontró en el uso de combustibles fósiles, con el cual se impulsan los diferentes sectores productivos de las naciones, pero que han generado una demanda que apunta hacia el agotamiento de los recursos energéticos fósiles y la necesidad de trabajar con renovado esfuerzo en fuentes alternativas de energía (Martínez, 2014). Bajo la observación de la necesidad de orientar el consumo de energía en forma de combustibles a campos más alejados del petróleo y sus derivados, se empieza a hablar de dos principalmente: Biodiesel y Bioetanol, (Martínez, 2014), como agrocombustibles sustituyentes totales o parciales del combustible Diesel y Gasolina tradicionales respectivamente, pero que para su producción requiere emplear materias primas, que compiten fuertemente por los terrenos para su cultivo con el sector de alimentos a nivel mundial, lo que genera controversias de carácter técnico, social y ético (Montoya, 2012).

Para efectos prácticos de este proyecto, se abarca específicamente el estudio y análisis para la producción de bioetanol, con el objetivo de definir durante el proceso la dinámica de los factores en la transformación de la materia orgánica a partir del aprovechamiento de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos (FORSU) para su producción, teniendo en cuenta los estudios y análisis preliminares establecidos en la línea de investigación de la Universidad EAN, a través de la Especialización en Gestión de Residuos Sólidos.

Los residuos sólidos fueron reconocidos en los años 60's y 70's simplemente como "basuras" o "desperdicios", desde los inicios de las actividades humanas son un factor de interés por su afectación ante su inevitable generación y su presencia en el diario vivir; está directamente relacionado con los modelos productivos y de desarrollo económico fundamentados en el consumismo, que si bien beneficia el comercio y fortalece la actividad económica, acrecienta los impactos ambientales negativos que se ocasionan por la acumulación de residuos sólidos que a diario son generados.

La problemática sanitaria derivada de la generación, acumulación y disposición de residuos sólidos, ha llevado a pensar e investigar sobre el potencial uso y aprovechamiento de los mismos, se han incluido actividades de reducción, reciclaje y reutilización logrando avances en la formación de conciencia ambiental y adecuación de tecnologías; por otro lado, existe la necesidad de encontrar fuentes alternativas de energía, teniendo en cuenta que los recursos que consumimos a diario no son renovables, son finitos como resulta con los combustibles fósiles, mucho más si se tiene en cuenta que la demanda energética mantiene una tendencia al incremento debido a las nuevas necesidades de todos aquellos que conforman las regiones y culturas de vida. En su momento, nadie pensó que las hoy mal llamadas "basuras", podrían servir para algo, que a través de un tratamiento pudiera generar provechos y menos que pudiera presentar un balance de beneficios a través del tiempo. El reto al cual nos enfrentamos hoy día es unir el mundo de los residuos sólidos y el aprovechamiento de los mismos, y en especial, la generación de Biocombustibles, entendidos como combustibles de origen biológico obtenido a partir de la transformación química de restos orgánicos; esto ha sido un proceso desarrollado durante años, pues los Biocombustibles, existen desde hace tiempo y se producen mediante diversas técnicas que implican beneficios y contras.

En Colombia, se inició la producción de Biocombustibles con base en monocultivos en determinadas regiones del país, para que una vez realizados los procesos técnicos de adecuación, ser adicionados a combustibles fósiles en forma de mezcla. El modelo de generación de Biocombustibles a partir de la fracción de materia orgánica de los residuos, motivo del presente proyecto, aún no se desarrolla suficientemente y es materia de investigación y desarrollo técnico por la importancia de su uso emergente, donde las industrias de los centros de mezcla de combustibles, constituyen en primera instancia el mercado principal para el comercio de los Biocombustibles que se producen en el país y

así obtener las mezclas para consumo vehicular, determinadas por políticas de Ministerio de minas y energía y Fedebiocombustibles.

Los desperdicios o basuras (hoy definidos como residuos sólidos), representan una problemática para todas las sociedades y para nuestro planeta. Actualmente, la gran preocupación se centra en el aprovechamiento de estos residuos, sin que causen mayores impactos, de forma tal que ahora aparece en el mapa un elemento que hasta ahora ha sido menospreciado y subutilizado en gran medida, es decir la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU). En Colombia se generan actualmente casi 28.000 toneladas de residuos sólidos al día y solo entre el 10% y 12% es aprovechado, es decir menos de 3400 toneladas diarias (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011), el resto va directamente a los rellenos sanitarios, o sitios de disposición final. Para el caso específico de Bogotá, la producción per cápita de residuos oscila entre 0,85 y 0,95 Kg/hab/día, donde el porcentaje de material orgánico presente en los residuos generados se encuentra cercano al 65% y con un promedio de disposición diario total cercano a las 8000 toneladas diarias, a los rellenos sanitarios para la ciudad principal y sus alrededores, (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos UAESP, 2013).

Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en su estudio Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia - diagnóstico 2011, expone que dentro del promedio de toneladas diarias de residuos sólidos, generadas por los municipios, se destaca el hecho que en las 32 capitales del país se genera el 65,3% de toneladas generadas a nivel nacional, de las cuales 26 ciudades disponen de manera adecuada 17.065 toneladas por día y 6 ciudades de manera inadecuada 263 toneladas por día.

El presente trabajo acerca al lector primero a través del planteamiento, definición del proyecto, justificación y objetivos que se persiguen, junto con el alcance del mismo. A continuación se plantea el marco teórico que aborda los antecedentes, normatividad y generalidades a cerca de los biocombustibles, para luego centrarse en el Bioetanol. Luego el diseño metodológico de la investigación, resultados y análisis de los mismos. Por último, se materializan las conclusiones y recomendaciones, junto con las referencias bibliográficas que soportan el estudio, plasmado en este documento.

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

PLANTEAMIENTO

En un principio, la problemática de residuos sólidos, era casi desconocida porque las actividades económicas humanas se encontraban integradas en los ciclos naturales propios de la naturaleza, es decir que aquellos subproductos resultado de sus actividades diarias eran absorbidos o asimilados por los ecosistemas ambientales sin problemas, pues la capacidad de auto regeneración natural de la tierra tenía su capacidad plena para actuar sobre los factores considerados ajenos o nocivos. Hoy día la acumulación de grandes volúmenes de desperdicios, disposición de residuos sólidos a los rellenos sanitarios, generación de lixiviados que contaminan el suelo, fuentes hídricas y desaprovechamiento, son consecuencia de una cadena de eventos que se interrelacionan con el desarrollo de las comunidades, alrededor del mundo atado a la evolución y supervivencia del ser humano.

A finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, con el boom de la Revolución industrial que trajo el desarrollo de la Ingeniería, la ciencia y el empleo de nuevas técnicas, surgieron modernas actividades industriales y de consumo, con la correspondiente explosión económica y comercial, donde los procesos y actividades productivas ya no podían asimilarse por los ciclos naturales como antes. La cultura de consumo y el incremento de la capacidad económica de las personas, trajo consigo la expansión urbanística y demográfica de las regiones; la economía, fundamentada también en el consumo, generó un fuerte impacto en el medio ambiente no solo por las cantidades producidas, sino también por la consecuente necesidad energética para manufacturar los mencionados productos y llevarlos hasta las manos del consumidor final. La necesaria demanda de energía, encontró respuesta en el empleo de combustibles fósiles proporcionados por elementos de la naturaleza como el carbón y el petróleo que se emplearon para desarrollar las actividades productivas, que desde aquel entonces empezaron a tornarse críticas para el medio ambiente. (La Revolución Industrial, 2012)

Ante el impacto ambiental ocasionado por uso y dependencia de fuentes energéticas agotables como los combustibles fósiles, (que hasta hoy sigue siendo vigente), y la acumulación – sub aprovechamiento de residuos sólidos en la etapa de disposición final, resulta de gran importancia migrar a la utilización de fuentes renovables que resulten sustentables en el tiempo, mediante empleo de tecnologías competitivas a la vez que se aplican estrategias para la minimización y aprovechamiento de los residuos sólidos.

Surge la posibilidad de sustituir el uso de combustibles fósiles por biocombustibles (elaborados a partir de biomasa vegetal), como un posible paso en la dirección adecuada para mitigar el impacto ambiental y de paso contribuir a la reducción de la afectación causada por cambio climático, pero realmente debe evaluarse si es esta una solución o una contribución para el problema, debido a que los Biocombustibles actualmente representan:

- Riesgo para la seguridad alimentaria: La producción de Biocombustibles de primera generación se basa en el uso de monocultivos de plantas como soya, maiz, girasol, caña de azúcar, palma aceitera, eucalipto, álamo entre otros; estos utilizan grandes extensiones de terreno para generación de volumen de biomasa, así la tierra es consumida con objetivos diferentes a la alimentación, compitiendo por el uso del terreno para el cultivo de alimentos tradicionales y obtener Biodiesel obtenido a través de plantas oleaginosas y etanol a partir de la fermentación de la celulosa contenida en los vegetales.
- Pérdida de la capa verde: El cambio en el uso del suelo para propósitos energéticos, acompañado del desarrollo de tecnologías para convertir la madera en etanol con el uso de organismos genéticamente modificados, ha impulsado la expansión de monocultivos de árboles de rápido crecimiento, tanto en áreas boscosas como sobre suelos de pradera, aumentando la deforestación, como ha ocurrido en la Amazonía brasileña y en Paraguay, también se ha constituido en la principal causa de deforestación en Indonesia y está impactando en bosques de muchos otros países de África, Asia y América Latina. (World Rainforest Movement, 2006). La deforestación como el cambio en el uso de suelos de pradera implican la liberación del carbono allí almacenado. A esto se agregan las emisiones resultantes del cultivo, procesamiento y transporte de los propios biocombustibles, realizados en gran medida en base a petróleo y otros elementos

que emiten gases de efecto invernadero: La producción de la maquinaria utilizada, el combustible empleado para su funcionamiento, la producción y uso de fertilizantes químicos y de agrotóxicos, los camiones y barcos para el transporte a destino, etc. El balance neto de carbono en las áreas destinadas a la producción de biocombustibles puede llegar a ser hasta negativo, aumentando así la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, que es precisamente lo que se pretende evitar con la sustitución de los combustibles fósiles.

- Degradación ambiental: Hectáreas de tierras fértiles migran de producir alimentos, a producir combustibles, agravando la situación por hambre y desnutrición, las grandes transnacionales expulsan a productores rurales y pequeños campesinos y ahora los campos no pueden asegurar el sustento alimentario de personas que de ellos dependen, para ser sustituidos por cultivos energéticos. El agua se contamina por el uso de agroquímicos y está tendiendo a desaparecer por la plantación de árboles de rápido crecimiento que implican consumo de altos volúmenes de agua, trayendo deforestación con el impacto para la fauna afectada por enormes desiertos verdes que no les proporcionan alimentos, las especies locales están desapareciendo en tanto que los suelos se degradan por el monocultivo y el uso de agroquímicos y se reduce la producción de oxígeno y capacidad de purificación natural que realizan las plantas.

Se determina la necesidad, búsqueda y obtención de fuentes alternativas de energía, que no impacten la integridad humana y medio ambiental, los Biocombustibles si pueden constituirse como una solución, no son el problema, pues dentro de un enfoque social y ambientalmente adecuado pueden servir para satisfacer las necesidades energéticas de los países y comunidades locales. El problema central es el modelo en el que se le ha pretendido implementar, caracterizado por el impacto de gran escala, el uso de monocultivos, el uso masivo de insumos externos, la utilización de elementos transgénicos y la mecanización para lograr su fabricación. Teniendo en cuenta las consecuencias de la cultura de consumo en la que hemos vivido, se tiene una buena oportunidad para solventar el problema de la acumulación de desperdicios, a partir del aprovechamiento de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos, teniendo en cuenta que para la ciudad de Bogotá, el porcentaje de los mismos está cercano al 65% de la composición total de los desperdicios urbanos que se disponen hacia los rellenos

sanitarios, (UAESP, 2013) y que pueden ser procesados para producir Biocombustibles sin amenazar la seguridad alimentaria, migrando finalmente del uso de combustibles fósiles hacia nuevas fuentes de energía alternativa, más exactamente de Bioetanol, que es el motivo del presente trabajo.

FORMULACIÓN

El problema queda expresado en forma declarativa para el desarrollo del proyecto, como la determinación de la dinámica de los factores que facilitan o permiten la producción de bioetanol, a partir del aprovechamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU), en Bogotá – Colombia, que pueda constituirse como fuente alternativa de consumo energético, minimizando el impacto ambiental derivado de su uso.

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este trabajo, encuentra justificación en el prevalecimiento del bienestar de la comunidad, preservando la integridad y subsistencia de los seres humanos que la conforman; la conservación de los ecosistemas ambientales, la orientación al desarrollo económico y la respuesta a la demanda energética que requieren de una solución innovadora, eco responsable y sostenible que atienda las exigencias en diario incremento. Lo anterior es posible mediante el aprovechamiento de la fracción orgánica presente en los residuos sólidos a fin de producir biocombustibles (combustibles de origen Biológico de segunda generación), que sean usados como fuente renovable y sustentable de energía a través del tiempo, específicamente para la producción de bioetanol, con la correspondiente minimización de impactos ambientales, en comparación con los graves efectos causados con el uso de combustibles no renovables, mientras se reduce la producción de residuos sólidos gracias al aprovechamiento de los mismos.

La labor, se justifica también en un nuevo modelo de valorización y aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos dentro del país, que puede resultar viable por la necesidad de consumo constante de combustibles para el motor económico de las

regiones, dada según ley de oferta y demanda definida en el marco del desarrollo agroindustrial y energético del país.

Finalmente, este nuevo modelo no genera competencia por la tierra y los recursos agrícolas, como ocurre con la producción actual a través del uso de monocultivos, es decir no existiría competencia entre la producción de biocombustible a partir de fracción orgánica de residuos sólidos y el suministro alimentario, con lo cual no se afectarían los precios de canasta familiar. No pone en riesgo a las comunidades campesinas, ni afecta los ecosistemas naturales, más bien genera una reducción del daño ambiental y contribuye a incrementar la capacidad de auto regeneración de la tierra, dentro de otros varios beneficios.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Analizar los factores que facilitan la producción de Bioetanol de segunda generación, a partir del aprovechamiento de la fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos en Bogotá – Colombia, teniendo en cuenta su conversión mediante procedimientos biológicos.

3.2. ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los biocombustibles, el bioetanol y la producción por vía fermentativa de bioetanol.
- Realizar pruebas que permitan identificar la incidencia de variables en el desarrollo del proceso de fermentación
- Realizar un proceso de digestión de residuos orgánicos, con el fin de analizar comparativamente la incidencia de las variables en el desarrollo del proceso de fermentación.

- Realizar comparativo de pruebas en blanco, que permita determinar medición de concentraciones y volumen apropiados.

4. ALCANCES

Se define a continuación lo que está incluido dentro y fuera de las fronteras del proyecto:

El trabajo investigativo, es el compendio documentado del desarrollo de diferentes actividades a escala de laboratorio con el fin de evaluar las probabilidades de obtención de bioetanol, mediante proceso fermentativo a través de procesos biológicos y/o químicos.

Comprende el diseño, pruebas, análisis de resultados y conclusiones del desarrollo en su fase experimental, usando sistemas de medición analíticas convencionales, cuya captura de datos y reportes de gestión, se registran de forma manual, mediante observación.

El registro de toma de datos, se realiza manualmente y en periodos de tiempo fijos, con miras a estandarizar los resultados.

Para la medición de DBO, se utiliza el método respirométrico para evaluar capacidad de biodegradabilidad y consumo de oxígeno.

La composición de residuos orgánicos para estudio y análisis, se basa en el porcentaje de cantidad y componentes típicos de la ciudad de Bogotá, son seleccionados discrecionalmente y pueden hallarse dentro de una caracterización de residuos sólidos típica, mediante método de cuarteo.

No incluye datos e información con relación a costos, definición de personal o cualquier otro aspecto administrativo

Se excluye del estudio el desarrollo de actividades para la producción de biocombustibles a partir de productos derivados de monocultivos como caña de azúcar, remolacha, soya, trigo, sorgo, etc.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. ANTECEDENTES

En los últimos años los biocombustibles se han posicionado a nivel mundial como una importante alternativa al uso de combustibles fósiles. A pesar de que se habían producido a pequeña escala hace tiempo, han sido recientemente los altos precios del petróleo y el aumento en la inseguridad en la provisión de éste, que ha aumentado de manera dramática su producción y consumo.

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 subproductos agrícolas, podría tener efectos positivos sobre el desarrollo rural de los países. Sin embargo, existe un fuerte debate sobre sus efectos negativos. Se argumenta que al usar productos aptos para el consumo humano como la caña de azúcar, el maíz o aceites vegetales para producir biocombustibles se generan distorsiones en los mercados de estos y otros cultivos, elevando el precio de los alimentos. Se critica también que en la medida en que se requiere tierra arable para su producción, puede presionar a que se expanda la frontera agrícola de manera directa o indirecta con los efectos negativos que esto tiene, como mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y pérdidas en biodiversidad. Finalmente, se cuestiona el hecho de que para su producción se otorgan importantes subsidios y exenciones para hacerlos rentables.

Estas preocupaciones no son ajenas a Colombia. Desde el año 2001 el país decidió hacer una importante apuesta por los biocombustibles, haciendo obligatorias las mezclas de

gasolina con etanol y de diesel con biodiesel, otorgando facilidades para la producción y consumo de los mismos. Los objetivos que persigue la política de biocombustibles en el país, son impulsar el desarrollo rural, diversificar la canasta energética, mejorar el medio ambiente y promover un sector que pueda ser competitivo a nivel mundial.

Desde 2005, cuando se hicieron efectivos los mandatos de mezcla con etanol, la producción ha pasado de 27 millones de litros a 337 millones de litros. Ha aumentado la superficie sembrada de caña de azúcar y se han generado nuevos empleos en zonas rurales. En el caso del biodiesel la producción pasó de 26 millones de litros en 2008 a 508 millones en 2011 y ha impulsado un gran crecimiento en el área sembrada de palma de aceite y de empleos. (García y Calderón, 2012)

En los últimos años, los biocombustibles líquidos para el transporte basados en productos básicos agrícolas han registrado un crecimiento rápido, impulsado principalmente por políticas de ayuda a la producción y consumo, especialmente en algunos países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Varios países en desarrollo también están aplicando políticas que fomentan los biocombustibles. Se prevé que prosiga su expansión, aunque la contribución de los biocombustibles líquidos a los recursos energéticos para el transporte es y seguirá siendo limitada; no obstante los biocombustibles tienen una importante repercusión en los mercados agrícolas mundiales, el medio ambiente y la seguridad alimentaria.

