

El aceite de palma africana *elae guineensis*: Alternativa de recurso energético para la producción de biodiesel en Colombia y su impacto ambiental

African palm oil *elae guineensis*: Alternative energy resource to biodiesel production in Colombia and its environmental impact

Miriam Fontalvo Gómez¹, Rogelio Vecino Pérez², Amadis Barrios Sarmiento³

¹MSc, Profesora Asistente, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Grupo de Investigación en Productos Naturales y Bioquímica de Macromoléculas, miriamfontalvo@mail.uniatlantico.edu.co

²Esp. en Química Orgánica y Estudios Pedagógicos, Rector, Institución Educativa Fermín Tilano, Chorrera Corregimiento de Juan de Acosta, Atlántico.

³Esp. en Química Orgánica y Enseñanza de la Ciencias Naturales, Docente, Institución Educativa José David Montezuma Recuero, Repelon, Atlántico.

Recibido 1/03/14, aceptado 30/03/2014

RESUMEN

En Colombia, la contaminación atmosférica generada durante la quema de combustibles fósiles, es uno de los principales problemas ambientales causante del deterioro de la calidad del aire, lo cual impacta negativamente al medio ambiente y la salud humana. Actualmente, la preocupación mundial por la protección del planeta, originó la necesidad de buscar alternativas energéticas en las fuentes renovables, para reducir las emisiones de gases efecto invernadero producidos durante la quema de los combustibles fósiles, que en parte son los causantes del calentamiento global. Los biocombustibles, definidos como combustibles de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de biomasa, son la alternativa propicia para cumplir con ese propósito. En Colombia, preocupados por la protección del medio ambiente, se ha promovido un incremento en la industria del biodiesel, biocombustible producido principalmente mediante la reacción de transesterificación básica del aceite extraído de la palma africana y condiciones adecuadas de agitación y temperatura. Este material producto de la revisión bibliográfica del estado del arte de la industria del biodiesel en Colombia, se presenta como una herramienta de consulta, en el cual se armonizan el tema de la química inmersa en el proceso de transesterificación con factores de normatividad, política nacional e impacto ambiental.

Palabras clave: Biocombustibles, Biodiesel, Biomasa, Transesterificación, Impacto ambiental, Palma Africana.

ABSTRACT

In Colombia, the environmental contamination generated by the burning of fuels is the main cause for the deterioration of the air quality. This increase is the negative effects on the environment and the human health. Currently, the global concern to protect the planet, leads to the need of finding energy alternatives obtained from renewable sources, which are less polluting and capable of reducing the emissions of greenhouse gases (produced during the process of fuel burning), which have an impact on global warming. Biofuels are defined as biological fuel obtained from biomass renewable way. They have become the favorable alternative for this purpose. In Colombia there has been an increase on the biodiesel industry (biofuel produced by basic transesterification reaction of the oil extracted from the African palm and appropriate conditions of stir and temperature) to protect the environment. This material has been produced as a consult tool, in which the chemical issue is harmonized from the transesterification reaction with factors related to national regulations and environmental impact.

Keywords: Biofuel, Biodiesel, Biomass, Transesterification, Environmental impact, African palm.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica generada por las emisiones de gases efecto invernadero producidos durante la quema de combustibles fósiles, ha impactado en forma negativa el medio ambiente nacional [1]. Entre los productos generados durante este proceso se encuentran: Material particulado (MP), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), entre otros; los cuales no solo tienen efecto sobre el medio ambiente, disminución de la visibilidad y daños a las construcciones y los materiales, sino también sobre la salud, tales como problemas respiratorios, cardiacos, entre otros [1, 2]. Colombia depende energéticamente del petróleo, carbón y gas natural. Estas fuentes energéticas generan una alta contaminación, pero en los últimos años, debido a factores económicos, tecnológicos, socio-económicos, políticos y ambientales, han llevado al desarrollo a gran escala de fuentes alternativas de energía, entre ellas bioetanol y biodiesel; y es así como el biodiesel se convierte en una alternativa real para el petróleo, y se proyecta como el gran generador del desarrollo del campo colombiano en el siglo 21 [3,4].

La producción industrial de biodiesel y su tecnología es un tema que a nivel mundial se conoce desde hace más de 50 años [5-18]. En Estados Unidos, el biodiesel se produce principalmente a partir de aceite de soya. Otras fuentes oleaginosas son: aceite de canola, grasa animal, aceite de palma, aceite de maíz, aceites de cocina usados [11,12] y aceite de jatropha [8]. En Colombia la producción industrial del biodiesel inició en el año 2008, y se optó por la utilización del aceite extraído de la palma africana como materia prima, dado los desarrollos alcanzados en este sector. Colombia es uno de los países con mayor producción del aceite de Palma en Latinoamérica y el quinto en el mundo; Esta posición privilegiada de Colombia en comparación con otros países, fue la razón para elegir este cultivo oleaginoso como la materia prima que ofrecía las mejores posibilidades para la producción de biodiesel en Colombia [19-26].