Esta nueva fuente de demanda de productos agrícolas básicos puede ofrecer una oportunidad a los países en desarrollo para aprovechar el crecimiento económico y conseguir un mayor desarrollo rural y reducir la pobreza. Sin embargo, existe un riesgo de que el aumento de los precios de los alimentos pueda tener consecuencias muy negativas para la seguridad alimentaria de la población más pobre del mundo. Además, la demanda de biocombustibles podría ejercer una importante presión adicional en la base de recursos naturales, con consecuencias sociales y medioambientales potencialmente perjudiciales.

Los principales factores que han impulsado las políticas de ayuda a los biocombustibles han sido los objetivos de aseguramiento energético y la mitigación del cambio climático mediante la reducción de los gases de efecto invernadero en combinación con una voluntad de ayudar a la agricultura. Estos intereses no disminuyen. En la actualidad, sin

embargo, la función de la agricultura a la hora de abordar estos problemas, incluyendo las políticas adecuadas que deben ser aplicadas, está siendo sometida a estudios más detallados. (FAO, 2008)

El desarrollo de los biocombustibles líquidos está motivado por una combinación de factores económicos y normativos que influyen en la agricultura mundial, en ocasiones de maneras imprevistas. El reciente aumento del precio del petróleo también ha elevado los costos de la producción de productos agrícolas; por ejemplo, los precios en USD de algunos fertilizantes aumentaron en más de un 160 por ciento en los dos primeros meses de 2008 en relación con el mismo período de 2007. De hecho, el encarecimiento de la energía ha sido muy rápido y marcado, como indica el índice de precios de la energía Reuters-CRB (Commodity Research Bureau), que se multiplicó por más de tres desde el año 2003.

El encarecimiento del petróleo también ha contribuido al aumento de la demanda de los cultivos agrícolas como materia prima para la producción de biocombustibles. En 2007 se emplearon aproximadamente 93 millones de toneladas de trigo y de cereales secundarios para la producción de etanol, el doble que en 2005 (OCDE-FAO, 2008). Este dato representa más de la mitad del crecimiento total del uso de trigo y de cereales secundarios durante dicho período, pero constituye probablemente menos de la mitad del incremento de los precios debido a la participación de otros factores. La mayor parte de este crecimiento puede atribuirse exclusivamente a los Estados Unidos de América, donde el uso de maíz para producir etanol aumentó hasta los 81 millones de toneladas en 2007 y se prevé un crecimiento de un 30 por ciento durante el presente año agrícola (FAO, 2008).

EL CASO COLOMBIANO

La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) de la ONU en su documento “Tablero de mando para la promoción de los biocombustibles en Colombia” de 2009, dice que el país ha venido desarrollando una política de introducción de biocombustibles como mezcla tanto para gasolina motor (nafta) como para diesel, a partir del desarrollo de normas que obligan a introducir la mezcla gradualmente en el territorio nacional y del

impulso al cultivo de materias primas y producción de alcohol carburante y biodiesel mediante incentivos de diversos tipos y teniendo como ejes:

- **Institucional**

En ese contexto, el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Agricultura, han liderado el tema de biocombustibles en el país, para lo cual impulsaron y lograron la aprobación por parte del Congreso de importantes estímulos tributarios al consumo de biocombustibles y a la producción de palma africana, así como la formulación del esquema de precios para el etanol y el biodiesel que permitieran a los productores cubrir su costo de oportunidad. De igual manera, estableció la obligatoriedad de mezclar la gasolina con etanol y aceite combustible para motores (ACPM) con biodiesel.

El proceso legal se inicia con la promulgación de la Ley 693 de 2001 que hace obligatoria la mezcla de productos oxigenados con la gasolina, luego la Ley 788 de 2002 que otorga exenciones tributarias a la producción de alcohol carburante y la Ley 939 de 2004 que promueve el uso del biodiesel para mezclar con aceite combustible para uso en motores “ACPM”.

A partir de estas leyes se ha venido definiendo la normatividad específica en materia de precios y condiciones técnicas con lo cual fue posible la aplicación de la mezcla de alcohol a partir del año 2006 y la utilización de biodiesel a partir del 2008. Las entidades que intervienen en materia de regulación y definición de políticas en este aspecto son, además del Ministerio de Minas y Energía y del Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el Ministerio de Comercio Exterior, la Unidad de Planeación Minero Energética.

Colombia ha avanzado importantemente en la legislación para promover el uso de biocombustibles para mezcla tanto con gasolina como con diesel. Ha desarrollado amplia normatividad de tipo técnico y se podría afirmar que en esta materia las normas son suficientes para el desarrollo de esta industria en el país.

- **Energético**

Los biocombustibles en Colombia han empezado a aliviar la crisis de los hidrocarburos, causada por el pronosticado desabastecimiento de petróleo en el futuro cercano, en caso de no encontrar reservas importantes, aproximadamente cinco años, situación que obligaría a importar los hidrocarburos que se necesiten como mínimo para mantener el desarrollo actual del país. De allí, el gran interés que el Gobierno Nacional le ha venido dando al programa de biocombustibles en Colombia.

Según proyecciones del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en el 2010 se produjeron 3.798.163 litros diarios de etanol, 2.920.081 litros más de lo que se produjo en el 2006, con lo cual se hace posible la mezcla del 10% de la gasolina fijada como meta para todo el territorio nacional en los próximos años. Para el 2020 se esperan 703.259 hectáreas adicionales aproximadamente para la producción de biodiesel, solamente debida a la palma de aceite. Así mismo, para el mismo año se espera una producción promedio de 3.383.892 litros diarios del producto. Esta producción podrá atender la demanda interna y generar excedentes para la exportación. Bajo los anteriores escenarios, Colombia podrá reducir en forma importante la demanda de petróleo crudo para sus refinerías, lo cual le permitirá prolongar la autosuficiencia petrolera mínimo hasta el año 2015, aún si no se descubren nuevas reservas.

- **Agrícola**

Colombia presenta ventajas climáticas importantes para el cultivo de productos como la caña de azúcar, la palma de aceite y la yuca entre otros, los cuales son las principales materias primas para la producción de biocombustibles. Este hecho se ha constituido en una oportunidad para ampliar las áreas cultivadas, generar empleo y excedentes para la exportación. Sin embargo el tema debe ser cuidadosamente analizado frente a la competitividad de otros países productores como Brasil o Indonesia que al parecer producen a menores costos que en Colombia. En todo caso, la decisión de hacer obligatorias las mezclas de biocombustibles con gasolina y ACPM, (Aceite Combustible Para Motores), ha generado un efecto rápido en términos de incremento de cultivos en diversas regiones del país. El etanol se puede producir a partir de cultivos como maíz, papa, remolacha, yuca, sorgo y caña de azúcar, se le asignan algunas ventajas como

mejoramiento al medio ambiente y a la calidad de la gasolina. En Colombia se usa en mayor proporción la caña de azúcar siguiendo con la yuca, también se ha experimentado con el banano.

Colombia es el segundo productor de etanol en Latinoamérica con una producción de más de un millón de litros diarios, lo que ha descongestionado el mercado del azúcar en más de 500 mil toneladas y fortalecido la producción panelera nacional, con esto se han beneficiado más de 300 mil personas que sobreviven a partir de esta producción. En cuanto al biodiesel, la principal materia prima es el aceite de palma, proveniente del cultivo de la palma de aceite, que es permanente y se cultiva en las zonas tropicales. Colombia es el quinto productor y exportador de aceite de palma en el mundo (cuarto en términos de rendimiento por hectárea), representa un 1,9% de la producción mundial después de Malasia, Indonesia, Nigeria y Tailandia, y el primero en América Latina, Colombia produce un 35,9% del total de aceite de palma de América Latina, teniendo en cuenta que el área cultivada de palma se ha triplicado en los últimos 20 años, pasando de 100 mil hectáreas a finales de los años ochenta a 302 mil hectáreas en el año 2007.

Para fortalecer el desarrollo rural en el ámbito de los biocombustibles, es necesario resaltar la inversión de casi 65 mil millones en incentivos (Incentivo a la Capitalización Rural (ICR)) que ha realizado el Ministerio de Agricultura a las nuevas plantaciones de palma africana. El ICR es un aporte en dinero que realiza el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGRO) a productores del sector que se encuentren desarrollando un proyecto de inversión nueva, para que modernicen su actividad, mejoren sus condiciones de productividad y competitividad.

- **Económico social**

La industria de biocombustibles que se viene desarrollando en los últimos años en Colombia, ha contribuido al crecimiento del sector agrícola, el cual pasó de crecer 1.9% en 2005 a 3.1% en 2006. Sin embargo, este sector todavía crece muy por debajo del crecimiento medio de la economía. El sector azucarero, por su parte ha incrementado en forma importante sus utilidades gracias a la producción de etanol y al mecanismo de regulación de postprecios de este producto, los cuales tiene como base el precio internacional del azúcar.

En términos de empleo, se estimó que para producir el etanol y suplir el 10% de la mezcla que la reglamentación dispuso, era necesario crear cerca de 170 mil nuevos empleos, distribuidos en casi todas las regiones deprimidas de Colombia (Federación Nacional de Biocombustibles), lo cual representó beneficio para más de cien familias, en especial de las zonas rurales.

Respecto a la seguridad alimentaria, el debate mundial que se viene adelantando al respecto, también toca a Colombia. Desde 2007 y lo que va corrido de este año, el incremento de los precios de los alimentos ha sido muy importante y responsable fuerte en el total de la inflación del país. Se sabe que buena parte de este incremento se debe al alza de los precios en mercados internacionales de productos como el maíz y el arroz, como efecto de la producción de biocombustibles. Pero a nivel interno ya se alzan voces de alarma sobre lo que podría pasar con los precios del azúcar, el aceite o la yuca, productos básicos en la dieta colombiana. El Gobierno ha iniciado una campaña de incremento de la producción de alimentos, especialmente maíz amarillo y arroz, pero los resultados aún son inciertos, especialmente por la falta de incentivos y protección a pequeños productores que hagan competitivos sus productos.

- **Ambiental**

Colombia empezó a respaldar el uso de gasolinas oxigenadas para el mejoramiento de la combustión interna de los motores y la reducción de gases efecto invernadero, en especial el etanol de origen en la biomasa, principalmente de la caña de azúcar. Según la Federación Nacional de Biocombustibles, la mezcla de 10% de etanol con la gasolina, aprobada por el Gobierno, disminuye las emisiones de monóxido de carbono en carros nuevos en un 27% y en carros típicos colombianos de siete a ocho años de uso 20%. Ello indica en términos de producción de emisiones contaminantes es altamente benéfico para el medio ambiente el uso de los biocombustibles. Sin embargo en términos de los efectos sobre el suelo, los ecosistemas y la biodiversidad, existen inquietudes en la medida en que se extienda la frontera agrícola para la siembra de azúcar, yuca y especialmente palma aceitera.

El Gobierno ha insistido que la política de cultivos es desarrollar estos en zonas ya cultivadas sin tala de bosques o ecosistemas naturales. Sin embargo en algunas regiones

como el Chocó (zona de altísima biodiversidad) se ha denunciado la tala de bosques y el despojo de tierras a comunidades afro-colombianas propietarias comunitarias de éstas.

- **Industrial**

La producción de biocombustibles tiene impacto importante en diversos sectores de la industria, como se ha visto reiteradamente en los diferentes ejes tratados en este documento, en la medida en que su desarrollo exige organizar técnicamente la producción a través de refinerías que utilizan tecnologías avanzadas y requieren empleos calificados, adicionalmente el transporte, la producción de partes de automotores y e, general, el parque automotor tiene impactos importantes. La llamada "biogasolina" se puede utilizar en los mismos equipos que utilizan gasolina convencional (plantas eléctricas, motores, entre otros); no obstante, la UPME aconseja consultar a los fabricantes de los motores sobre la certificación del uso del nuevo combustible para diferentes aplicaciones. En otros países que han experimentado el uso de la biogasolina (Brasil, Estados Unidos, India, etc.) se ha comprobado que los motores de los vehículos que trabajan con gasolina convencional pueden quemar la gasolina oxigenada hasta con un 25% de alcohol etanol sin requerir ningún ajuste en ellos. Sin embargo, así como con la gasolina convencional, es necesario hacer mantenimiento a los automotores y revisar periódicamente el filtro de la gasolina y que el tanque del combustible no contenga agua, pues su presencia podría ocasionar corrosión en estructuras y la pérdida de combustible; de igual manera, se garantiza el adecuado funcionamiento de los vehículos siempre y cuando los motores utilicen partes originales.

El biodiesel se puede utilizar sin ningún inconveniente en los motores de los vehículos nuevos, modelos del año 2000 en adelante, ya que desde la fecha vienen siendo fabricados para usar este tipo de biocombustible. En los vehículos de modelos anteriores se requiere cambiar los empaques del sistema de inyección por unos resistentes al biodiesel. Estos productos ya se comercializan en el mercado.

- **Tecnológico**

Dada la importancia que han cobrado los biocombustibles en Colombia, se han abierto espacios para las investigaciones y desarrollo tendientes al avance de la biotecnología, en

su mayoría con financiamiento combinado de los sectores públicos y privados. Colombia cuenta con varios centros de investigación tanto en las universidades, como en las diferentes agremiaciones que encierran los cultivos de caña de azúcar, palma de aceite, entre otros. El Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia, en el documento de la política general en materia de biocombustibles, expresa que desde finales de la década del noventa, algunas entidades del país, organizaciones no gubernamentales, gremios, el sector energético y ambiental y algunas entidades educativas se han venido integrando al desarrollo de las fuentes de energía no convencionales, entre ellas, biomasa, energía eólica, geotérmica, alcohol carburante y más recientemente el biodiesel.

Este interés es mundial y hace parte de las políticas ambientales y energéticas internacionales, por supuesto también de las agendas de las principales potencias del mundo y lo anterior sin contar los diversos convenios y acuerdos internacionales que existen hoy en la materia. La producción y masificación del uso de los biocombustibles tiene varios objetivos y se fundamenta en la necesidad de garantizar el abastecimiento energético de los países, disminuir su dependencia de los combustibles fósiles, adicional a los benéficos sociales, ambientales y económicos que se pueden obtener con la generación de empleos permanentes, el fortalecimiento del sector agrícola y de las economías regionales, el desarrollo agroindustrial, el mejoramiento de la calidad del aire que respiramos y la sustitución de cultivos ilícitos, entre otros beneficios.

Para el caso Colombiano, adicional al deterioro ambiental que se percibe en las grandes ciudades, por la excesiva contaminación generada por las fuentes fijas y móviles, existen consideraciones estrechamente vinculadas con la seguridad y sostenibilidad energética nacional ante el conocido agotamiento de los yacimientos petroleros del país, así como la generación de una verdadera revolución social en materia de empleo y desarrollo rural bajo esta política.

En la actualidad Colombia consume más de ochenta y nueve (89) mil barriles diarios de combustible Diesel, una parte importante de este consumo se puede trasladar a biodiesel, combustible en el que el país tiene una enorme ventaja comparativa en su producción en relación con los derivados del petróleo, en los cuales hoy somos deficitarios, déficit que cada día se incrementa más.

En el caso del uso del alcohol carburante su uso se ha promovido en la mezcla con las gasolinas, mezcla que hoy es conocida como la biogasolina por sus claros beneficios ambientales principalmente en materia de menores emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos volátiles no quemados y por supuesto por el uso de un oxigenante de origen biológico.

A partir del primero (1º) de junio del año del 2007, se inició la implementación del uso de la Biogasolina en los departamentos de Santander, Sur de Cesar y Norte de Santander.

5.2. NORMATIVIDAD

NORMA	RESUMEN
DECRETO No. 2629 DE 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. Se señala el año 2012 como aquel en el que el país irá a porcentajes superiores de mezcla del veinte por ciento (20%) con alcohol carburante. Sobre este asunto se ha desarrollado un proceso de discusión y concertación con la industria automotriz a la luz de los tamaños de los mercados, los beneficios, la factibilidad técnica económica, etc., pero sin sacrificar los objetivos del país en la materia.
DECRETO No. 383 DEL 12 DE FEBRERO DEL 2007	Abre la posibilidad que proyectos agroindustriales como lo son los proyectos de biocombustibles y bajo el compromiso de los mismos con la vinculación de empleo agrícola y unos montos mínimos de inversión por proyecto, puedan ser considerados como Zonas Francas con los correspondientes beneficios en materia de reducción de impuesto de renta y aranceles. Este es claramente un elemento adicional para el desarrollo de estos proyectos con una visión global y no solo nacional, es decir que los mismos hacia el futuro tengan una visión exportadora igualmente.
RESOLUCIÓN No. 181109 DE JULIO 25 DE 2007	Se adiciona el artículo 3º de la Resolución 181780 de 2005, en el sentido de fijar algunas tarifas de transporte del biocombustible para uso en motores diesel. Dada la entrada del programa de mezcla del biocombustible para uso en motores diesel con el diesel de origen fósil, se hace necesario definir las tarifas máximas de transporte entre las plantas productoras del señalado biocombustible ubicadas en la Costa Atlántica, departamentos del Cesar, Bolívar, Magdalena, Atlántico, Sucre y Córdoba, y las Plantas de Abastecimiento Mayorista y/o refinerías ubicadas en los departamentos de Bolívar, Magdalena y Atlántico para realizar la mezcla.
RESOLUCIÓN No. 180127 DE ENERO 29 DE 2007	se modifica el rubro "MD" del artículo 4º de la Resolución 82439 del 23 de diciembre de 1998, modificado en el artículo 1º de la Resolución 18 0822 del 29 de junio de 2005 y se establecen disposiciones relacionadas con la estructura de precios del ACPM.

NORMA	RESUMEN
RESOLUCIÓN No. 82439 DEL 23 DE DICIEMBRE DE 1998	Estableció la estructura de precios del ACPM mediante fórmulas y valores para calcular el Ingreso al Productor, Tarifa de Transporte de Combustibles por poliductos y los Márgenes de Distribución Mayorista y Minorista, los cuales han sido modificados por resoluciones posteriores fijando valores para cada uno de estos ítems.
RESOLUCIÓN No. 180212 DE FEBRERO 14 DE 2007	Modifica parcialmente la Resolución 18 1780 del 29 de diciembre de 2005, en relación con la estructura de precios del ACPM mezclado con biocombustible para uso en motores diesel
RESOLUCIÓN No. 180782 DE MAYO 30 DE 2007	Por la cual se modifican los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diesel como componente de la mezcla con el combustible diesel de origen fósil en procesos de combustión
RESOLUCIÓN No. 18 0158 DE FEBRERO 2 DE 2007	Se determinan los combustibles limpios de conformidad con lo consagrado en el Parágrafo del Artículo 1º de la Ley 1083 de 2006. Se consideran como combustibles limpios aquellos que al ser usados en sistemas de combustión, como los motores vehiculares, generan emisiones de contaminantes menores a los límites máximos establecidos.
CIRCULAR No. 18048 DE NOVIEMBRE 2006	Seguimiento calidad de combustibles: Programa gasolina-etanol
LEY 1083 DE JULIO 31 DE 2006	Los Ministerios de Minas y Energía, de Protección Social, y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, determinarán de manera conjunta cuáles son los combustibles limpios, teniendo como criterio fundamental su contenido de componentes nocivos para la salud y el medio ambiente. Entre los combustibles limpios estarán aquellos basados en el uso de energía solar, eólica, mecánica, así como el gas natural vehicular.
RESOLUCION No. 1180 DE JUNIO 21 DE 2006	Se modifican parcialmente las resoluciones 1565 y 1289, del 27 de diciembre de 2004 y 7 de septiembre de 2005, respectivamente. 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 de combustión interna de vehículos automotores. Que en las señaladas resoluciones se establecen las obligaciones sobre contenidos de azufre en gasolinas y ACPM a cumplir a partir de julio/2008
RESOLUCIÓN No. 18 1088 DE AGOSTO 23 DE 2005	Se derogan las resoluciones 18 0836 y 18 1710 de 2003 y se adoptan otras disposiciones en relación con la estructura de precios de la Gasolina Motor Corriente Oxigenada. Artículo 1º de la Ley 693 de 2001 se establece que las gasolinas que se utilicen en el país, en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes, tendrán que contener componentes oxigenados tales como alcoholes carburantes, en la cantidad y calidad que establezca el Ministerio de Minas y Energía. Que mediante Resolución 447 del 14 de abril de 2003, modificada por la Resolución 1565 del 27 de diciembre de 2004, los ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y de Minas y Energía establecieron los requisitos de calidad técnicos y ambientales de los alcoholes carburantes y los combustibles oxigenados a distribuir en el país a partir del año 2005. Que a través de Resolución 18 0687 de 2003, modificada por las resoluciones 18 1708 de 2004 y 18 1069 de 2005, se expidió la reglamentación técnica prevista en la Ley 693 de 2001 en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes

NORMA	RESUMEN
	carburantes y su uso en los combustibles nacionales e importados.
RESOLUCIÓN No. 18 1069 DE AGOSTO 18 DE 2005	se modifica la Resolución 18 0687 del 17 de junio de 2003 y se establecen otras disposiciones. Cadena de distribución de alcoholes carburantes
RESOLUCIÓN 18 1384 DE OCTUBRE 27 DE 2005	Precios gasolina oxigenada
LEY 693 DE 2001	Uso de alcoholes carburantes en Colombia Las gasolinas que se utilicen en el país, tendrán que contener compuestos oxigenados tales como alcoholes carburantes Se decreto que el uso del alcohol carburante recibirá un tratamiento especial en las políticas sectoriales de autosuficiencia energética, de producción agropecuaria y de generación de empleo
LEY 939 DE 2004	Se estimula la producción y comercialización de biocombustibles para uso en Motores diesel El combustible diesel que se utilice en el país podrá contener biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diesel en las calidades que establezcan el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
LEY 788 DE 2002 (REFORMA TRIBUTARIA) ESTÍMULOS TRIBUTARIOS	ARTÍCULO 31: Se declara exento del IVA al alcohol carburante con destino a la mezcla con el combustible motor. ARTÍCULO 88: Se exoneró del pago del impuesto global y de la sobretasa al porcentaje de alcohol carburante que se mezcle con la gasolina motor. Se estimula la producción y comercialización de biocombustibles para uso en Motores diesel. Se estimula la producción y comercialización de biocombustibles para uso en Motores diesel y los cultivos de tardío rendimiento que se utilicen para el efecto.
LEY 939 DE 2004 OTRAS MEDIDAS	Desarrollo de estudios técnicos para incrementar porcentajes de mezcla (Año 2008 y 2009) • Normas motores para uso de alcohol carburante en mezclas Superiores al 10% Entraría en el año 2012. – Decreto 2629 del 10 de julio de 2007. • Revisión señales de precios (Permanente y análisis de la probabilidad de liberación). • Contratación de un gerente que se encargue de liderar todo el proyecto de biocombustibles y la coordinación interinstitucional sobre el particular. • Firma del tratado del libre Comercio - TLC – Desde la hora cero, los biocombustibles colombianos entrarían al mercado americano sin ninguna restricción ni aranceles.

Tabla 01: Normatividad significativa sobre biocombustibles en Colombia. Fuente: Ministerio de Minas y Energía. Sector Hidrocarburos.

5.3. GENERALIDADES SOBRE LOS BIOCOMBUSTIBLES

5.3.1. Definición

Los biocombustibles son cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal) por lo que su energía proviene de la fijación biológica de carbono. (Arias, 2007), se consideran ambientalmente amigables porque su materia prima es renovable y en su combustión se generan menos emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que en la de combustibles fósiles.

Los biocombustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Los sólidos son pedazos o fragmentos de materia orgánica que al quemarse desprenden su energía y han sido usados por la humanidad desde tiempos ancestrales. Los biocombustibles líquidos son derivados de materia viva que pueden ser usados como combustibles. Incluyen biodiesel, etanol u otros alcoholes combustibles, combustible de aceite vegetal y nuevos combustibles como la serie P que mezcla etanol, sobras de gas natural y residuos sólidos. El biogás es principalmente metano producido por plantas y animales en descomposición, así como sus desechos.

Existen biocombustibles de primera y segunda generación. Los de primera generación son aquellos producidos a partir de azúcares, almidón y aceites vegetales. Los biocombustibles de segunda generación son aquellos que utilizan cultivos no comestibles o productos de desecho para no desviar su producción y consumo de la cadena alimenticia humana o animal y se busca que utilicen menos agua que los biocombustibles de primera generación. La mayoría de este tipo de biocombustibles se encuentra actualmente en desarrollo para su producción comercial. (García y Calderón 2012)

Los biocombustibles son a menudo mezclados con otros combustibles en pequeñas proporciones, 5 o 10%, proporcionando una reducción útil pero limitada de gases de efecto invernadero. En Europa y Estados Unidos, se ha implantado una legislación que exige a los proveedores mezclar biocombustibles hasta unos niveles determinados. Esta legislación ha sido copiada luego por muchos otros países que creen que estos

combustibles ayudarán al mejoramiento del planeta a través de la reducción de gases que producen el denominado “Efecto Invernadero”.

La empresa española Natural Energy presenta las ventajas y desventajas de los biocombustibles de primera generación:

A favor.

- No incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del Efecto invernadero.
- Proporcionan una fuente de energía reciclable y por lo tanto, inagotable.
- Revitalizan las economías rurales, y generan empleo al favorecer la puesta en marcha de un nuevo sector en el ámbito agrícola.
- Se podrían reducir los excedentes agrícolas que se han registrado en las últimas décadas.
- Mejoran el aprovechamiento de tierras con poco valor agrícola y que, en ocasiones, se abandonan por la escasa rentabilidad de los cultivos tradicionales.
- Mejora la competitividad al no tener que importar fuentes de energía tradicionales.

En contra.

- El costo de producción de los biocombustibles dobla, aproximadamente, al del de la gasolina o gasóleo (sin aplicar impuestos). Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas.
- Se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible. En España, habría que cultivar un tercio de todo el territorio para abastecer sólo la demanda interna de combustible.
- Potenciación de monocultivos intensivos, con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas.
- El combustible precisa de una transformación previa compleja. Además, en los bioalcoholes, la destilación provoca, respecto a la gasolina o al gasóleo, una mayor emisión en dióxido de carbono.
- Su uso se limita a un tipo de motor de bajo rendimiento y poca potencia.

5.3.2. Fabricación, importancia y usos.

En el informe Sostenibilidad de biocombustibles en Colombia, elaborado por el consorcio CUE para el MME en enero de 2012, se indica que:

Colombia es el segundo mayor productor de biocombustibles en América Latina, después de Brasil. Está planeada una expansión significativa, con más de 5 millones de hectáreas de tierra potencialmente disponibles para el cultivo de agricultura energética. Consecuentemente, el Gobierno de Colombia ha aprobado directrices de mezclas para biodiesel (B5) y para etanol (E10) con la opción de incrementar la proporción de mezcla hasta E20. Además, las exportaciones de biocombustibles a Estados Unidos y la Unión Europea, bajo los Tratados de Libre Comercio, representan una enorme oportunidad y reto.

Aunque los biocombustibles pueden ser sustitutos parciales de los combustibles fósiles y una nueva fuente de ingresos para la agricultura, los impactos ambientales y socio-económicos en la producción son asuntos complejos que son discutidos críticamente en los esquemas de sostenibilidad actuales. En consecuencia, las oportunidades y amenazas, así como los requerimientos logísticos y de desarrollo para la producción de biocombustibles en Colombia, dependen fuertemente del contexto regional. El proyecto es financiado por el BID a través del convenio de Cooperación Técnica no reembolsable firmado con el Ministerio de Minas y Energía, quien actúa como beneficiario.

Los actuales estudios de GEI muestran la importancia de considerar los cambios en el uso del suelo, con respecto al desempeño ambiental de los biocombustibles agrícolas. De acuerdo con Fargione et al. (2008), el cambio del uso del suelo causado por la producción de biocombustibles puede conducir a una “deuda de carbono” por la liberación de grandes cantidades de CO₂, el cual fue almacenado en el suelo y por encima de este. Si las plantaciones de palma de aceite se establecen en un bosque natural, tomaría 400 años para que la deuda de carbono sea compensada por la cantidad de biocombustible que se produzca. Inclusive si las plantaciones de caña de azúcar se establecieran en una antigua sabana, tomaría 17 años pagar esta deuda de carbono (Fargione, Hill et al. 2008 en Consorcio CUE para MME, 2012).

La palma de aceite ofrece los rendimientos más altos por hectárea de todos los cultivos de aceite en la actualidad (Corley and Tinker 2007 en Consorcio CUE para MME, 2012). En general, alrededor de 20 toneladas de racimos de fruta fresca (RFF) se producen por hectárea/año. En la actualidad, la palma existe en estado silvestre, semisilvestre y cultivado en tres áreas principales de los trópicos ecuatoriales: África, Asia Sur-oriental y América del Sur y Central, con palma de aceite de origen africano.

En Colombia, la palma de aceite fue introducida en 1932, pero sólo hasta mediados del siglo 20 el crecimiento de la palma de aceite en Colombia comenzó a ser comercializado a lo largo del país, respaldado por políticas gubernamentales encaminadas a desarrollar las tierras agrícolas y a abastecer a Colombia con aceite de palma producido localmente. La superficie sembrada en el año 2008 se estima en 336.956 hectáreas, lo que representa un incremento del 9,8% (306.878 ha) respecto al año anterior. De la superficie total, sólo el 66% está en producción, mientras que el resto de los cultivos está en desarrollo. La mayor área de cultivos se encuentra en la zona oriental, donde se localiza el 36% de la superficie sembrada total. El 32% de la superficie sembrada total se encuentra en la Zona Norte, el 26% en la zona central y el 6% en la zona occidental (Fedepalma, 2009).

En Cenicaña, 2011 en el documento "Datos históricos sobre la agroindustria del azúcar", cuenta que en 1540 la caña de azúcar fue traída a Cali por Sebastián de Belalcázar y se disemina desde allí en toda la cuenca del río Cauca. El Valle Geográfico del Río Cauca está bien adaptado para la producción de caña de azúcar debido a la alta radiación solar y las condiciones favorables de lluvia. Esta expansión de la caña de azúcar, se dio principalmente en el período conocido como "La Violencia" entre 1946 y 1958, llevando a la consolidación de su control sobre el mercado de caña de azúcar en Colombia (Mondragón 2007 en MME, 2012). En la actualidad son cultivadas 216.768 hectáreas, de las cuales 24% pertenecen a ingenios azucareros y 76% a 2700 agricultores individuales de caña de azúcar (Asocaña 2011 en MME, 2012).

Producción.

En el año 2013, determinó una producción de etanol de unos 380 millones de litros en el año 2013 con capacidad instalada para reemplazar el 8% de todas las gasolinas que se consumen en Colombia.

El año pasado se produjeron 503 mil toneladas de biodiesel de aceite de palma, es decir que esta industria está consumiendo más de la mitad de la producción de aceite de palma en Colombia, este se mezcla con el ACPM en un 9,2% promedio en el país. (Fedebiocombustibles, 2014). Lo anterior determina que la capacidad instalada de producción de etanol en el país es de 1.041.000 litros por día.

Planta de etanol.

Los principales procesos para la producción de etanol son:

- **Fermentación:** Las materias primas para la producción de alcohol son: Jugo clarificado, meladura y miel B provenientes de la fábrica de azúcar. La fermentación para producir etanol es un proceso microbiológico en el cual los azúcares contenidos en las materias primas son convertidos por la levadura en etanol y gas carbónico. El mosto fermentado o vino que sale del fermentador final, contiene alcohol diluido en agua y levadura; éste es llevado a un tanque sedimentador donde la levadura se decanta, sale por el fondo y se envía al tanque de activación de levadura, mientras el líquido conocido como vino es enviado al proceso de destilación.
- **Destilación:** El vino contiene alcohol diluido en agua y otras impurezas que deben ser separadas del alcohol por medio del proceso de destilación. Los vapores obtenidos en la primera columna de destilación contienen aproximadamente 45% de alcohol y son enviados a la columna rectificadora, de la cual, por la parte superior, se obtiene alcohol rectificado que contiene 95% de etanol. Por el fondo, sale agua con algunas trazas de alcohol, residuo conocido como flemaza o vinaza.
- **Deshidratación:** El alcohol rectificado en la destilación contiene 95% v/v de etanol y 5% v/v de agua. Para que este alcohol pueda ser usado como combustible, es necesario retirarle más agua; esto se hace utilizando un tamiz molecular, que por medio de una resina sintética retiene el agua contenida en el alcohol rectificado, para obtener como producto alcohol deshidratado con una concentración de 99.5% de etanol y una cantidad mínima de agua.

- **Concentración de Vinaza:** Una parte de la vinaza que sale de la columna mostera es reutilizada en el proceso de fermentación y el resto se conduce a los evaporadores flubex, en los que se retira agua en forma de vapor para concentrar la vinaza, con el fin de reducir la cantidad y facilitar su posterior tratamiento.
- **Planta de aguas residuales:** La planta de tratamiento de aguas residuales de la destilería recibe las vinazas y condensados de la concentración de vinaza.
- **Compostaje:** La planta de compostaje industrial procesa los residuos orgánicos generados en la producción de azúcar y etanol, tales como: Cachaza, ceniza, residuos agrícolas y vinaza concentrada y los transforma en un producto estable e higienizado aplicable en la agricultura como abono orgánico o como mejorador del suelo.

Proceso y flujo de masa

En Colombia se producen en promedio, cerca de 9,3 toneladas de azúcar y 2 toneladas de etanol por cada 100 toneladas de caña de azúcar. El bagazo, como subproducto, se utiliza principalmente para generar vapor y electricidad. La energía excedente se vende a la red. Además, los subproductos orgánicos se utilizan para producir compost o son tratados en la planta de aguas residuales.

El Etanol Colombiano de caña de azúcar tiene una reducción potencial de alrededor del 74% de las emisiones de gases efecto invernadero comparado con la gasolina fósil tradicional, y del 83% para el caso del biodiesel, si no se consideran los cambios indirectos por uso de la tierra. Este balance favorable de GEI es principalmente causado por las emisiones agrícolas relativamente bajas de GEI. Las sofisticadas prácticas agrícolas y las condiciones climáticas favorables en la principal región de cultivo de caña de azúcar en Colombia a lo largo del Río Cauca, resultan en una alta productividad y eficiencia de recursos.(UNEP, 2010)

En términos ambientales, la parte más crítica en la producción de bioetanol es la fase de cultivo, y por tanto estos ahorros de GEI solo pueden lograrse si se aplican las mejores prácticas agrícolas, y no se causan presiones sobre áreas naturales. Dependiendo de los

ecosistemas naturales afectados (Matorrales, bosque húmedo, selva tropical), el balance de GEI del etanol de caña de azúcar relativo a la gasolina fósil es de alrededor del 55% si se afectan matorrales, hasta 160% si se afectan selvas tropicales comparado con la gasolina fósil de referencia que equivale al 100%. Cabe anotar que valores por debajo implican una reducción en las emisiones de GEI y valores por encima representan un incremento.

Las emisiones de GEI de los biocombustibles producidos en Colombia pueden ser reducidas en un 74% y 83%, al usar etanol de caña de azúcar y biodiesel de palma aceitera respectivamente, comparadas con las producidas por el uso de los combustibles fósiles que sustituyen (gasolina y diesel). Estas cifras incluyen el cambio de uso de la tierra directo (LUC), pero no incluyen el uso de la tierra indirecto (iLUC). Si todas las plantas existentes de biocombustibles en Colombia operaran a plena capacidad, se podrían reducir alrededor de 1.8 millones de toneladas de CO₂ eq./año. Esto es equivalente a alrededor del 3% del total de emisiones Colombianas de CO₂ en 2008, o al 8% de emisiones causadas por el sector de transporte en Colombia (UNEP, 2010).

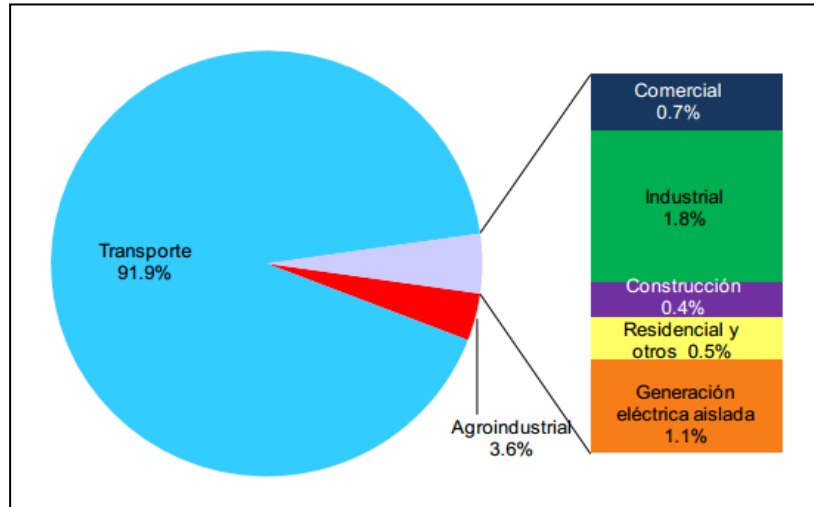
Comparados con otros biocombustibles internacionales, los biocombustibles Colombianos tienen un buen desempeño, y cumplen con la reducción mínima del 40% de GEI, como lo establecen muchos estándares de biocombustibles. (Consortio CUE para MME, 2012)

5.3.3. Situación actual de los Biocombustibles

Según la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, en su publicación “Proyección de Demanda de combustibles líquidos y GNV en Colombia de Octubre de 2010, se prevé una tasa de crecimiento de la demanda de las gasolinas para motor en el país, que había tenido un decrecimiento en su consumo, ocasionado por la sustitución a Diesel y GNV.