Este material de investigación, tiene como objetivo principal hacer una revisión bibliográfica sobre el estado del arte en la producción del biodiesel a partir del aceite de palma africana en Colombia, normativas, tecnologías e impacto sobre el medio ambiente.

La organización del documento es la siguiente: en la primera parte se definen los conceptos de biocombustibles, biodiesel y se hace una breve reseña histórica sobre el biodiesel. En la segunda sección se plantean las normas que rigen para el biodiesel a nivel nacional e internacional, conceptos sobre la producción del biodiesel y el desarrollo de esta industria en el país, se explica el proceso químico

de la transesterificación y los diferentes catalizadores que se han utilizado para optimizar el proceso, y se finaliza con el análisis del impacto ambiental del biodiesel en Colombia, y la perspectiva actual de esta industria en el país.

2. METODOLOGÍA

Con el fin de lograr los objetivos propuestos para la realización de este trabajo de revisión bibliográfica sobre la producción de biodiesel a partir del aceite de palma africana en Colombia y su impacto sobre el medio ambiente, se propuso una metodología de tipo cualitativa, la cual consistió en extraer, recopilar, organizar y sintetizar la información relevante del tema, para finalmente preparar el documento para su difusión.

3. DESARROLLO

Los biocombustibles son definidos como cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal). Bajo esta denominación se incluyen: biogases (bioetanol, biometanol), biodiesel, diesel fabricado mediante el proceso químico de Fischer Tropsch y combustibles gaseosos tales como hidrógeno y metano [21]. El biodiesel es definido por la ASTM (*American Society for Testing and Materials*) como un combustible conformado por monoalquilésteres de ácidos grasos de cadena larga derivado de aceites vegetales o grasas animales [27]. El concepto de biodiesel hoy día se restringe, en forma exclusiva, a mezclas de monoalquilésteres de ácidos grasos obtenidos a partir de lípidos renovables, como aceites y grasas de origen vegetal o animal. Aunque el término "biodiesel" puede conducir a confusiones, dado que etimológicamente significa cualquier combustible para motores diesel proveniente de la biomasa. Existe un consenso general en denominar biodiesel solamente a los aceites procesados provenientes de fuentes vegetales, tanto naturales como reciclados (soya, girasol, palma, entre otros) y de grasas animales [21]. De este modo, quedan claramente excluidos de la norma los aceites sin transesterificar y los combustibles procedentes de la pirolisis de los aceites.

3.1 Reseña histórica del biodiesel

En los inicios del siglo XIX, Rudolf Diesel, un ingeniero alemán, inventó un motor de combustión que usaba aceite como combustible. Este motor que lleva su nombre y utilizaba aceite de maní como energía, fue presentado en la exposición de París en el año 1900; a raíz de este invento se le atribuye a Diesel un sitio privilegiado dentro de la historia del biodiesel, dado el interés que mostró en el uso del aceite vegetal como combustible, aunque en la literatura aparecen algunas discrepancias en el sentido de atribuirle la primicia a Rudolf Diesel de usar aceite vegetal

como combustible [28]. Después de varios años de investigar los procesos de transformación de los aceites para poder utilizarlos como combustibles, aparece en el año 1937, el primer reporte del uso de monoalquilésteres de ácidos grasos como combustible en la patente belga 422.877, otorgada al investigador G. Chavanne, de la universidad de Bruselas. En la patente se describen aspectos relacionados con la obtención y utilización como combustibles de etilésteres obtenidos por transesterificación ácida del aceite de palma. Sin embargo, el trabajo de Chavanne y otros investigadores contemporáneos no condujeron al desarrollo de la industria del biodiesel a corto plazo [28].

En 1980 se reconocieron dos patentes, una brasilera y otra alemana. En estas patentes se investigó sobre la utilidad de los metilésteres obtenidos a partir de aceites vegetales, como sustitutos del combustible fósil. Austria es el país pionero en la producción de biodiesel y en el desarrollo de estándares de calidad. En 1991 construyeron la primera planta para la producción industrial de biodiesel, utilizando aceite de colza como materia prima; y en el mismo año, el Instituto Austriaco de Estandarización publicó el primer estándar de calidad para metilésteres de ácidos grasos. De acuerdo con Knothe, el término de biodiesel fue utilizado por primera vez en la literatura científica en un artículo chino en el año 1998 [28].