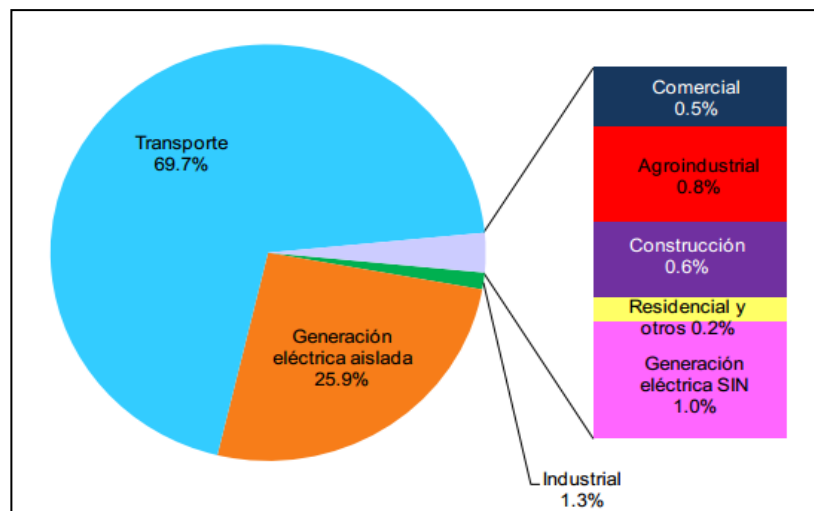
Para el año 2010 se ha percibido un incremento positivo del consumo e indicaría una recuperación del mismo con la correspondiente consecuencia de incremento para los Biocombustibles. Con respecto a los usos de este energético, de acuerdo al estudio de caracterización de consumo de energía del sector carretero realizado por la UPME en el año 2009, se tiene que el uso de este combustible en el país se da mayoritariamente en el

sector transporte con un 91,9% de consumo, mientras los demás sectores productivos dieron cuenta del 6,5%. El sector residencial y de generación de energía eléctrica, consumieron el 1,6% restante.



Gráfica 01. Usos de la gasolina motor (Corriente y Extra) en Colombia. (Año 2009). Fuente: Ecopetrol, MHCP y UPME. Incluye demanda de Biocombustibles y estimación de ventas ilegales.

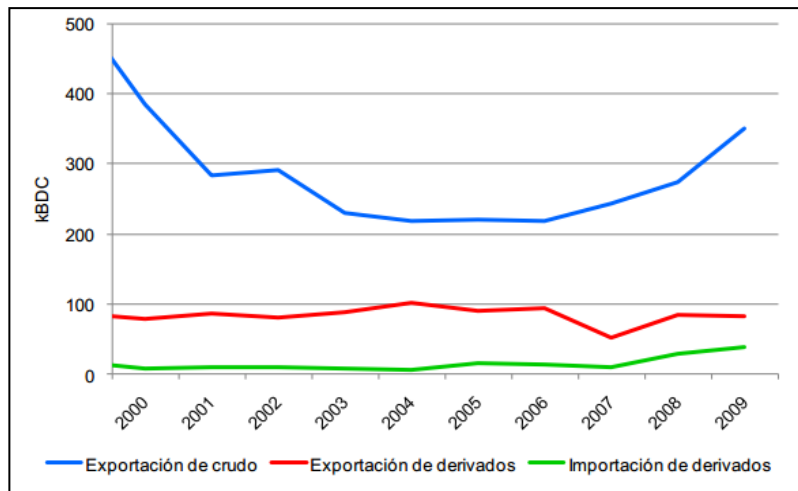
En el caso del diesel, la demanda creció a una tasa promedio de 6,6%, debido a sus usos más diversificados que los de la gasolina. Aproximadamente el 69,7% es consumido por el sector transporte, mientras que los demás sectores productivos consumen aproximadamente el 30,1% del total nacional.



Gráfica 02. Usos del diesel (ACPM) en Colombia. (Año 2009). Fuente: Ecopetrol, MHCP y UPME. Incluye demanda de Biocombustibles y estimación de ventas ilegales.

En el consumo regional de combustibles, se resalta especialmente el consumo de gasolina considerando que este combustible tiene un uso mayoritario en el transporte urbano de pasajeros, y particularmente en vehículos particulares y motocicletas.

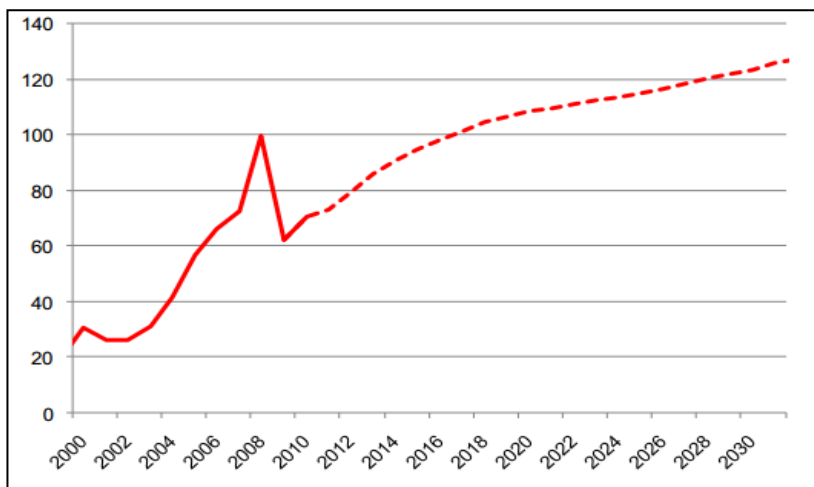
El comercio internacional de combustibles, muestra que en términos generales, la balanza comercial en materia de hidrocarburos para el país ha sido positiva, pues las exportaciones de crudo y derivados superan ampliamente la importación de estos bienes, tal como puede verse en la Gráfica 3.



Gráfica 03. Balanza comercial de hidrocarburos. Fuente: Ecopetrol. Incluye Balanza de Biocombustibles y derivados.

En términos de proyección de precio internacional del petróleo, se evidencia como el precio de este energético se ha casi triplicado en la última década, alza generada por el desbalance entre la oferta y la demanda del mismo.

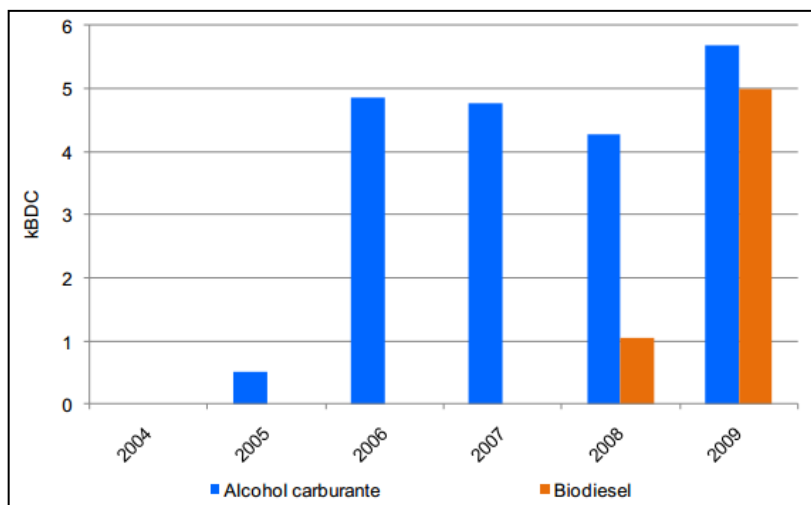
Para la década del 2010 a 2020, se prevé un crecimiento promedio del petróleo WTI de 4,4%, alcanzando un precio de 108 USD por barril. Para la década de 2020 a 2030 se espera un crecimiento promedio anual de 1,5% llegando a 124 USD por barril. (Agencia Internacional Energy Information Administration EIA, 2009).



Gráfica 04. Precios Internacionales del petróleo – WTI, Históricos y proyectados. Fuente: Energy Information Administration EIA, 2009

Haciendo énfasis en el consumo de los biocombustibles en Colombia, su balance de oferta y demanda, se sabe que a partir del año 2005 en el país se vienen adicionando biocombustibles por mezcla a los combustibles con uso en motores de combustión interna, según cifras de la UPME, para el año de 2009 se consumieron más de 5693 barriles de alcohol carburante y 4987 de biodiesel con un porcentaje de mezcla de 7,6% y 4,9% respectivamente.

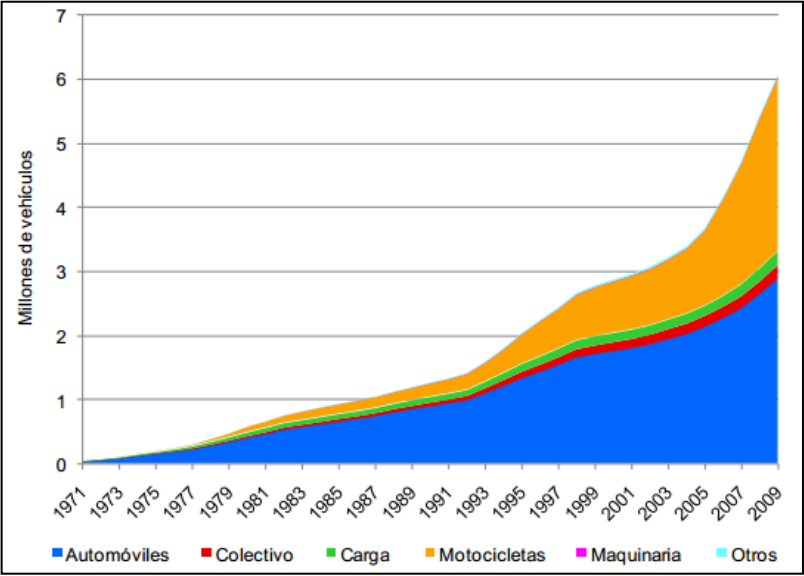
Se presenta la gráfica 05, para mostrar la evolución de los consumos de Biocombustibles en el país.



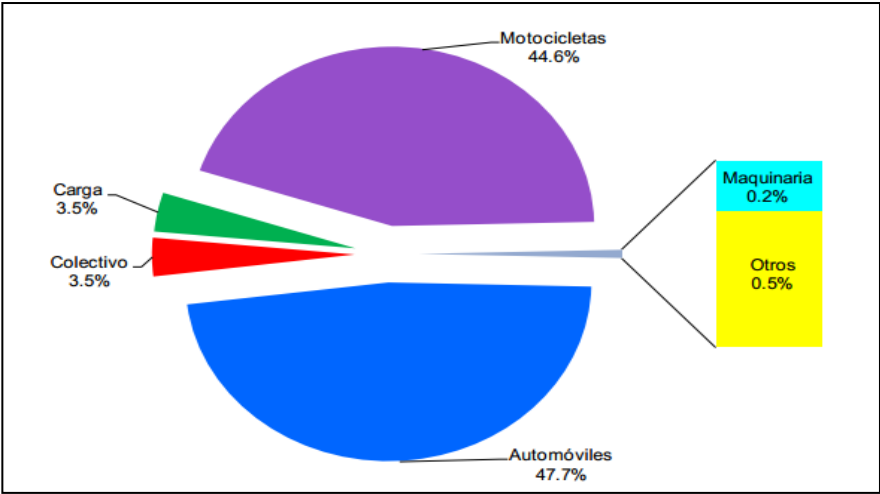
Gráfica 05. Consumo de Biocombustibles en Colombia Fuente: Ecopetrol y UPME, 2009

Teniendo en cuenta que el uso de biocombustibles es hoy día directamente proporcional al uso de los combustibles fósiles derivados de las mezclas correspondientes y a su vez la demanda de estos energéticos, se ata al vertiginoso crecimiento del parque automotor, dentro del desarrollo económico del país.

Para el año 2009, se contaba con un estimado de 6.002.621 vehículos con la notable expansión del parque de motocicletas que constituye el 44,6% del total.



Gráfica 06. Evolución del parque automotor en Colombia Fuente: Ministerio de transporte, 2009



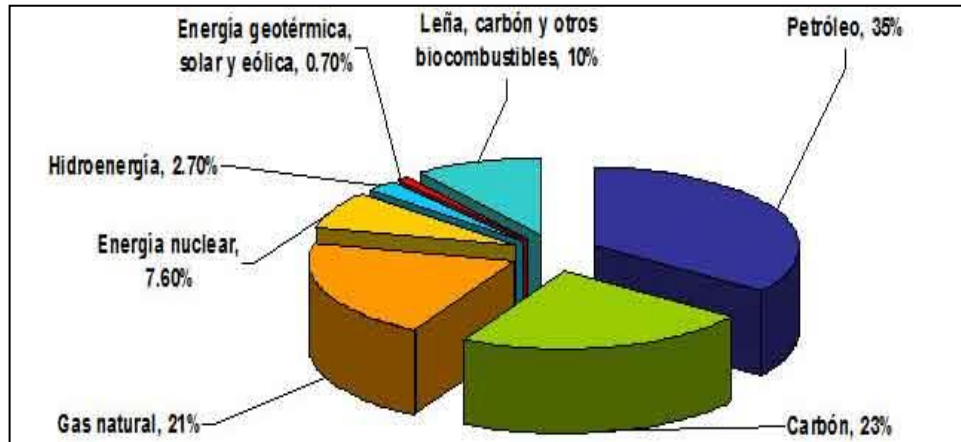
Gráfica 07. Distribución porcentual del parque automotor en Colombia Fuente: Ministerio de transporte, 2009

A pesar de considerarlo demasiado alto y teniendo en cuentas las congestiones vehiculares, Colombia cuenta con un espacio amplio para la penetración del sector automotor. Pues para el cierre del año 2013, el parque automotor en Colombia se ubicaba en 3,7 millones de automóviles y 6,8 millones, incluyendo las motocicletas, esto implica un promedio de 80 unidades por cada mil habitantes o 148 incluyendo las motos, esto es a pesar de todo inferior al observado en países como Chile (131 sin motos) y Argentina (201), muy por debajo respecto a los países del G7, dónde se alcanzan en promedio 500 unidades por cada 1.000 habitantes, (Hernández, 2014)

Actualmente, Bogotá concentra el 46% del mercado de automotores a nivel nacional, seguido por Medellín con el 13,1% y Cali con el 9,4%. Estas tres ciudades agrupan el 68,5% del mercado nacional. Sin embargo, la participación de estas ciudades ha venido cayendo a favor de las capitales intermedias, tales como, Bucaramanga, Barranquilla y Villavicencio, las cuales concentran actualmente el 14,6% del total nacional, cuando hace 6 años sólo contenían el 9,8% del total. El mercado de vehículos a nivel nacional alcanza 11 billones de pesos (2% del PIB).

Según Boletín informativo No. 114 del 30 de Julio de 2014 de fedebiocombustibles el referente hoy día de los biocombustibles es Brasil donde se tiene 25% de mezcla. Solo con ese porcentaje habría un potencial de expansión pues en Colombia tenemos las mezclas E10 y E5 de bioetanol y biodiesel respectivamente. Brasil dispone de los vehículos flex-fuel, que pueden tanquear con gasolina mezclada o con 100 por ciento etanol. Eso ha hecho que en Brasil, el mercado de la gasolina sea 50 por ciento etanol y 50 por ciento gasolina. Colombia está solo en el 8 por ciento.

Con la producción de caña y la capacidad instalada en el Valle, se podría en el mediano plazo llegar al 20 por ciento de mezcla. Hay suficiente biomasa y suficiente caña en Colombia para ir evolucionando hacia ese 20 por ciento, si se montan más plantas de etanol. Dentro de las acciones políticas del Gobierno está el Plan Nacional de Desarrollo y Plan Energético Nacional, que conciben la optimización de refinerías masificación del gas natural vehicular y la ampliación de la oferta de energéticos como el biodiesel y el alcohol carburante. Actualmente, las empresas azucareras Manuelita, Risaralda, Mayagüez, Providencia e Incauca son las destilerías productoras del alcohol carburante para Colombia.



Gráfica 08. Distribución porcentual del uso de las fuentes de energía en Colombia Fuente: UPME

Lo cierto es que los monocultivos de caña de azúcar y palma aceitera, de las que se extraen los biocombustibles, ya han ocasionado la pérdida de valiosas zonas de bosques en los Llanos Orientales, Santander, el Chocó y el Valle del Cauca; por otra parte, el debate por el aumento en los precios del etanol es relevante ya que en Colombia, el precio del etanol esta por \$6.330,47 pesos galón mientras el precio internacional es equivalente a \$4.000 pesos por galón. En el caso del biodiesel, se cotiza a \$8.403,26 pesos por galón. (Fedebiocombustibles, Octubre de 2014)

Indicadores	
♦ Dólar, (TRM)	\$2,055.43
♦ EURO	2,624.19
♦ Petróleo WTI	US\$ 81,00
Para el miércoles 29 de octubre, 2014	
Biodiésel	
Vigencia: De: 01/10/2014 A: 31/10/2014	
Resolución: Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Resolución 91035 del 30 de Septiembre de 2014	
Precio galón:	\$8.403,26
Precio litro:	\$2.220,14 (USD 1,09/Lt)
Etanol	
Vigencia: De: 01/10/2014 A: 31/10/2014	
Resolución: Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Resolución 91035 del 30 de Septiembre de 2014	
↑ Precio galón:	\$6.330,47
↓ Precio litro:	\$1.672,51 (USD 0,82/Lt)

Gráfica 09. Indicadores precios de cotización biocombustibles en Colombia. Fuente: Fedebiocombustibles

5.3.4. Impacto positivo o negativo de su fabricación

En el estudio Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos de la CEPAL, elaborado por Gómez, Samaniego y Antonissen (2008), se muestran varias consideraciones:

Aunque algunos impactos positivos son de carácter general, como la reducción de emisiones de algunos contaminantes del aire a escala local, la naturaleza y magnitud de los impactos ambientales derivados de la producción y consumo de los biocombustibles depende de diversos factores. Siguiendo el enfoque analítico de ciclo de vida, los impactos ambientales se pueden asociar a las siguientes etapas:

- Producción agrícola
- Transporte y distribución hacia la industria
- Transformación industrial
- Transporte y distribución hacia el consumo
- Consumo

Es necesario considerar los impactos ambientales asociados a la producción de determinados insumos y capital productivo como fertilizantes, componentes químicos del proceso industrial, maquinaria agrícola, etc. Parte de estos ítems, aunque no todos, son incluidos en las estimaciones totales de emisiones de gases de efecto invernadero. También se pueden distinguir escalas de impacto: niveles local, regional y global. La tabla 02 muestra panorama de los impactos asociados a la producción y consumo de biocombustibles distinguiendo entre impactos de carácter global e impactos de carácter nacional/local:

ETAPA		IMPACTOS AMBIENTALES DE CARÁCTER		IMPACTOS AMBIENTALES DE CARÁCTER GLOBAL
PRODUCCIÓN AGRICOLA		DEGRADACIÓN DE SUELOS Erosión Pérdida de Nutrientes	PERDIDA BIODIVERSIDAD Ampliación frontera agrícola Uso agroquímicos	↑ EMISIONES GEI Producción fertilizantes Sintéticos
		MEJORA DE SUELOS Labranza mínima Plantaciones		
		CONTAMINACION EUTROFIZACION CUERPOS AGUA Fertilizantes Pesticidas		↑ EMISIONES GEI Ampliación frontera agrícola Fertilización Operaciones agrícolas Quemas agrícolas
	BIOFERTILIZACIÓN Subproductos industriales	CONTAMINACIÓN AIRE Quemas agrícolas		↑ EMISIONES GEI Transporte materia prima hasta planta industrial
PRODUCCIÓN INDUSTRIAL		CONTAMINACION AIRE, SUELOS Y AGUA Emisiones Industriales		↑ EMISIONES GEI Emisiones durante el proceso industrial
CONSUMO BIOCOMBUSTIBLE		REDUCCION CONTAMINACION LOCAL DEL AIRE Menores emisiones diversos contaminantes		↑ EMISIONES GEI Transporte biocombustible para distribución

Tabla 02. Impactos Ambientales Asociados a los Biocombustibles. Fuente: Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos de la CEPAL. 2008

Cambios en contaminantes locales asociados a la introducción de biocombustibles.

Los biocombustibles son generalmente menos tóxicos que los combustibles fósiles ya que emiten menos CO, HC, SO₂ y material particulado que los combustibles fósiles. En algunos casos, no obstante como en las mezclas de etanol con gasolina, se producen aumentos en las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). El impacto de los biocombustibles (etanol y biodiesel) en las emisiones de NO_x generalmente es de poca

magnitud y puede tener signo positivo o negativo dependiendo de las condiciones. Por otro lado, presentan menos riesgos de toxicidad en su manipulación que los combustibles de origen fósil.

En los países desarrollados, la implementación de estándares de control de emisiones cada vez más estrictos reduce los potenciales impactos positivos de los biocombustibles en la calidad del aire. En los países en desarrollo, la contribución de los biocombustibles a la reducción de la contaminación del aire puede ser bastante mayor, especialmente cuando los estándares respecto a emisiones de los vehículos son menos estrictas y la edad de los vehículos mayor.

Uno de los beneficios más importantes de los biocombustibles es la reducción de algunos contaminantes locales. El contenido de azufre de gasolina y diesel está directamente relacionado con las emisiones de SO₂. Los biocombustibles están libres de sulfuros, por lo que su uso, ya sea sustituyendo totalmente al combustible fósil o en mezcla, reduce las emisiones de SO₂ por litro consumido. La dimensión de los beneficios asociados a la reducción de emisiones de SO₂ depende, entre otros factores, del contenido en azufre de los combustibles y de la edad del parque vehicular.

Cuanto mayor sean el contenido en azufre y la edad promedio de los vehículos, mayor es el beneficio potencial de la introducción de biocombustibles. En algunos países se distingue entre el uso en áreas metropolitanas y en el resto del país. Los países donde los beneficios potenciales de introducir biodiesel son mayores son Uruguay, Ecuador, Venezuela y los países centroamericanos, mientras que los beneficios serían relativamente menores en Perú, Chile, Argentina, Brasil y México, especialmente en los años próximos en que entran en vigor normativas que introducen reducciones adicionales del contenido en azufre del combustible diesel.

Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de etanol.

Las principales ventajas ambientales vinculadas al etanol, son la reducción en emisiones de CO, hidrocarburos y otros compuestos (como bencenos). Cuanto más antiguo es el motor (con carburador, sin catalizador), más significativo es el potencial de ventajas ambientales. En los motores más modernos la utilización del etanol lleva a una mejora

marginal. Entre los inconvenientes se encuentra el aumento en las emisiones de aldehídos y NO_x. Por otro lado, la introducción de etanol permite sustituir el MTBE17 (producto con riesgos ambientales, crecientemente prohibido en todo el mundo) como oxigenante y el plomo, u otras sustancias igualmente tóxicas, para aumentar el octanaje. (Horta, L., 2004 en CEPAL, 2008).

La Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico y Protección Ambiental (CETESB), vinculada a la autoridad ambiental del gobierno de São Paulo estima que la adición de etanol a la gasolina generó reducciones del orden del 50% en la emisión de CO de la flota antigua de vehículos. En el lado negativo, los vehículos movidos por etanol son los principales responsables de la emisión de aldehídos, (que forman parte del grupo de COV). Antes de 1980, cuando la gasolina era el único combustible en uso, las emisiones de CO eran superiores a 50g/Km.; actualmente son menores a 1g/Km (0,63 g/Km en vehículos movidos por etanol), gracias a la introducción de etanol y a cambios tecnológicos. Por otro lado, Brasil fue país pionero en la eliminación del plomo como aditivo gracias a la introducción del etanol (CETESB, 2006 en CEPAL 2008).

Es posible encontrar otras experiencias en que los resultados difieren en mayor o menor medida, de lo ocurrido en Brasil. Por ejemplo, pruebas piloto llevadas a cabo por la empresa petrolera estatal de Costa Rica RECOPE empleando mezcla de gasolina y 10% de etanol (E10) mostraron niveles similares de emisiones de CO y de HC que los de la gasolina regular (Horta, L., 2004). El mismo combustible (E10) utilizado en un estudio elevado a cabo en el Reino Unido mostraba menores emisiones de CO (21% de reducción) y de material particulado (reducción de 46%); no encontraron variaciones significativas en las emisiones de NO_x, y los aldehídos aumentaron en 510% (Kojima y Johnson, 2005 en CEPAL, 2008).

Otro estudio de EPA del año 2002 también muestra ligeras variaciones en las emisiones de NO_x, desde 10% de reducción a 5% de aumento en mezclas de gasolina con baja proporción de etanol, en comparación con la gasolina convencional. En mezclas con mayor porcentaje de etanol (E85), una investigación del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de EE.UU. en 1998 mostraba niveles de emisiones similares a las de una gasolina reformulada (IEA, 2004 en CEPAL 2008). La única diferencia reseñable era las mayores emisiones de aldehídos, especialmente acetaldehídos cuyas emisiones

aumentan 40 veces (de 0,0002 gr/km. a 0,081 gr/km.) en la mezcla E85, si bien todavía en niveles muy bajos.

El papel de los biocombustibles en la reducción de emisiones de GEI.

Según los diferentes estudios desarrollados en la mayor parte de los casos, la sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles genera reducciones importantes de GEI. Las reducciones podrían ser mayores si los subproductos sustituyen producciones por otra parte (insumos para alimentación de ganado o glicerina) y si parte de la biomasa se puede utilizar para la producción de energía como se hace actualmente en muchas plantas de etanol de Brasil. Por otro lado, los estudios muestran que las reducciones de emisiones de GEI más significativas se producen en los biocombustibles obtenidos a partir de la celulosa.

En el caso de etanol a partir de maíz hay que considerar la energía utilizada en el cultivo, en el transporte y en el proceso de transformación industrial. Diferentes supuestos respecto a la distribución de la energía entre la producción de etanol y otros subproductos, y de utilización de fertilizantes y pesticidas pueden tener impactos muy grandes en el balance de emisiones de GEI. En muchos estudios, entre un 5 y 15% de la reducción de las emisiones de GEI se atribuyen a subproductos como alimentos para ganado o cogeneración de electricidad (IEA, 2004). El resultado más sorprendente muestra un incremento en las emisiones de GEI de 95% utilizando etanol de maíz (Searchinger et al, 2008), en el que se consideran cambios en el uso de la tierra (principalmente deforestación) por aumento en los precios de los productos agrícolas.

También los supuestos respecto al uso de fertilizantes nitrogenados pueden cambiar significativamente las estimaciones de reducción de emisiones de GEI. En el ciclo de vida del etanol de maíz la principal contribución a los emisiones de GEI procede de las prácticas agrícolas (34% a 44%). En este sentido, hay técnicas, como las prácticas de conservación de suelos que reducen el consumo de combustible, la erosión del suelo y las necesidades de fertilizante (Farrell et al, 2006 en CEPAL, 2008). En la producción de etanol a partir de caña de azúcar en Brasil una parte muy importante de la electricidad utilizada procede del bagazo, por lo que el requerimiento de energía fósil en el proceso de

transformación, y por tanto las emisiones de GEI, son cercanas a cero (incluso pueden ser menores a cero cuando hay exportación neta de la energía producida en los ingenios).

Biocombustibles y costos de reducir emisiones de GEI.

Una primera reflexión sobre la relación entre biocombustibles y reducción de emisiones de GEI es que la inversión en biocombustibles, en las condiciones actuales, no es la manera más eficiente de reducir emisiones, en comparación con otras alternativas. Por un lado, el crecimiento del parque automotriz compensa en poco tiempo las reducciones vía fomento de biocombustibles. Además, en comparación con otras medidas de mitigación de emisiones de GEI, los costos actuales excepto en el caso de etanol de Brasil son bastante superiores, aunque se esperan reducciones en el futuro.

La baja costo-efectividad de los biocombustibles se debe a los altos costos de producción para reducciones relativamente modestas de GEI. Las reducciones de costos unitarios en el futuro estarán vinculadas a la mejora en los procesos de producción de los biocombustibles actuales y al desarrollo de biocombustibles a partir de celulosa, que generan mayores reducciones de emisiones de GEI. Se proyecta que el 13% de los granos, 15% de aceites vegetales y 30% de azúcares de América Latina se utilizarán para la producción de biocombustibles (Cepal, FAO, IICA, 2011)

Justificación para la adopción de la política nacional de biocombustibles.

Existen evidencias que apuntan hacia una crisis energética de los combustibles fósiles a nivel mundial, fundamentadas en el creciente consumo por habitante y en el aumento de la motorización por región, el crecimiento de la demanda en las economías emergentes que supera la dinámica de la actividad de producción según un estudio adelantado por Bolívar, Mostany y García, 2006 (En CEPAL, 2008) y que aunado a la disminución creciente de las reservas de petróleo, generan incertidumbre sobre el panorama a futuro.

El promedio de consumo mundial de petróleo está aproximadamente sobre los 83,5 millones de barriles diarios, frente a un nivel de producción aproximado de 80 millones de barriles, durante los años 2001-2011. Se puede inferir que en los últimos años se viene manifestando un progresivo déficit en el mercado del petróleo, debido en parte, al ritmo

acelerado de la demanda, y la oferta es insuficiente para cubrirla. A partir de este problema la sociedad ha creado un conjunto de estrategias, estimulando la producción de energías alternativas, dentro de las cuales están el desarrollo de los biocombustibles.

A partir de la promulgación de la política de biocombustibles que se dio en el año 2008, se ha estimulado la meta de mezcla de biocombustibles en Colombia, mediante un escalonamiento en la composición de biocombustibles provenientes del aceite de palma y caña de azúcar con relación a la cantidad de combustible fósil, pasando de 5% en el 2008, a 10% en el 2010 y a 20% en el 2012.

5.3.5. Tipos de Biocombustibles

Actualmente, los combustibles fósiles y la energía nuclear proporcionan cada año alrededor del 90% de la energía que se utiliza en el mundo. Pero las reservas de combustibles fósiles son limitadas y, en mayor o menor grado, contaminantes.

Desde mediados del siglo XX, con el crecimiento de la población, la extensión de la producción industrial, y el uso masivo de tecnologías, comenzó a crecer la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo y el deterioro ambiental. Desde entonces, se impulsó el desarrollo de energías alternativas basadas en recursos naturales renovables y menos contaminantes, como la luz solar, las mareas, el agua, y la biomasa.

A diferencia de los combustibles fósiles, que provienen de la materia orgánica acumulada durante enormes períodos de tiempo, los biocombustibles provienen de una fuente renovable, la biomasa. Esta es la materia orgánica que constituye todos los seres vivos, sus productos y desechos. Se dice que es una fuente de energía renovable porque su formación no lleva miles de años y por lo tanto la tasa de utilización no es mucho mayor a la de su formación. (Lede, 2008).

En gran parte del mundo, la leña (o carbón vegetal) que se obtiene a partir de la madera sigue siendo el principal biocombustible empleado para la cocina, la calefacción y obtención de luz. Esta fuente de energía es un recurso renovable si se obtiene a partir de bosques convenientemente reforestados. Asimismo, muchos vehículos utilizan

biocombustibles a base de metanol y etanol mezclado con gasolina. Se puede obtener etanol a partir de la caña de azúcar, remolacha maíz, u otros productos. En algunos países, como la India y la China, se produce biogás a partir de la fermentación natural de desechos orgánicos (excrementos de animales y residuos vegetales). Otra fuente importante de biocombustibles son los aceites de los cultivos oleaginosos, como la soya, el girasol y la colza, que pueden convertirse en biodiesel. (Lede, 2008)

Obtención de los biocombustibles.

Según la naturaleza de la biomasa, y el tipo de combustible deseado, se pueden utilizar diferentes métodos para obtener biocombustibles: mecánicos (astillado, trituración, compactación), termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación), biotecnológicos (fermentación y digestión microbiana anaeróbica) y extractivos. En la Tabla 3 se presentan los principales procesos de obtención de biocombustibles, los productos derivados y sus aplicaciones. (Lede, 2008)

Procesos de obtención de biocombustibles						
	Mecánicos	Termoquímicos		Biotecnológicos		Extractivos
Técnicas	Astillado Trituración Compactación	Pirólisis	Gasificación	Fermentación	Digestión anaerobia	Extracción físico- química
Productos	Leñas Astillas Briquetas Aserrín	Carbón Aceites	Gas de gasógeno	Etanol Varios	Biogás	Aceites Ésteres Hidrocarburos
Aplicaciones	Calefacción Electricidad	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Transporte Industria química	Calefacción Electricidad	Transporte Industria química

Tabla 03: Procesos de obtención de Biocombustibles. Fuente: Lede, Silvia. 2008. Consejo Superior para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología ARGENBIO.

Tipos de Biocombustibles

Los Biocombustibles, se consideran como fuentes renovables dentro de la oferta mundial teórica energética, la cual depende de severas limitaciones de uso condicionadas por razones de índole técnica y económica. Dentro de las fuentes de energía renovable una de gran perspectiva es aquella obtenida de la Biomasa y la energía bioquímica de productos fotosintéticos aprovechables, (Almarales et al., 2001) entre otros, a través de

Combustión (Leña, paja, etc), Gasificación, Fermentación anaeróbica a biogás y Fermentación alcohólica.

Existen diversos tipos de biocombustibles, para efectos del presente trabajo se abarcan aquellos de tipo:

Biodiesel: Está fabricado con base en aceites vegetales, como aceite de soya, palma, tanto nuevo como usado. También incorpora aceites animales, grasas animales y aceite de pescado.

Bioetanol: Está fabricado con base en el alcohol producto de la fermentación de azúcares, principalmente como los obtenidos a partir de la caña de azúcar y la remolacha. También se obtiene de cereales como el trigo, la cebada y el maíz, gracias al almidón que contienen.

Una explicación enfocada a los vehículos.

E5: El biocombustible E5 supone una mezcla del 5 por ciento de bioetanol y el 95 por ciento de gasolina. Ésta es la mezcla habitual y la máxima autorizada en la actualidad por la regulación europea .ya que diferentes estudios constatan que los vehículos actuales toleran sin problemas mezclas hasta el 10 por ciento de bioetanol y los beneficios para el medioambiente son significativos.

E10: El biocombustible E10 significa una combinación del 10 por ciento de bioetanol y el 90 por ciento de gasolina. Esta mezcla es la más utilizada en los Estados Unidos, ya que hasta esta proporción de mezcla los motores de los vehículos no requieren ninguna modificación e incluso, produce la elevación de un octano en la gasolina mejorando su resultado y obteniendo una notable reducción en la emisión de gases contaminantes.

E85: Se trata de una mezcla de 85 por ciento de bioetanol y 15 por ciento de gasolina, utilizada en vehículos con motores especiales. En Estados Unidos, las marcas más conocidas ofrecen vehículos adaptados a estas mezclas. También se comercializan, en algunos países (EEUU, Brasil, Suecia, otros) los llamados vehículos FFV (Flexible Fuel Vehicles) o Vehículos de Combustibles Flexibles con motores adaptados que permiten una variedad de mezclas.

E95 y E100: Mezclas hasta el 95 por ciento y 100 por ciento de bioetanol son utilizados en algunos países como Brasil con motores especiales.

E-Diesel: El bioetanol permite su mezcla con gas-oil utilizando un aditivo solvente y produciendo un biocombustible Diesel, el E-Diesel, con muy buenas características en cuanto a combustión y reducción de contaminación. El E-Diesel ya se comercializa con éxito en EEUU y Brasil y pronto hará su aparición en España y Europa.

ETBE: No se comercializa como un biocombustible, sino que se utiliza como un aditivo de la gasolina. El ETBE (etil ter-butyl eter) se obtiene por síntesis del bioetanol con el isobutileno, subproducto de la destilación del petróleo. El ETBE posee las ventajas de ser menos volátil y más miscible con la gasolina que el propio etanol y como el etanol, se aditiva a la gasolina en proporciones del 10-15 por ciento. La adición de ETBE o etanol sirve para aumentar el índice de octano de la gasolina, evitando la adición de sales de plomo.