El tema de los biocombustibles como fuente energía no es nuevo, se puede considerar como el retorno a las fuentes de desarrollo pues incluso el inventor del motor Diesel -Rudolph Diesel-, logró accionar un motor de ignición-compresión con aceite de maní. Sin embargo, la búsqueda de un combustible alternativo que pueda reemplazar el combustible fósil, emergió nuevamente durante la segunda guerra mundial, cuando se destaca la investigación realizada por Otto y Vivacqua en Brasil sobre el diesel de origen vegetal [26].

3.2 Normas de calidad para el biodiesel

Existe un amplio marco normativo relacionado con el tema de biodiesel que incluye a nivel internacional la ASTM (*American Society for Testing and Materials*), conocida actualmente como ASTM International, y la del CEN (Comité Europeo para la Normalización), que son las más desarrolladas. Específicamente estas normas son la ASTM D-6751 y EN 14214, las cuales han sido fundamentales para la comercialización del biodiesel en los mercados de mayor consumo, Estados Unidos y la Unión Europea, respectivamente. Estas normas han servido de base para el desarrollo de normativas particulares en otros países con industrias de biodiesel en desarrollo, tal es el caso de Brasil (ANP 255), Uruguay (UNIT 1100), Colombia (NTC 5444), Argentina (IRAM 6515), Japón (JASO M 360), entre otros. La tabla 1 resume las especificaciones que rigen para el biodiesel en Colombia según la norma NTC 5444 [21].

3.3 Características de la palma africana

La palma africana es la fuente vegetal con alto nivel de triglicéridos y con mayores ventajas competitivas para la producción de biodiesel a nivel nacional. Es una planta del trópico húmedo, que es la mejor opción para las tierras bajas de las regiones tropicales. Además ayuda a prevenir la erosión de los suelos. Requiere de suelos profundos y bien drenados. Crece en una amplia variedad de suelos. El clima propicio que requiere debido a la temperatura y la humedad para su desarrollo es el cálido-húmedo y cálido-subhúmedo. Requiere de grandes cantidades de agua por lo que la precipitación pluvial idónea es de 1800 mm bien distribuidos durante todo el año. La temperatura ideal es entre los 22 °C a 28°C. Crece en suelos elevados hasta 400 metros sobre el nivel del mar [29]. En Colombia, la palma de aceite fue introducida en 1932, pero sólo hasta mediados del siglo XX el cultivo de la palma de aceite en Colombia comenzó a ser comercializado a lo largo de el país, respaldado por políticas gubernamentales encaminadas a desarrollar las tierras agrícolas y a abastecer a Colombia con aceite de palma producido localmente. El cultivo de la palma africana está distribuido en casi todo el país, en el cual participan al menos 16 departamentos. La región centro-oriental ocupa casi un 75% del total nacional [30]. En Colombia la producción de biodiesel se ha enfocado a partir del aceite extraído de la palma africana, dado a que en el país se tiene un enorme potencial de siembra de palma africana y en la actualidad de este cultivo se obtiene aproximadamente el 87% de la producción nacional de aceites y grasas. Aunque no dejan de utilizarse a menor escala otras materias primas, como la caña de azúcar y la yuca. Estos cultivos se ven favorecidos en otras industrias donde se favorece su valorización; además para la producción de biodiesel a partir de estas materias primas, se necesitaría demasiada cantidad de hectáreas sembradas, lo que no daría igual rentabilidad si se comparan con los cultivos de palma africana [20].

3.4 Generalidades del aceite de palma

El aceite de palma se extrae del mesocarpio del fruto de la semilla de la palma africana *Elae guineensis* a través de procedimientos mecánicos. Está constituido por una mezcla de ésteres de glicerol (triglicéridos) y es fuente natural de carotenos y vitamina E. Con base en el aumento significativo de su producción a nivel mundial, se han diversificado sus usos en otros campos como el de combustibles, detergentes, cosméticos, plásticos, farmacéuticos entre otros, ya que cumple con las especificaciones de productos requeridas en estos sectores. Lo anterior hace del aceite de palma una materia prima de gran interés para el desarrollo industrial. Los ácidos grasos insaturados que constituyen el aceite de palma son el oleico (36-44%) y el linoleico

Tabla 1. Norma colombiana NTC 5444 para biodiesel.
Table 1. Colombian biodiesel standard NTC 5444.