5.4. BIOETANOL

5.4.1. Generalidades

Fedebiocombustibles indica que el Etanol es un compuesto inflamable que no tiene color y tiene olor característico de los alcoholes. Se puede producir a partir de cultivos como el maíz, la papa, la remolacha, la yuca, el sorgo y la caña, ya que estos contienen carbohidratos que fermentan y se transforman en alcohol. El etanol se puede mezclar con la gasolina que utilizamos para tanquear los vehículos. En Colombia se promulgó la ley 693 de 2001, la cual establece que en septiembre del año 2005, las ciudades con más de 500 mil habitantes, como Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla, deberán utilizar gasolina en una mezcla 10% de etanol. (Fedebiocombustibles en http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-4-titulo-proceso_de_los_biocombustibles.htm)

Denominado también etanol de biomasa, es un alcohol que se obtiene por fermentación de productos azucarados como remolacha, caña de azúcar o sorgo, o también de trigo, cebada y maíz. Este producto debe además ser sometido a un proceso que lo libere de agua, sólo entonces el producto estará listo para ser mezclado con la gasolina común, que además de oxigenarla permite aprovechar el alto nivel de octano que posee. El resultado final puede sustituir los combustibles altamente contaminantes tal es el caso de la gasolina o nafta. Los principales países productores de bioetanol son:

- Brasil, 45%
- Estados Unidos, 44%
- China, 6%
- Unión Europea, 3%
- India, 1%
- Otros 1%

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa la planta.

El bioetanol se produce por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible. El bioetanol mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión. El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones del 5 o el 10%, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores actuales.

Un obstáculo importante es la legislación europea sobre la volatilidad de las gasolinas que fija la proporción de etanol en mezclas E5. Concentraciones más elevadas, autorizadas en Suecia y Estados Unidos, implica que se debe disponer de un vehículo flexible (FFV),

con un depósito, motor y sistema de combustible único capaz de funcionar con gasolina y etanol, solos o mezclados en cualquier proporción. La otra alternativa para su uso es en forma de aditivo de la gasolina como etil-ter-butileter (ETBE).

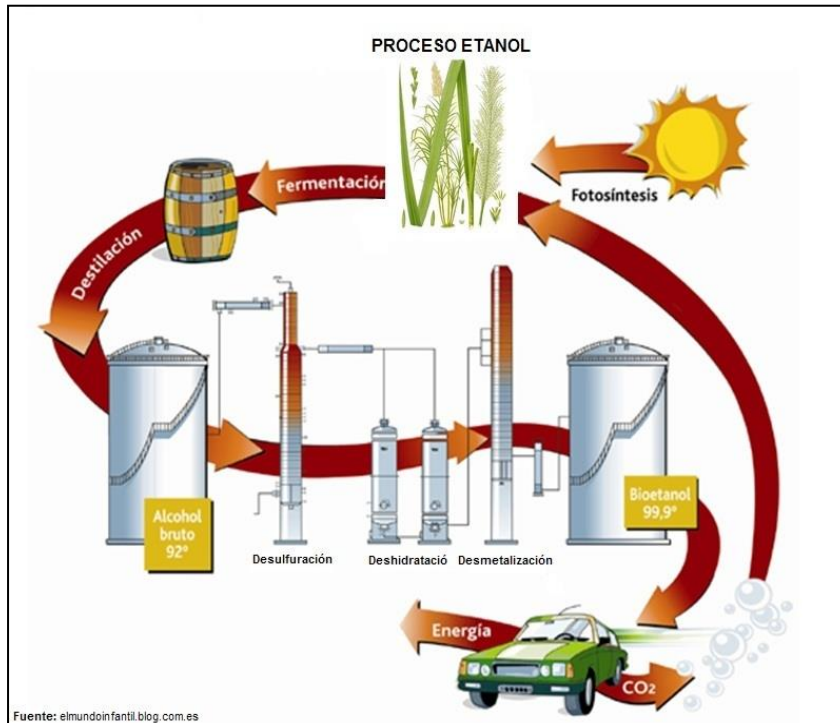
Las especificaciones para la utilización de bioetanol se compendian en la norma Europea de Gasolinas EN 228, en España se encuentra transpuesta la Directiva 2003/17/CE relativa a la calidad de las gasolinas y gasóleo, en el Real Decreto R.D. 61/2006 de las especificaciones y uso de biocarburantes.

5.4.2. Métodos de obtención

El bioetanol es elaborado a través de la fermentación de productos con alto contenido de carbohidratos como la papa, hemicelulosa como la madera blanda, inclusive celulosa o residuos de papel, melazas azucareras, maíz, almidón de trigo, almidón de papa, almidón de yuca y por hidrólisis y fermentación de residuos celulósicos.

El primer paso para la obtención del etanol es la fermentación que es un proceso donde los azúcares contenidos en los jugos y las mieles de los cultivos se transforman en alcohol con la ayuda de levaduras. Después el alcohol fermentado pasa a unas columnas de destilación, donde a través de un proceso de evaporación se separan compuestos, obteniéndose el alcohol más puro y la vinaza. La etapa final es la deshidratación, donde se retira el agua del alcohol y se obtiene el alcohol carburante o el alcohol anhidro que significa alcohol sin agua.

El etanol se lleva por carro tanque a unas plantas de almacenamiento donde mezclan la gasolina y el alcohol carburante en un 10%. Hay que tener mucho cuidado con la posible presencia de agua en ese proceso, por ejemplo en el carrotanque, ya que si se mezcla agua con el alcohol carburante, el producto se daña y pierde su calidad. Posteriormente, la mezcla gasolina-etanol se transporta nuevamente por carrotanque a las estaciones de servicio, donde el combustible es vendido al público en general. (Fedebiocombustibles en http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-4-titulo-proceso_de_los_biocombustibles.htm)



Gráfica 10. Método obtención de etanol. Fuente: El mundo infantil.blog.es en [www. Fedebiocombustibles.com](http://www.Fedebiocombustibles.com)

La caña de azúcar, en sus diferentes variedades es el cultivo que ofrece una mayor cantidad de materia prima para obtener bioetanol. En Colombia, actualmente se encuentran cultivadas alrededor de 200.000 Ha, con fines de obtención energética, pues se dispone de diversas plantas ricas en azúcares, cereales y altas cantidades de biomasa.

En España la producción industrial emplea principalmente cereal como materia prima básica, con posibilidad de utilizar los excedentes de la industria remolachera transformados en jugos azucarados de bajo costo. En general, se utilizan tres familias de productos para la obtención del alcohol:

- Azúcares, procedentes de la caña o la remolacha, por ejemplo.
- Cereales, mediante la fermentación de los azúcares del almidón.
- Biomasa, por fermentación de azúcares contenidos en la celulosa y hemicelulosa.

Luego de los procesos de tratamiento, obtención y separación mediante un proceso de destilación, se obtiene etanol anhidro, el cual es apto para ser mezclado con la gasolina y posee las características necesarias para ser usado como materia prima para la

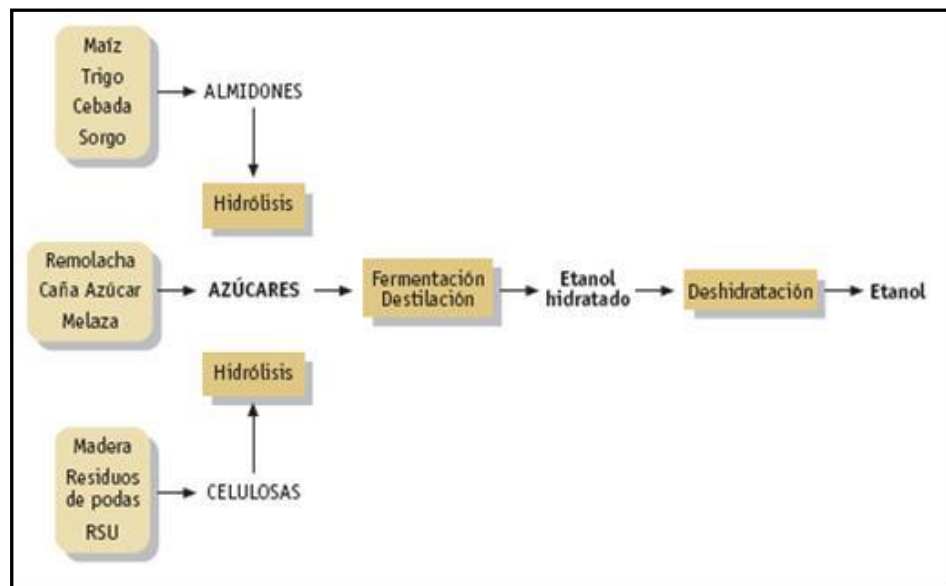
producción conjunta de biodiesel a partir de aceite de palma. El proceso general de fabricación del bioetanol, se enmarca en las siguientes fases:

Dilución: Es la adición del agua para ajustar la cantidad de azúcar en la mezcla o (en última instancia) la cantidad de alcohol en el producto. Es necesaria porque la levadura, usada más adelante en el proceso de fermentación, puede morir debido a una concentración demasiado grande del alcohol.

Conversión: La conversión es el proceso de convertir el almidón/celulosa en azúcares fermentables. Puede ser lograda por el uso de la malta, extractos de enzimas contenidas en la malta, o por el tratamiento del almidón (o de la celulosa) con el ácido en un proceso de hidrólisis ácida.

Fermentación: La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, básicamente. De la fermentación alcohólica se obtienen un gran número de productos, entre ellos el alcohol

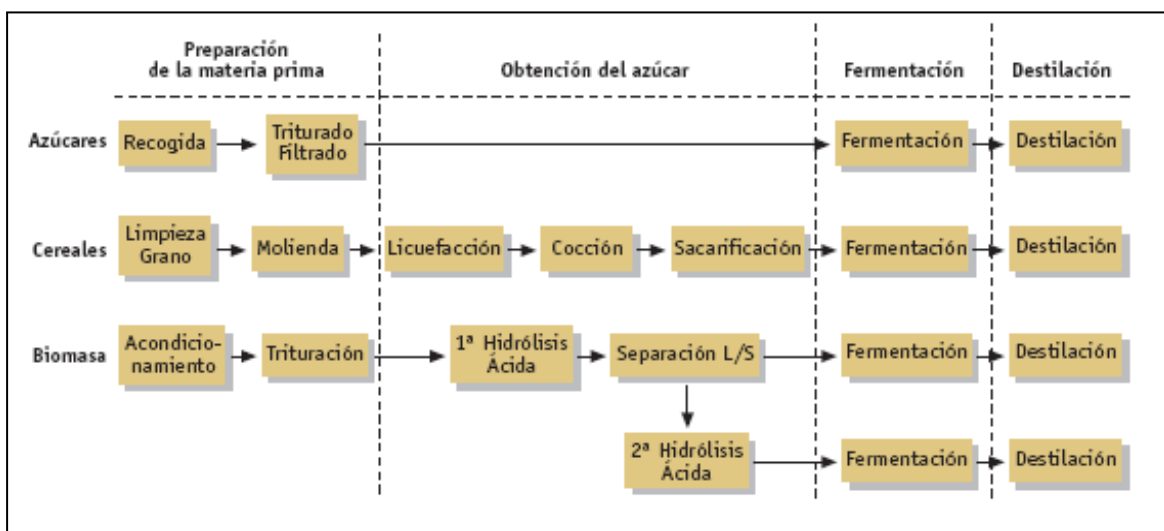
Destilación o Deshidratación: La destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla (etanol/agua). Una forma de destilación, conocida desde la antigüedad, es la obtención de alcohol aplicando calor a una mezcla fermentada.



Gráfica 11. Proceso de obtención de bioetanol. Fuente: <http://www.miliarium.com>

Otra alternativa a las cosechas dedicadas a fines energéticos son los materiales lignocelulósicos, que ofrecen un mayor potencial para la producción de bioetanol, como el uso de residuos de procesos agrícolas, forestales o industriales, con alto contenido en biomasa. Estos residuos pueden ir desde la paja de cereal a las "limpias" forestales, pasando por los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Los residuos tienen la ventaja de su bajo costo, ya que son la parte no necesaria de otros productos o procesos, salvo cuando son utilizados en la alimentación del ganado. Los RSU tienen un alto contenido en materia orgánica, que los hace una potencial fuente de materia prima, aunque debido a su diversa procedencia pueden contener otros materiales cuyo pre proceso de separación incrementa mucho el precio de la obtención del bioalcohol. También pueden utilizarse residuos generados en algunas industrias, como la papelera, la hortofrutícola o la fracción orgánica de residuos sólidos industriales. Muchos de estos residuos no sólo tienen valor económico en el contexto donde se generan sino que pueden ser causa de problemas ambientales durante su eliminación (Cabrera J. A., 2006).

Los residuos de biomasa contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. Para obtener los azúcares de la biomasa, ésta es tratada con ácidos o enzimas que facilitan su obtención. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o diluidas por ácidos para obtener sacarosa, que es entonces fermentada. Los principales métodos para extraer estos azúcares son tres: la hidrólisis con ácidos concentrados, la hidrólisis con ácidos diluidos y la hidrólisis enzimática. En la gráfica 11 se muestra las diferencias entre los procesos de obtención de bioetanol, según sea su materia prima de origen.



Gráfica 12. Diferencias en los procesos de obtención de bioetanol. Fuente: <http://www.miliarium.com>

Otro ejemplo de proceso de obtención de bioetanol a partir de alcohol vínico, se lleva a cabo en la empresa Acciona-Energía de España, donde se procede a la limpieza y deshidratación del alcohol bruto, para elevar su pureza del 92% al 99,9% y comercializarlo, una vez desnaturalizado como bioetanol. El proceso comprende las siguientes fases:

Desulfuración: Eliminación del anhídrido sulfuroso (SO_2) presente en el alcohol bruto.

Deshidratación: Reducción del contenido en agua mediante su tamizado con zeolitas, (Minerales aluminosilicatos microporosos), sustancias que captan las moléculas de agua.

Desmetilización: Proceso en el que el alcohol ya deshidratado (99,9%), se separa su contenido de metanol. Esta sustancia resulta corrosiva para los vehículos y puede ser comercializada como producto químico o combustible

Almacenamiento en depósitos: Desde ellos, el producto se transporta por tuberías a vehículos cisterna de carga y en ese trayecto se le añade una sustancia que desnaturaliza el bioetanol para evitar así su derivación al consumo humano.

5.4.3. Subproductos de la obtención del bioetanol

Los subproductos generados en la producción de bioetanol, así como el volumen de los mismos, dependen en parte de la materia prima utilizada. En general se pueden agrupar en dos tipos:

Materiales lignocelulósicos: Tallos, bagazo, etc., correspondientes a las partes estructurales de la planta. En general se utilizan para valorización energética en cogeneración, especialmente para cubrir las necesidades energéticas de la fase de destilación del bioetanol, aunque también se puede vender el excedente a la red eléctrica.

Materiales alimenticios: Pulpa y granos de destilería de maíz, que son los restos energéticos de la planta después de la fermentación y destilación del bioetanol. Tienen interés para el mercado de fabricación de alimentos animales, por su riqueza en proteína

y valor energético. La caña de azúcar es la planta más aprovechable por el bagazo generado para su combustión y generación energética, la remolacha azucarera genera por su parte, unas 0,75 ton de pulpa por tonelada de bioetanol producido.

La producción de bioetanol a partir de trigo o maíz genera en torno a 1,2 ton de pulpa por tonelada de bioetanol. En general, existen dos filosofías alimenticias en cuanto al empleo de los subproductos derivados de la producción de bioetanol. Cuando la pulpa está en el 15% o menos de la dieta, sirve como fuente de proteína suplementaria. Cuando está en niveles más altos (Superior al 15% de la dieta de la materia seca), su papel primario es como fuente de energía.

Según el Consejo Nacional de Energía de la República de El Salvador, para el caso del etanol producido a partir de granos, los subproductos son los llamados granos de destilería, que se destinan a la alimentación animal; además, las aguas de deshecho, que son ricas en nitrógeno, se las utiliza como fertilizante.

En el caso del etanol proveniente de caña de azúcar, los subproductos son el bagazo, que se utiliza como fuente de energía para la generación de electricidad y vapor en los ingenios, y la vinaza, que se usa como fertilizante en los campos agrícolas. En lo que respecta a la producción de biodiesel, el principal subproducto es la glicerina, que se vende para utilizarla en diferentes procesos industriales, incluida la elaboración de jabones y cosméticos.

5.4.4. Balance energético de la producción de bioetanol

Para que el etanol contribuya perceptiblemente a las necesidades de combustible para el transporte, necesitaría tener un balance energético neto positivo. Para evaluar la energía neta del etanol hay que considerar cuatro variables: La cantidad de energía contenida en el producto final del etanol, la cantidad de energía consumida directamente para hacer el etanol, la calidad del etanol resultante comparado con la calidad de la gasolina refinada y la energía consumida indirectamente para hacer la planta de proceso de etanol.

Aunque es un asunto que crea discusión, algunas investigaciones que hagan caso de la calidad de la energía sugieren que el proceso toma tanta o más energía combustible fósil (en las formas de gas natural, diesel y de carbón) para crear una cantidad equivalente de energía bajo la forma de etanol. Es decir, la energía necesitada para funcionar los tractores, para producir el fertilizante, para procesar el etanol, y la energía asociada al desgaste en todo el equipo usado en el proceso (conocido como amortización del activo por los economistas) puede ser mayor que la energía derivada del etanol al quemarse. (En <http://www.miliarium.com/bibliografia/Monografias/Biocombustibles/Bioetanol.asp>).

Se suelen citar dos defectos de esta argumentación como respuesta, en primer lugar el no dar importancia a la calidad de la energía del bioetanol, cuyos efectos económicos son importantes. Si se compara la calidad de la energía con los costos de descontaminación del suelo que provocan los derrames de gasolina al ambiente y los costos "módicos" de la contaminación atmosférica (porque no se puede descontaminar la atmósfera), resultado de la refinación y de la gasolina quemada. Por otro lado, el desarrollo de las plantas de etanol implica un prejuicio contra este producto basado estrictamente sobre la preexistencia de la capacidad de refinación de la gasolina. La decisión última se debería fundar sobre razonamientos económicos y sociales a largo plazo.

El primer argumento, sin embargo, sigue debatiéndose. No tiene sentido quemar 1 litro de etanol si requiere quemar 2 litros de gasolina (o incluso de etanol) para crear ese litro. La mayor parte de la discusión científica actual en lo que al etanol se refiere gira actualmente alrededor de las aplicaciones en las fronteras del sistema. Esto se refiere a lo completo que pueda ser el esquema de entradas y salidas de energía. Se discute si se deben incluir temas como la energía requerida para alimentar a la gente que cuida y procesa el maíz, para levantar y reparar las cercas de la granja, incluso la cantidad de energía que consume un tractor. Además, no hay acuerdo en qué clase de valor dar para el resto del maíz, como el tallo por ejemplo, lo que se conoce comúnmente como coproducto. Algunos estudios propugnan que es mejor dejarlo en el campo para proteger el suelo contra la erosión y para agregar materia orgánica. Mientras que otros queman el coproducto para accionar la planta del etanol, pero no evitan la erosión del suelo que resulta, lo cual requerirá más energía en forma de fertilizante.