Métodos de Ensayo		Especificación
Nombre de la prueba	Designación	
Densidad a 15°C	ISO3675/ASTM D 4052	Mínimo 860 kg /m ³ Máximo 900 kg/m ³
Número cetano	ISO5165/ASTM D 613	Mínimo 47
Viscosidad cinemática a 40°C	ISO3104/ASTM D 445	Mínimo 1.9 mm ² /s Máximo 6.0 mm ² /s
Contenido de agua	ISO12937/ASTM D 203	Máximo 500 mg / kg
Contaminación total	EN ISO 12662	Máximo 24 mg/kg
Punto de inflamación	ISO 2719/ASTM D 93	Mínimo 120°C
Contenido de metanol o etanol	EN 14110	Máximo 0,2% (%/p)
Corrosión en lámina de cobre	ISO 2160/ASTM D 130	Clase 1
Estabilidad a la oxidación	EN 14112	Mínimo 6 horas
Estabilidad térmica (% de reflectancia)	ASTM D 6468	Mínimo 70%
Cenizas sulfatadas	ISO 3987 / ASTM D 874	Máximo 0.02 (%/p)
Destilación (Punto final de ebullición)	ASTM D 86/ ISO 3405	Máximo 360°C
Número ácido (acidez)	EN 14104 / ASTM D 664	0.5 mg KOH/g
Índice de yodo	EN 14111	Máximo 120 (g yodo /100)
Punto de fluidez	ASTM D 97	Reportar (°C)
Temperatura de obturación del filtro (CFPP o POFF)	ASTM D 6371 / EN 116	Reportar (°C)
Punto de nube /enturbiamiento	ASTM D 2500/ ISO 3015	Reportar (°C)
Carbón residual (100% muestra)	ISO 10370 / ASTM D 4530	Máximo 0.30 (%/p)
Contenido de fósforo	ASTM D 4951/EN 14107	Máximo 10 mg/kg
Contenido de Na + K	EN 14108 / EN 14109 ASTM D 5863	Máximo 5 mg/kg
Contenido de Ca + Mg	EN 14108 / EN 14109 ASTM D 5863	Máximo 5 mg/kg
Contenido de glicerina libre	ASTM D 6584/ EN 14105/ EN 14106	Máximo 0.02 (%/p)
Contenido de glicerina total	ASTM D 6584/ EN 14105	Máximo 0.25 (%/p)
Contenido de esteres	EN 14103	Mínimo 96.5 (%/p)
Alquilesteres del ácido linoléico	EN 14103	Máximo 12 (%/p)
Contenido de monoglicéridos	EN 10105	Máximo 0.8 (%/p)
Contenido de Diglicéridos	EN 10105	Máximo 0.2 (%/p)

(9-12%) que tienen configuración *cis*. También posee los ácidos grasos saturados palmítico (39,3-47,5%) y esteárico (3,5-6%) [20]. Los carotenos, se hayan presentes en concentraciones del orden de las ppm, son sustancias de gran importancia para la estabilidad del aceite de palma africana ya que previenen la oxidación causada por el oxígeno del aire y acelerada por las altas temperaturas y los rayos UV de la luz solar. Al igual que los carotenoides, los tocoferoles y tocotrienoles, le confieren una gran estabilidad contra la oxidación. Diluidos en el aceite se encuentran en cierta cantidad los ácidos grasos libres (sin esterificar), producto de la hidrólisis causada por enzimas naturales que provienen de los frutos de la palma o de bacterias del ambiente. El ácido graso que se encuentra presente en ma-

yor proporción en el aceite de palma africana, es el ácido palmítico, y junto con los demás ácidos grasos libres son los responsables de los niveles de acidez del aceite. El aceite crudo de palma también contiene cierta cantidad de agua que puede ser generadora de la hidrólisis de los triglicéridos si se exceden niveles críticos. Esta humedad proviene en parte de los mismos frutos de la palma, o del agua añadida en las diferentes etapas del proceso de obtención del aceite [21].

3.5 Síntesis del biodiesel

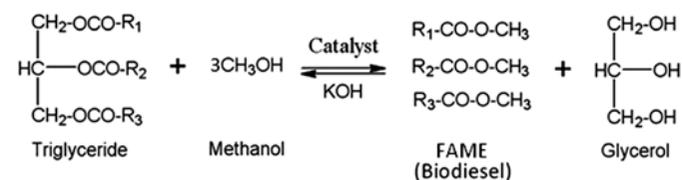
El biodiesel se produce por diferentes rutas. La reacción más utilizada es la de transesterificación con alcoholes de

cadena corta y un catalizador. Lo catalizadores pueden ser de carácter ácido, básico o enzimas naturales (lipasas). En Colombia la reacción utilizada para la producción de biodiesel es la transesterificación del aceite crudo de la palma africana *Elae guineensis* con etanol y catalizadores básicos, ya que son la opción de mejor rendimiento, tecnología económica y tiempos cortos de reacción. Los catalizadores ácidos, son de menor rendimiento comparado con los básicos [21-25].