Dependiendo del estudio, la energía neta varía de 0,7 a 1,5 unidades de etanol por unidad de energía de combustible fósil consumida. En comparación si el combustible fósil utilizado para extraer etanol se hubiese utilizado para extraer petróleo y gas se hubiesen llenado 15 unidades de gasolina, que es un orden de magnitud mayor. Pero, la extracción no es igual que la producción. Cada litro de petróleo extraído es un litro de petróleo agotado.

Para comparar el balance energético de la producción de la gasolina a la producción de etanol, debe calcularse también la energía requerida para producir el petróleo de la atmósfera y para meterlo nuevamente dentro de la tierra, un proceso que haría que la eficiencia de la producción de la gasolina fuese fraccionaria comparada a la del etanol. Se calcula que se necesita un balance energético de 200%, o 2 unidades de etanol por unidad de combustible fósil invertida, antes de que la producción en masa del etanol llegue a ser económicamente factible.

(En <http://www.miliarium.com/bibliografia/Monografias/Biocombustibles/Bioetanol.asp>)

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Para responder al problema de investigación, se desarrolla el siguiente diseño de investigación, para aplicarlo al contexto del presente estudio definiendo una alternativa de Producción de Etanol a partir de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos, como contenido de interés para el futuro energético del país y del mundo, desarrollando una nueva tecnología, para la obtención de bioetanol y poder constituirlo como realidad en su empleo como fuente de Energía Limpia y renovable que se haga autosostenible mientras se redefine el concepto de fuentes de uso para los combustibles del futuro que sean más amigables y más eficientes con el ser humano y con el medio ambiente.

El presente trabajo pretende demostrar la dinámica que existe entre los factores que facilitan la producción de bioetanol a partir de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos, con pruebas a escala de laboratorio, con la revisión previa de los informes previos establecidos en la labor.

6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se basa en un estudio de tipo experimental exploratorio, teniendo en cuenta la toma de decisiones de los casos, para luego observar sus consecuencias o efectos examinando un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes (Cernuda J.C., 1999). Se realiza a través de modalidad pre-experimental, teniendo en cuenta la ausencia de grupos de control, se plantea como variable dependiente el porcentaje de generación de bioetanol, la cual se debe medir para ver el efecto de la manipulación que la variable independiente tiene sobre ella.

Las investigaciones exploratorias no son un fin en sí mismas, sino que destacan aspectos del fenómeno, señalan tendencias, identifican posibles relaciones y proveen de información que puede dar elementos para desarrollar un tipo de investigación más sistemático. (Cernuda J. C., 1999).

6.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

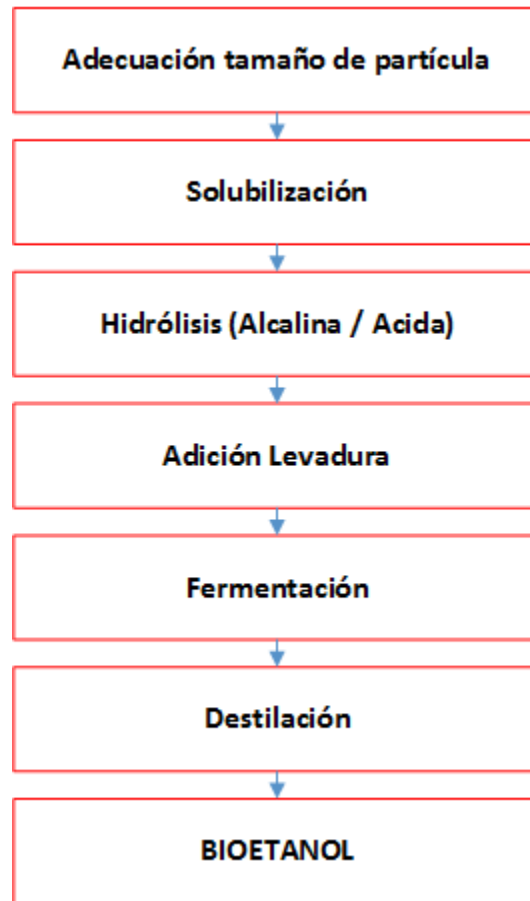
Se utilizará método inductivo de resultados para el procesamiento de la información recopilada, abordando temáticas que van de lo general a lo particular. Se utilizará método deductivo para la elaboración de las conclusiones y recomendaciones para determinar los resultados del proceso investigativo, orientando a lograr un nuevo conocimiento tecnológico destinado a solucionar problemas prácticos. Se usan diferentes procedimientos y técnicas para abordar la situación de estudio: Observación, recopilación documental, recopilación de recogida de datos, selección de datos, estructuración de datos, análisis de contenidos,

6.3. PROCEDIMIENTO

Según el estudio adelantado por Montoya (2012), se ha identificado que los componentes de los Residuos Sólidos Orgánicos, pueden ser transformados a etanol, mediante un proceso llamado Hidrólisis de la celulosa, enzimática y ácida. Con el uso de tecnología

especializada se puede llevar a cabo un proceso básico en el que la biomasa realiza un proceso de hidrólisis enzimática, seguido de la fermentación de los azúcares y ayudado con microorganismos que contribuyan a la sacarificación y fermentación se obtendrá el alcohol, el cual con su posterior destilación logrará obtenerse la pureza deseada.

Con el objetivo de identificar la dinámica de producción, se define el procedimiento a seguir:



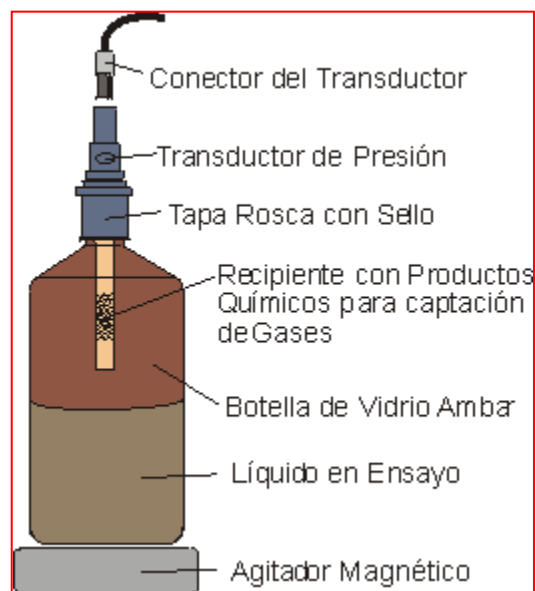
Gráfica 13. Diagrama de operaciones para la obtención de Bioetanol experimental. Fuente: Elaboración propia

La investigación experimental, se realizó en los Laboratorios de la Universidad EAN de la ciudad de Bogotá – Colombia, con el fin de evaluar el proceso experimental de la obtención de Etanol a partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), a escala de laboratorio.

Se utilizó el método de medición de demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 método respirométrico para comprobar las probabilidades de la obtención de Bioetanol en muestras y evaluar los resultados finales.

Según la guía de laboratorio de procesos biológicos proporcionada por Martínez J.A. (2014), se han utilizado varios métodos para determinar el índice de respiración de bacterias para evaluar la capacidad de una población bacteriana de quitar sustancias de las aguas residuales (tratabilidad, o biodegradabilidad) y para determinar el efecto de las sustancias en las bacterias (inhibición o toxicidad). La demanda bioquímica de oxígeno – DBO expresa la cantidad de oxígeno que se consume por procesos bioquímicos durante la degradación de ingredientes orgánicos. Mediante el análisis de DBO se determinan los compuestos orgánicos degradables; esto diferencia la DBO de la DQO (Demanda Química de oxígeno) que determina adicionalmente sustancias no biodegradables.

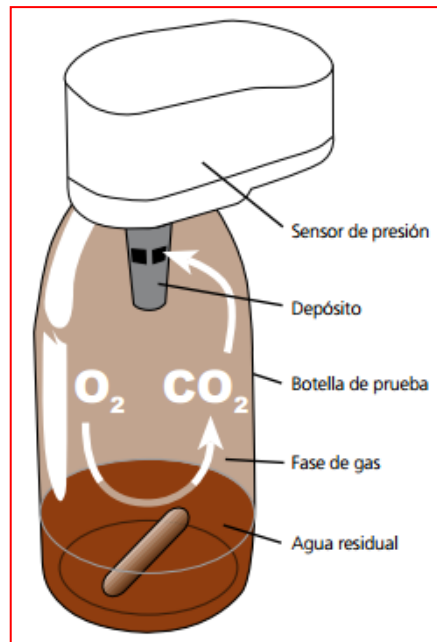
El Método respirométrico, para la determinación de la DBO_5 se basa en medir el consumo de oxígeno, o la producción de CO_2 , en una Botella respirométrica. Este objetivo se logra entre otras formas (Método Manométrico) midiendo la variación de la presión en la botella, mediante un manómetro lo suficientemente sensible. Otros métodos respirométricos propiamente dichos miden la producción de CO_2 u otros gases como Metano, Anhídrido Sulfhídrico, etc. dentro de la botella.



Gráfica 14. Botella para medición de DBO respirométrica. Fuente: Guía de laboratorio procesos biológicos

En el Método Clásico, para la determinación de la DBO₅, se calcula la diferencia entre el Oxígeno Disuelto en la muestra o en una dilución de la misma, entre el día 0 y el día 5. Este método tiene muchas limitaciones, siendo una de las principales la pequeña cantidad de oxígeno disponible en la muestra. Usualmente unos 10 mg/L a nivel del mar, y menos de 7 mg/L a nivel de Bogotá (2540 m.s.n.m.). Si tenemos en cuenta que la muestra deberá terminar la prueba con al menos 1 mg/L, (algunas normas especifican terminar con al menos 2 mg/L) se observa que el oxígeno total disponible para la prueba será alrededor de 5 mg/L.

En el método Respirométrico, trabajando con botellas de 1 L de capacidad, llenas con medio litro de muestra o dilución de muestra, se cuenta hasta con 125 mg de Oxígeno, contenidos en el aire presente en la cámara superior de la botella. Y se puede contar aún con mayor cantidad de oxígeno en caso de trabajar con volúmenes inferiores de muestra. En este caso, el oxígeno disuelto, fuere cual fuere su contenido inicial en la muestra (exceptuando muestras altamente sobresaturadas) no tiene casi incidencia en el resultado. Por lo general está por debajo de 2.5 mg frente a los 125 mg presentes en la cámara superior. Esto es un error máximo del 2 %.



Gráfica 15. Sistema moderno de DBO respirométrica. Fuente: Guía de laboratorio procesos biológicos

Durante la determinación de la DBO las bacterias consumen el oxígeno disuelto en la prueba de la solución problema. Este oxígeno consumido es reemplazado por el oxígeno

que se encuentra en la cámara de aire de la botella de prueba. El dióxido de carbono producido queda combinado químicamente con una solución de hidróxido de potasio, que se encuentra dentro de un pequeño depósito en el interior de la botella, produciéndose un descenso en la presión del sistema. Dicho descenso es directamente proporcional al valor del a DBO registrado en el sensor.

Materiales

- Sistema de detección de DBO respirométrica
- Beaker de 100 ml
- Agitador magnético

Desarrollo de la prueba

Se lleva a cabo la definición, identificación y construcción de las muestras correspondientes, para establecer a través de ellas las diferentes reacciones que son motivo de análisis para la búsqueda y obtención de bioetanol a través de la medición de DBO₅. Esto se realiza con la construcción física y controlada de los sustratos en las muestras y aplicación de porcentaje de levadura, mediante procedimiento de pesaje y caracterización cualitativa de las mismas.



Fotografía No.1. El autor en el laboratorio de la Universidad EAN

Es de anotar que el sustrato es panela molida (No refinada) y la levadura corresponde a la destinada a usos industriales.

Con la definición de muestras, características especiales de la prueba (Altura y presión barométrica de la ciudad de Bogotá-Colombia) y elementos disponibles, se procede a

realizar el análisis de la reacción interna de FORSU en aras de identificar la dinámica para la producción de bioetanol en laboratorio.

Se realizaron varias pruebas en las botellas respirométricas, con el fin de probar en primera medida las dosis de sustrato, para las cuales el proceso se desarrollaba de forma estable; también se realizaron pruebas para evaluar las dosis de levadura a la cual el proceso se desarrolla con facilidad y estabilidad; se realizaron pruebas con variación de pH y también se realizaron pruebas con materia orgánica (Sin y con algún tipo de pretratamiento para facilitar la hidrólisis).

A cada una de las muestras, se procede a realizar medición de DBO_5 , en intervalos diarios.

Preparación de sustrato para la fermentación

Se toma un beacker con agua no destilada, y se prepara 50 ml de un par de soluciones de diferente concentración de sustrato; se utiliza un agitador magnético para garantizar la disolución total de la mezcla. Luego se marcan las muestras para que se puedan identificar claramente con su concentración de sustrato.



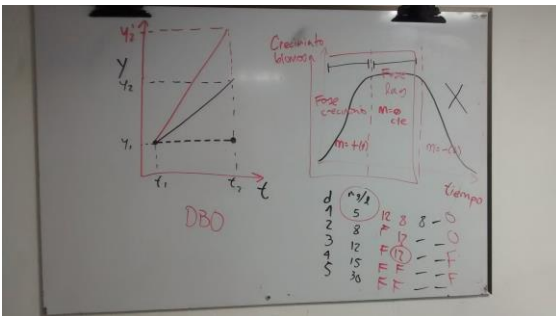
Fotografías 2, 3 y 4. Botellas respirométricas durante preparación de prueba.

Incorporación de la levadura (Activación)

Se adiciona una porción de levadura industrial a cada muestra. Se Agita suavemente cada muestra y se trata de garantizar que la temperatura de la muestra se mantenga homogénea. Luego se espera 5 minutos en reposo, y se agita suavemente con el agitador magnético o mecánico.

Seguimiento a la DBO respirométrica

Siguiendo las indicaciones de uso de los equipos de DBO respirométrica, se vierte la cantidad de muestra en cada botella y se realiza el seguimiento de su comportamiento cada día.



Fotografías 5 a 8. Desarrollo de una de las pruebas.

El método de seguimiento de DBO respirométrica genera la reducción del tiempo total de pruebas y comparado con el método de dilución, resulta más veloz. Gracias a su funcionamiento y desarrollo autónomo resulta más fácil controlar los resultados de DBO.

7. RESULTADOS

Para la obtención de resultados, se determina en términos generales que los valores obtenidos en las pruebas y que se presentan en las siguientes tablas, representan el valor leído del equipo, en mg de oxígeno/200 ml.

* Valor mg O/L: Con miras a obtener el valor equivalente de la DBO real, debe multiplicarse la lectura alcanzada en el equipo por un índice de cinco (5) para obtener una medida en litros, (Es decir, llevar el valor hasta mg de oxígeno/litro).

* Sin dato (F): Esta lectura, implica que el equipo no pudo detectar el cambio porque ocurrió en un periodo de tiempo muy rápido (Antes de 24 horas) o también porque la reacción que permite la medición de la concentración de CO₂ no pudo ser detectada por el sistema.

* -: Esta lectura implica que no hubo variación entre un valor anterior y el valor presente detectado en la respectiva medición por parte del equipo (Es decir, el valor que el valor entre las dos mediciones se mantiene constante).

El diseño de la parte experimental implicó en un principio desarrollar pruebas exploratorias para reconocer los porcentajes de concentración de sustrato y de levadura (peso en volumen), como se explicó anteriormente en "*Desarrollo de la prueba*" para permitir realizar un seguimiento al proceso a través del sistema de medición de DBO respirométrico; todo este proceso se desarrolló de forma conjunta con la dirección de la línea de investigación en residuos sólidos de la Universidad EAN, con la investigadora externa Lina Perez y con el semillero de investigación *Vestigium*. Como conclusión de esa etapa se realizaron tres (3) pruebas, con las siguientes muestras:

1. 5% p/v de sustrato con 1,5% p/v de levadura
2. 7.5% p/v de sustrato con 3% p/v de levadura.

De estas pruebas se obtuvieron los resultados que se observan a continuación

5% p/v de sustrato con 1,5% p/v de levadura			
Día	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
1	-	43	50
2	-	43	50
3	-	43	F
4	-	F	F
5	F	F	F

Tabla 04: Pruebas exploratorias realizadas el 22/Mayo/2014.

7.5% p/v de sustrato con 3% p/v de levadura			
Día	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
1	34	-	-
2	34	-	-
3	34	-	-
4	F	F	F
5	F	F	F

Tabla 05: Pruebas exploratorias realizadas el 09/Junio/2014.

De estas pruebas preliminares se logró establecer que el sistema de medición dadas las condiciones de las muestras, si logra realizar medición y facilita el monitoreo de las mismas antes del tercer día de observación.

Posteriormente y a partir de la premisa que la disponibilidad de azúcares presentes en los residuos orgánicos es baja, más aún cuando no se realiza ningún proceso previo de ruptura de las cadenas orgánicas que los componen, se planteó realizar pruebas para identificar las menores concentraciones de sustrato que permitirían hacer seguimiento al proceso, así como la dosis de levadura (Expresada en porcentaje peso en volumen %p/v) que haría viable el proceso.

Para la obtención de resultados, se ejecutaron diferentes corridas de pruebas de laboratorio con seis (6) muestras originales de sustrato y levadura; se debe tener en cuenta que una (1) de estas botellas no permitió ningún tipo de medición, dado que el equipo presentó desperfectos, con la consecuente decisión de descartar la muestra ante la imposibilidad de obtener algún resultado de ella.

De las pruebas definitivas obtenidas en las corridas de laboratorio, se obtuvieron los resultados que se observan a continuación

No. De Botella	Lecturas					
	Ensayo	1	2	3	4	5
1	3% sustrato + 1.5 % levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
2	3% sustrato + 1.5 % levadura	25	25	25	25	25
3	2% sustrato + 1.5 % levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
4	2% sustrato + 1.5 % levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
5	2% sustrato + 1% levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato

Tabla 06: Prueba definitiva I análisis de DBO₅.

No. De Botella	Lecturas					
	Ensayo	1	2	3	4	5
1	3% sustrato + 3 % levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
2	3% sustrato + 3 % levadura	41	41	41	41	41
3	4% sustrato + 2 % levadura	28	28	28	Sin dato	19
4	6% sustrato + 1.5 % levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
5	6% sustrato + 1.5 % levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato

Tabla 07: Prueba definitiva II análisis de DBO₅.