3.5.1 Transesterificación

La figura 1 muestra la reacción de transesterificación de un triglicérido con metanol. Es una reacción reversible que implica la transformación de un éster de glicerol (triglicérido) en una mezcla de ésteres de ácidos grasos (éster metílico). El proceso requiere de una molécula de aceite y tres moléculas de un alcohol preferiblemente de cadena corta (metanol). Normalmente el alcohol se usa en exceso para obtener un buen rendimiento en la reacción (relación estequiometría alcohol y triglicérido 3:1), también se requiere de la presencia un catalizador (KOH) y condiciones adecuadas de agitación y temperatura [31, 32].

Figura 1. Reacción de transesterificación de triglicéridos.
Figure 1. Transesterification reaction of the tryglycerides.



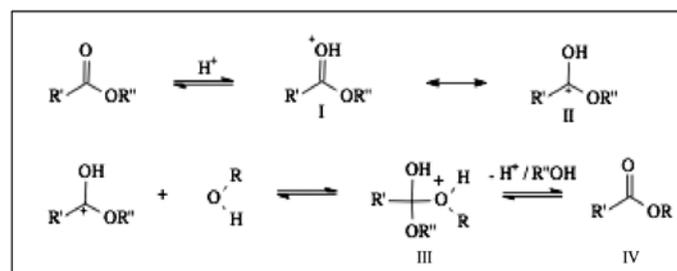
3.5.1.1 Transesterificación con catalizadores ácidos

La reacción de transesterificación puede ser catalizada con ácidos de Brönsted tales como ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, entre otros. La figura 2 presenta el mecanismo general de la reacción aplicada a un monoglicérido, pero se extiende igual para un diglicérido o triglicérido. El ácido sulfúrico produce un buen rendimiento, pero la transformación ocurre velocidad lenta, lo que ocasiona temperaturas por encima de 100°C y más de tres horas de reacción para alcanzar la conversión completa, lo anterior en ausencia de agua para evitar la formación ácidos carboxílicos.

En el mecanismo de la reacción, la protonación del grupo carbonilo del éster conduce a la formación del carbocatión II, luego por un ataque nucleofílico del alcohol, produce el intermedio tetraédrico III, que elimina el glicerol para formar el nuevo éster IV, y se regenera el catalizador ácido. De acuerdo a este mecanismo, los ácidos carboxílicos se pueden formar por reacción del carbocatión II con agua presente en la mezcla de reacción. Esto sugiere que la tran-

sesterificación catalizada por ácidos se debe llevar a cabo en ausencia de agua, con el fin de evitar la formación competitiva de los ácidos carboxílicos que reducen los rendimientos de ésteres de alquilo [31].

Figura 2. Mecanismo de la reacción de transesterificación catalizada por ácidos.
Figure 2. Mechanism of the acid-catalyzed transesterification.

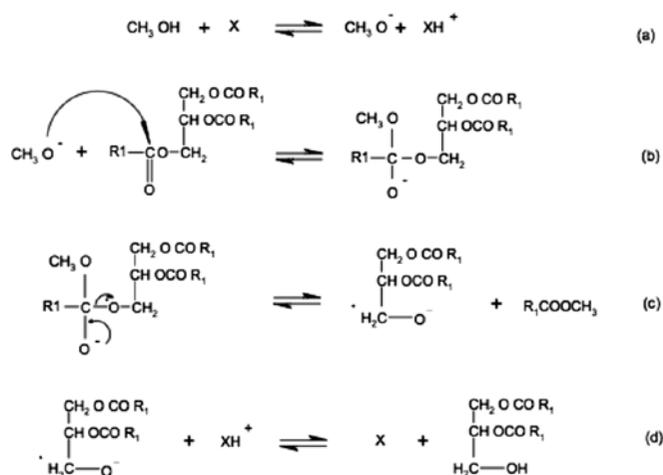


3.5.1.2 Transesterificación catalizada por bases

La velocidad de la reacción obtenida mediante catálisis básica, es más rápida que la ácida. Los alcóxidos metálicos, como el CH_3ONa , producen rendimientos hasta del 98% en aproximadamente 30 min de tiempo de reacción. El principal inconveniente de la reacción, es que aunque no emplee agua, esta se produce en proporciones bajas durante la reacción y tiende a hidrolizar algunos ésteres produciéndose jabón, el cual compite con reacción de transesterificación; para reducir esto se utiliza carbonato de potasio, que genera bicarbonato de potasio como producto secundario y no agua, reduciendo la formación de jabón [31].

Figura 3. Mecanismo de la reacción de transesterificación catalizada por bases.

Figure 3. Mechanism of the base-catalyzed transesterification reaction.



En el mecanismo de la reacción de transesterificación catalizada por bases, esquematizado en la figura 3, por reacción entre el alcohol y la base, se produce un alcóxido y el catalizador protonado (a), luego se produce el ataque nucleofílico del alcóxido al grupo carbonilo del triglicérido, generando un intermedio tetraédrico (b), del cual se forman el anión correspondiente del diglicérido y el primer éster de alquilo (c), el anión del diglicérido desprotona al catalizador, regenerando así la especie activa (d), que es capaz de reaccionar nuevamente con una segunda molécula de alcohol, comenzando otro ciclo catalítico para generar por etapas dos moléculas de éster de alquilo. De tal forma, que diglicéridos y monoglicéridos son convertidos por el medio del mismo mecanismo en una mezcla de ésteres de alquilo (biodiesel) y glicerol [31].

3.5.1.3 Transesterificación catalizada por bases orgánicas

Con el objetivo de ensayar condiciones de reacción más suaves, se han desarrollado investigaciones de síntesis orgánicas utilizando bases orgánicas como catalizadores [33]. De igual forma también se ha investigado sobre la utilidad de las bases orgánicas en la reacción de transesterificación. Para estudiar la actividad catalítica, se hizo un estudio comparativo de una serie de guanidinas con unas amidinas. Se destacó el 1, 5, 7-triazabicyclo [4.4. 0] dec-5-eno (TBD), mostrando esta base un mejor rendimiento (90%), comparado con otras bases orgánicas bajo las mismas condiciones experimentales. El buen desempeño se relaciona más a factores cinéticos, presentando un sitio catalítico que permite fácil acceso al alcohol, mientras que con los otros catalizadores se presenta impedimento estérico. Incluso presenta similar rendimiento frente a bases inorgánicas como el NaOH, y no genera productos secundarios, como jabones y presenta mejor actividad que el del bicarbonato de potasio [31]. Sin embargo por costos de producción, a nivel nacional la transesterificación utilizando la catálisis orgánica no es muy usada, hasta ahora se ha trabajado a nivel de investigación.

Se han desarrollado investigaciones con catalizadores en dos fases, homogénea y heterogénea, haciendo referencia a que los catalizadores y reactivos se encuentren en la misma fase. Los catalizadores homogéneos presentan mejor rendimiento que los heterogéneos, pero estos últimos tienen la ventaja de permitir la fácil eliminación del catalizador al final de la reacción y se registran menores valores de cantidades de jabones al finalizar la reacción lo que facilita la purificación del producto principal, por ello hoy en día se orientan todos los esfuerzos, esto ayudaría a que el proceso disminuya el efecto negativo sobre el ambiente [9, 25].

3.5.1.4 Transesterificación catalizada por lipasas enzimáticas

Debido a su fácil disponibilidad y manipulación, las lipasas enzimáticas han sido ampliamente utilizadas en sín-

tesis orgánicas. Dado que no requieren coenzimas, son relativamente estables y la mayoría de las veces resisten en solventes orgánicos, estas propiedades las convierten en potenciales sustancias para ser usadas como catalizadores en diferentes procesos de síntesis. El uso de las lipasas enzimáticas como catalizadores en la reacción de transesterificación no ha sido desarrollado a nivel industrial. Pero a nivel investigativo se han desarrollado numerosos trabajos en los que se estudia la utilidad de estas lipasas como catalizadores enzimáticos. Los aspectos comunes de estas investigaciones consisten en optimizar las condiciones de reacción (solvente, temperatura, pH, tipo de microorganismo que genera la enzima, etc) con el fin de establecer características adecuadas para una futura aplicación industrial. Sin embargo, los rendimientos y tiempos de reacción son aun desfavorables si se comparan con la transesterificación básica [34-41].

3.6 La industria del biodiesel en Colombia

En Colombia, existen más de 150,000 hectáreas cultivadas con palma africana para utilizar en la producción de biodiesel, pero el potencial es de cinco millones de hectáreas. En el 2012, la industria nacional de biodiesel recibió con agrado los resultados de un estudio internacional el cual encontró que el biodiesel colombiano se ubica entre los mejores del mundo. Se trata de un estudio contratado por el Ministerio de Minas, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y realizado por el Laboratorio Federal Suizo (EMPA), la Universidad Bolivariana y el Centro de Producción más Limpia de Medellín. Una de las conclusiones es que la producción de biodiesel cumple con estrictos patrones en materia de sostenibilidad y que logra reducir las emisiones de gases efecto invernadero en un 83% [31].