De aquí se obtuvieron mediciones positivas, donde se pudo establecer comprobación y control de las muestras que así lo obtuvieron y que se discriminan en cada tabla. Teniendo presente los resultados obtenidos, se procedió a realizar una prueba con materia orgánica como preliminar para observar si los resultados eran comparables entre sustrato a baja concentración y mínima concentración de levadura comparando con materia orgánica residual (Que tendría de por si baja concentración de azúcar disponible), así como un preliminar con hidrólisis ácida para observar si el proceso generaba cambios con y sin pretratamiento antes de la fermentación, como se puede ver en la Tabla 08.

No. De Botella	Lecturas					
	Ensayo	1	2	3	4	5
1	3% sustrato + 3% levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
2	3% sustrato + 3% levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
3	3% mezcla + 3% levadura	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato
4	3% mezcla +HCl + 3% levadura	2	1	Sin dato	Sin dato	Sin dato
5	3% mezcla +HCl + 3% levadura	3	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato

Tabla 08: Pruebas uso materia orgánica realizadas el 27/Julio/2014.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Frente a la concentración de sustrato

Se evidenció que para obtener mediciones aceptables en la obtención de resultados, en el montaje propuesto y para los fines del presente estudio, la concentración de sustrato no debe ser alta, siendo congruente con la baja concentración de azúcares presente (y disponible) en los residuos orgánicos. Se obtuvieron datos cuando se presentan concentraciones bajas de sustrato, es decir que para aquellas concentraciones que fluctúan entre el 3% y 5% de sustrato, se obtuvieron datos completos en las lecturas de dos (2) pruebas: (3% sustrato + 1.5 % levadura y 3% sustrato + 3 % levadura).

Realizadas las pruebas del 3% p/v y 2% p/v, con 1.5% levadura, se obtiene una equivalencia con las primeras pruebas, que resultan rastreables no replicables.

Es de anotar que una prueba que se intentó realizar con concentraciones por encima del 5% de sustrato, arrojó resultados negativos en términos de generación de sobrepresión en los sistemas de botellas respirométricas.

8.2 Frente a la concentración de levadura

Se evidenció que para obtener mediciones aceptables en la obtención de resultados, la concentración de levadura funciona con bajas concentraciones con valores del 3% p/v, es decir que con tres (3) gramos de levadura por cada 100 ml resulta suficiente para garantizar el desarrollo y medición adecuados de la fermentación, funcionando hasta para las concentraciones de 5% p/v y 7.5% p/v de concentración de sustrato, con verificación del monitoreo antes del tercer día.

La anterior es una situación interesante, puesto que una parte de la optimización del proceso a futuro será contar con el mínimo de insumos para el desarrollo del proceso, y el identificar la concentración de levadura mínima a la cual hay actividad de fermentación redundará en las pruebas que se realicen posteriores al presente estudio.

8.3 Con respecto a las pruebas con mezcla (Residuos orgánicos)

Se analiza en este tipo de pruebas que la presencia de azúcares es bastante baja; en la medición se obtiene unos valores de DBO bajos o no rastreables por el sistema, que puede deberse a que la mezcla no tenía una suficiente cantidad de azúcares disponibles para llevar a cabo la reacción de fermentación. En la muestra homóloga pero con digestión ácida, se evidencia un posible exceso de HCl, por lo cual la reacción tampoco se suscitó (El exceso de ácido pudo generar un ambiente hostil para las levaduras); por lo anterior, es necesario verificar una vez realizada la acidificación del medio, buscar una neutralización o hacer una verificación cuantitativa de la acidez, para garantizar unas condiciones de medio idóneas para la levadura, una vez se cuenta con azúcares disponibles.

Es de resaltar lo que ocurrió con su equivalente en presencia de sustrato 3% p/v con 3% levadura, donde resulta rastreable la medición, de forma lenta y pausada durante los cinco (5) días de la prueba. De esta forma, se debe trabajar con mínimo 3% p/v sustrato con 3% levadura, para garantizar la ruptura de las cadenas de los azúcares presentes en los residuos orgánicos mediante la activación de la levadura. Con la medición de 3% p/v de sustrato con 1.5% p/v de levadura, las mediciones no fueron tan altas, determinando una de DBO de 125, en tanto que con un porcentaje mayor de levadura (3% p/v), se lograron mediciones de DBO de 205.

Resulta aconsejable realizar una prueba con un porcentaje más alto de levadura (4%), teniendo en cuenta que la prueba de 4% p/v sustrato con 2% levadura, muestra inconsistencias al ir de mediciones de 28 a “Sin dato” y luego nuevamente 19; por lo anterior, los datos vinculados a dicha prueba se descartaron.

9. CONCLUSIONES

9.1 Frente a las pruebas realizadas

La medición en las diferentes muestras, ocurre y es rastreable para porcentajes de baja concentración de azúcares, con la participación de sustratos del orden del 3% p/v y concentraciones de levadura del 2% al 4% (3% más - menos 1%).

Para que las concentraciones de sustrato sean mejor explorables y continuas, se deben manejar con un rango entre el 3% y máximo 5%, con miras a alcanzar DBO alrededor de 200 a 250 mg O/L, coincidiendo con la presencia del porcentaje de azúcares presentes en las fracciones de residuos orgánicos típicos.

Las condiciones adecuadas de adecuación de las muestras y de los equipos de medición aseguran un monitoreo de mínimo tres (3) días de referencia para la obtención de bioalcohol.

En términos de manejo de hidrólisis, resulta más efectivo un procedimiento ácido que uno de tipo alcalino, teniendo en cuenta que a través del primero se facilita una ruptura más eficaz de las cadenas de azúcares en las muestras de sustrato.

Las pruebas con sustrato de material orgánico, corresponden a una reacción de fermentación, donde un azúcar en presencia de una levadura, generan dióxido de carbono (CO₂), Agua (H₂O), Alcohol fermentado y un residuo, de forma tal que los residuos orgánicos junto con la levadura, resultan en la ruptura de cadenas de azúcares.

Los factores que afectan la dinámica de la reacción para la obtención de etanol, según las muestras establecidas son: La concentración del sustrato, Concentración de levadura y el nivel de PH de la solución.

9.2 Frente al contexto del manejo ambiental y de residuos

La disposición de esta técnica de trabajo, puede asegurar el tratamiento y aprovechamiento total de biomasa residual obtenida a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos para producir biocombustibles en mayor escala. De esta forma pueden emplearse procesos de transformación de biomasa residual para la producción eficiente de productos de mayor valor agregado.

El uso adecuado de esta técnica, permite el aseguramiento de la obtención de una fuente de energía auto sostenible que no impacta las fuentes alimentarias como si ocurre con el uso de monocultivos y también por el uso de fuentes de energía agotables como el uso de combustibles fósiles.

Facilita la resiliencia ambiental ante los efectos del cambio climático, mediante la eficiencia energética del sistema de producción al incluir el manejo integral de la fracción orgánica de residuos sólidos que era considerada simplemente como “desperdicio”.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda en primera instancia, el manejo del proceso de continuidad y desarrollo de los procesos de análisis y perfeccionamiento de las pruebas, aplicados a la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos – FORSU.

En los nuevos estudios se recomienda no usar concentraciones de sustrato por encima del 5%, sobre la base de los resultados negativos en términos de generación de sobrepresión que se obtuvieron en los sistemas de botellas respirométricas.

Se recomienda establecer una metodología analítica que permita identificar la cantidad de azúcar disponible en la materia orgánica, de forma tal que antes de iniciar el proceso de fermentación, sin importar si hay digestión ácida o no de la materia orgánica, se podrá plantear un estándar de eficiencia sobre la base de los resultados obtenidos.

Se recomienda en el caso de usar digestión ácida (hidrólisis ácida) de la materia orgánica para liberar los azúcares, verificar el nivel de pH antes de inocular la levadura con el fin de identificar condiciones cercanas a la neutralidad y así evitar problemas en el crecimiento de las levaduras y desarrollo de la fermentación.

Se recomienda realizar aplicación de diferentes métodos y equipos de cálculo para el análisis de DBO en las muestras y realizar un comparativo entre los resultados que permitan establecer el mejor nivel de eficiencia en el análisis para la producción de bioalcohol.

Se recomienda el perfeccionamiento o refinamiento general de la técnica, que a futuro genere beneficios que minimicen el impacto ambiental ya ocasionado por uso y dependencia de fuentes energéticas agotables por combustibles fósiles y que a su vez haga aprovechable la disposición final de residuos sólidos y consolidar el uso de fuentes renovables bajo un proyecto serio que resulte sustentable en el tiempo.

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, A. 2008. *Los biocombustibles: oportunidad o amenaza*. Recuperado en Julio de 2014 en:

http://www.fedebiocombustibles.com/files/LOS%20BIOCOMBUSTIBLES_OPORTUNIDAD%20O%20AMENAZA.pdf

Agencia Internacional Energy Information Administration EIA, Proyección de Demanda de Energía en Colombia, 2009 Revisión Octubre de 2010 en: http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC_DEMANDA_ENERGIA_OCTUBRE_2010.pdf

ALMARALES A., Sotolongo, J.A, Parúas, R., Nuñez O. Impacto ambiental de las tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa, 2001

ALEMÁN, L. 2005. Friedrich Nietzsche: El siglo XIX y los principales afluentes científicos y filosóficos que influyeron en la realización de su obra. Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre. Escuela de Ciencias Sociales. Departamento de sociología. Cátedra: Taller II. Venezuela. Recuperado en Agosto de 2014 en: <http://www.monografias.com/trabajos22/nietzsche/nietzsche.shtml#ixzz3A1zPLqd8>

ARBOLEDA Montaña, N. 2008. La palma africana en el pacífico colombiano: su ilegalidad, consecuencias y violación de derechos territoriales. En Luna Azul no.27 Manizales Jul./Dec. 2008. Recuperado en Julio de 2014 en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742008000200010

ARIAS Leyva, A. F. Estrategia de desarrollo de biocombustibles: implicaciones para el sector agropecuario. En: Expo Universidad. Medellín. 2007; p. 13 - 14.

CEPAL. Gómez J., Samaniego J., y Antonissen M. 2008. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. Recuperado en Julio 2014 en: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/1/34201/LC-L.2915-P.pdf>

CEPAL. OCDE – Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2014. Evaluaciones del desempeño ambiental: Colombia 2014. Recuperado en Julio de 2014 en: http://www.oecd.org/env/country-reviews/Evaluacion_y_recomendaciones_Colombia.pdf

CERNUDA J. C. 1999. Estrategias de investigación exploratoria con información de encuestas. En: Nuevas propuestas, Revista de la Universidad Católica de Santiago del Estero. N° 26.

Consorcio CUE y MME para Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 2012. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia”. Medellín – Colombia. Recuperado en Julio de 2014 en: http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/hidrocarburos/Capitulo_0_Resumen_ejecutivo_final.pdf

CORTÉS, R.R. Docente; MORENO D., Albornoz D. Y POVEDA A. Estudiantes. 2012 ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA POLÍTICA DE BIOCMBUSTIBLES EN LA PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE PALMA Y LA ESTABILIZACIÓN DEL PRECIO INTERNO EN COLOMBIA. Universidad Sergio Arboleda. Revista Civilizar, Ed. 5, N5 – Art. 4. Recuperado en Julio 2014 en: <http://www.usergioarboleda.edu.co/civilizar/economia/edicion-5/N.5%20ART.4.pdf>

FAO. 2008. EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. BIOCMBUSTIBLES: perspectivas, riesgos y oportunidades. Recuperado en Julio de 2014 en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100s/i0290s.pdf>

FAO. 2011. Informe Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Recuperado en Julio de 2014 en: <http://www.fao.org/home/es/>

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013. FAOSTAT, Roma (base de datos).

Fedebiocombustibles. El biodiésel de aceite de palma en Colombia. En Boletín informativo “Biocombustibles hoy” Recuperado en Octubre 2014 en: <http://www.fedebiocombustibles.com>

Fedebiocombustibles. Fabricación Bioetanol y Biodiesel. <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-4-titulo-proceso-de-los-biocombustibles.htm>

Fedebiocombustibles. Industria de Biocombustibles puede contribuir con la paz. En Boletín informativo “Biocombustibles hoy” Recuperado en Agosto 2014 en: <http://www.fedebiocombustibles.com> y <http://www.asocana.org/modules/documentos/10535.aspx>

GARCÍA, Helena y CALDERÓN, E. Laura. 2012. Evaluación de la política de Biocombustibles en Colombia. Recuperado en Julio de 2014 en: <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Evaluaci%C3%B3n-de-la-pol%C3%ADtica-de-Biocombustibles-en-Colombia.pdf>

GÓMEZ J., Samaniego, J.L. y ANTONISSEN M. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. En: Medio Ambiente y Desarrollo Julio de 2008 N° 137. 52 pp. Recuperado en Julio de 2014 en: <http://www.cepal.org>

HERNÁNDEZ, M. (Febrero 6 de 2013). Artículo de prensa Volvería la fiebre por carros nuevos en el país. Revista Portafolio. Recuperado en Julio 2014 en: <http://www.portafolio.co/economia/volveria-la-fiebre-carros-nuevos-el-pais>

LEDE, Silvia. 2008. Consejo Superior para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología ARGENBIO. Recuperado en Julio de 2014 en: <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/biocombustibles.pdf>

MARTÍNEZ S., J.A. 2014. Biocombustibles una frontera por descubrir. En Revista coyuntura Pyme ANIF edición 44, año 2014.

MARTÍNEZ S., J.A. 2014. Guía de práctica de laboratorio – DBO respirométrica. Programa de Maestría en ingeniería de Procesos cohortes I y II. Universidad EAN. Marzo de 2014.

MADS - Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2011. Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2010, Bogotá. MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011), Informe de Gestión 2010.

MCNEELY, Jeffrey A. Energy and biodiversity: understanding complex relationships, 2013 en http://www.fao.org/uploads/media/0306_McNeely_IUCN_-_ENERGY_AND_BIODIVERSITY_UNDERSTANDING_COMPLEX_RELATIONSHIPS.pdf

Ministerio de Minas y Energía, Sector hidrocarburos. 2010. Fuente de desarrollo sostenible para Colombia. Recuperado en Julio de 2014 en: http://www.minminas.gov.co/minminas/hidrocarburos.jsp?opcionCalendar=4&cargaHome=2&id_noticia=394

Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Indicadores cotización biocombustibles Vigencia 01/10/2014 a 31/10/2014., en <http://www.fedebiocombustibles.com>,

Ministerio de transporte, Proyección de Demanda de combustibles líquidos y GNV en Colombia. Unidad de Planeación Minero Energética UPME. 2009 Revisión Octubre de 2010 en: http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/Proyecciones/2010/PROYECC_DEM_DO_GM_GNV_SEPT_2010.pdf

MONTOYA Gómez, N. J. 2012. *Análisis de la Viabilidad de Obtención de Bioetanol a partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos*. (Trabajo Final Especialización). Universidad EAN. Especialización en Residuos Sólidos. Bogotá-Colombia.

ONU. 2013. Las múltiples dimensiones de la seguridad alimentaria. Recuperado en Julio de 2014 en: <http://www.fao.org/publications/sofi/2013/es/>

ONU. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. En series CEPAL. Tablero de comando para la promoción de los biocombustibles en Colombia por: Germán Corredor Avella. Año 2009, Marzo. N° 236. 106 pp. Recuperado en Julio de 2014 en: <http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/2/35832/P35832.xml&xsl=/drni/tpl/p9f.xsl&base=/drni/tpl/top-bottom.xsl>

Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe, 2011. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia Diagnostico 2011, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD, Nov 2011 en: [http://www.superservicios.gov.co/content/download/901/13765/version/1/file/\(2011\)+SITUACION%20DE%20LA%20DISPOSICION%20FINAL%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20EN%20COLOMBIA+-+DIAGNOSTICO+2011.pdf](http://www.superservicios.gov.co/content/download/901/13765/version/1/file/(2011)+SITUACION%20DE%20LA%20DISPOSICION%20FINAL%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20EN%20COLOMBIA+-+DIAGNOSTICO+2011.pdf)

TOLEDO, Alejandro. 1998. *Economía de la biodiversidad*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe. En: <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/aea/descargas/toledo02.pdf>

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos – UAESP. Informe de gestión 2013 Recuperado en Julio de 2014 en: www.bogota.gov.co

UNEP - United Nations Environment Programme. 2010. Biodiésel colombiano, el mejor entre los mejores del mundo. En Revista Portafolio, Mayo de 2011. Recuperado en Agosto de 2014 en: <http://biodsa.com.co/portafolio.pdf>

Universidad de Alcalá (2012). La Revolución Industrial. Universidad de Mayores. Historia Contemporánea. España. Recuperado en Julio de 2014 en: https://portal.uah.es/portal/page/portal/universidad_mayores/apuntes/seminarios/historia_contemporanea_guadalajara/LA%20REVOLUCI%20INDUSTRIAL.pdf

UPME - Unidad de Planeación Minero Energética. 2009. Caracterización del consumo de energía de sector transporte carretero de carga y pasajeros, urbano e interurbano en Colombia.

UPME - Unidad de Planeación Minero Energética, Biocombustibles en Colombia, Abril 2009 en http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf

VALENCIA, T. Cortés A.L. Et al. 2014. Gestión Integral de residuos sólidos en Colombia. Recuperado en Julio de 2014 en: <http://es.slideshare.net/danasval/gestion-integral-de-residuos-slidos-en-colombia>

World Rainforest Movement, 2006. *Biocombustibles: grave amenaza disfrazada de verde, en Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina (RAP-AL)*, 2009

VÍNCULOS DE INTERNET

<http://www.dinero.com/empresas/articulo/colombia-tendra-35-millones-vehiculos-2020/168797>

<http://biocombustibleseafit.blogspot.com/2011/04/tipos-de-biocombustibles.html>

<http://etecnologia.com/medio-ambiente/biocombustibles>

<http://www.miliarium.com/bibliografia/Monografias/Biocombustibles/Bioetanol.asp>

<http://www.ecologismo.com/desarrollo-sostenible/usos-del-biocombustible/>

<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/econo53.htm>

http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/hidrocarburos/area%20de%20combustibles/AGENTES%20DE%20LA%20CADENA/CARTILLAMINORISTAS_11.pdf

<http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/nc/detalle/article/tecnologia-para-ahorrar-energia-en-produccion-de-etanol-1/>

<http://www.cenicana.org/biblioteca/index.php>

<http://web.fedepalma.org/estadisticas>

<http://www.ecologismo.com/desarrollo-sostenible/usos-del-biocombustible/>

http://www.naturalenergy.es/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=60

<https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/inicio.aspx>

<http://www.crbtrader.com/>. Índice de precios de la energía Reuters-CRB (Commodity Research Bureau)