El estudio evidencia además que Colombia con una capacidad instalada de 10,000 barriles diarios de biodiesel posee un gran potencial para convertirse en líder mundial en este mercado cumpliendo con los más altos estándares ambientales y sociales. Con el biodiesel, Colombia se libera un poco de la dependencia energética del petróleo, garantizando la sostenibilidad del sistema productivo y se promueve el desarrollo agroindustrial del país [31].

En Colombia, la contaminación atmosférica, generada por la quema de combustibles fósiles, se ha constituido en uno de los principales problemas ambientales; del deterioro de la calidad del aire propiciando que se incrementen los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. Las concentraciones de algunos contaminantes en la atmósfera por encima de los estándares establecidos por las normas ambientales en largos periodos de exposición, han generado la necesidad de continuar impulsando la gestión de la calidad del aire para proteger la salud de la

población colombiana actual, promoviendo un progreso constante hacia el cumplimiento de los niveles aceptables del mismo [28].

3.7 Impacto ambiental del biodiesel

En Colombia, la producción y uso de biodiesel obtenido a partir del aceite de palma africana *Elae guineensis*, genera menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las emitidas por el uso del diesel de origen fósil. Por vehículo.km, se emiten entre 14 y 94 g de CO₂ equivalentes en comparación con el diesel fósil (190g de CO₂ eq. por v.km). Si se emplea B100 es posible reducir cerca del 50 al 108% - en promedio 17%- de las emisiones de gases efecto invernadero, dependiendo del cambio del uso del suelo. El impacto del cultivo de la palma de aceite está dominado principalmente por efectos directos positivos en el cambio de uso del suelo. El cultivo de palma de aceite en zonas con reservas de carbono relativamente bajas (es decir, tierras agrícolas o de pastoreo) generan un incremento en las reservas de carbono y por lo tanto se evitan las emisiones de los gases efecto invernadero. Los impactos del cultivo de palma en Colombia son generalmente más bajos que en Malasia, ya que los cultivos son principalmente establecidos, en selvas tropicales. Las emisiones de gases efecto invernadero asociadas al procesamiento de transformación del aceite de palma en biodiesel, son causados principalmente por el vertimiento de aguas residuales, en un 90 %, del efluente de las fábricas de aceite, con valores altos en DQO, las cuales emiten grandes cantidades de metano. Las empresas colombianas, se han mostrado interesadas en desarrollar proyectos para minimizar, los efectos causados durante el proceso de producción de biodiesel en nuestro país [31]. Sin embargo existe un posible efecto indirecto y negativo, del cultivo de palma africana, desde el enfoque de la seguridad alimentaria en Colombia, y ello depende del aumento de la demanda que se suscite por parte de los países consumidores, lo que podría originar la preferencia del sistema agrícola colombiano hacia este, el cual no subsiste con otros ya que acapara grandes hectáreas de terreno para poder desarrollarse, no permitiendo crecimiento alguno alrededor de él. Lo anterior originaría la escasez de ciertos productos agrícolas los cuales se encarecerían y los convertiría en productos de privilegio para algunos estratos [30]. En términos generales, el biodiesel producido en Colombia se desempeña bien en comparación con otros biocombustibles producidos internacionalmente, y cumple el 40% de ahorro de emisiones de gases efecto invernadero definido por varios estándares internacionales.

4. CONCLUSIONES

- En Colombia el biodiesel es una potencial alternativa para los combustibles de origen fósil, en lo relaciona-

do a la producción de energía para cubrir la demanda nacional y los medios de transporte. Se propone su uso en mezclas establecidas con el combustible fósil (Diesel), con el objetivo de disminuir las emisiones de partículas y gases contaminantes hacia la atmósfera, producidos normalmente durante la quema de los combustibles de origen fósil.

- La palma africana se ha posicionado como la materia prima idónea para la producción de biodiesel en Colombia; sin embargo, su uso podría permear de manera negativa el agro colombiano. Si bien la mezcla de biodiesel con combustibles fósiles como alternativa ecológica es buena, debido a que sus residuos de combustión no tienen efectos letales; el tema relacionado con su producción, podría causar daños indirectos; la ocupación de grandes extensiones de tierra para su cultivo, desplazaría a otros y encarecería, en algunas regiones, alimentos, colocando en riesgo la seguridad alimenticia de dichas zonas. Son estos temas importantes relacionados con la industria de producción de biodiesel en Colombia, los cuales hoy día, son aun materia de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Política de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, [Internet], Republica de Colombia. Disponible desde: http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit_calida_calidad_aire.pdf [Acceso 22 de marzo 2013].
- [2] C. Costa, G. Saldarriaga, R. Lozano, R. Suarez, Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire. Bogotá, D.C: IDEAM Editores, 2007, pp. 46-75.
- [3] R. Morgenstern, E. Sánchez, "El Precio Ambiental del Crecimiento Urbano Desordenado". En *Prioridades Ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia. Un análisis ambiental del país para Colombia*, Banco Mundial en co-edición con Mayol Ediciones, S.A., Bogotá, Colombia, pp. 293-309.
- [4] A. C. Pérez, "Biocombustibles en Suramérica: Referentes Normativos y Legislación Actual". *Prolegómenos- Derechos y Valores*. XIII (26), 215-232, 2010.
- [5] A. González, I. Jiménez, M. Rodríguez, S. Restrepo, J. Gómez, "Biocombustibles de Segunda Generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes". *Revista de Ingeniería*, 28, 70-82, 2008.
- [6] G. Knothe, R.O. Dunn, M.O. Bagby. (1997). Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternati-

- ve diesel fuels. Presentado en: Fuels and Chemicals from Biomass. Washington, DC [En Línea] Disponible: <http://www.biodiesel.org/reports/GEN-162.doc>
- [7] H. Fukuda, A. Kondo, H. Noda, "Biodiesel fuel production by Transesterification of oils". *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92, 405-416, 2001.
- [8] B. Barnwal, M. Sharma, "Prospects of biodiesel production from vegetables oils in India". *Renew Sustain Energy Rev*, 9, 363-378, 2005.
- [9] A. Demirbas, "Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods". *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(5), 466-487, 2005.
- [10] J. Van Gerpen, "Biodiesel processing and production". *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1097-1107, 2005.
- [11] P. Felizardo, M. Correia, I. Raposo, J. Mendes, R. Berkemeier, J. Bordado, "Production of biodiesel from waste frying oil". *Waste Management*, 26(5), 487-494, 2006.
- [12] G. Kulkarni, A. Dalai, "Waste cooking oil - an economical source for biodiesel: A review". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45, 2901-2913, 2006.
- [13] L. Meher, D. Vidya, S. Naik, "Technical aspects of biodiesel production by transesterification: A review". *Renewable & Sustainable Energy Review*, 10, 248-268, 2006.
- [14] B. Freedman, R.O. Butterfield, E.H. Pryde. "Transesterification Kinetics of Soybean Oil". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(10), 1375-1380, 1986.
- [15] B. Freedman, E.H. Pryde, T.L. Mounts. "Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetables Oils". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(10), 1638-1643, 1984.
- [16] F. Ma, M. Hanna, "Biodiesel Production: a review". *Bioresource Technology*, 70, 1-15, 1999.
- [17] J. Colucci, E. Borrero, F. Alape, "Biodiesel from an Alkaline Transesterification Reaction of Soybean Oil Using Ultrasonic Mixing". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82(7), 525-530, 2005.
- [18] N. Siatis, A. Kimbaris, C. Pappas, P. Tarantillis, M. Polissiou, "Improvement of Biodiesel Production Based on the Application of Ultrasound: Monitoring of the Procedure by FTIR Spectroscopy". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(1), 53-57, 2006.
- [19] E. Zuleta, J. Bonet, L. Díaz, M. Bastidas, "Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol, mediante el método de superficie de respuesta". *Revista Energética*, 38, 47-53, 2007.
- [20] J. Murillo, "Producción de biodiesel a partir de aceite de palma". *Palmas*, 25(4), 31-42, 2004.
- [21] P. Benjumea, J. Agudelo, L. Ríos, Biodiesel: Producción, Calidad y caracterización. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2009, pp. 1-11, 81-94.
- [22] P. Benjumea, J. Agudelo, G. Cano. "Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de Biodiesel". *Scientia et Technica*, 24, 169-174, 2004.
- [23] E. Zuleta, J. Bonet, L. Díaz, M. Bastidas, "Obtención de Biodiesel por transesterificación del Aceite Crudo de Palma Africana *Elaeis guineensis* con Etanol". *Revista Energética*, 38, 47-54, 2007.
- [24] C. Zapata, I. Martínez, E. Castiblanco, C. Henao, "Producción de Biodiesel a partir de aceite crudo de palma: 1. Diseño y Simulación de dos procesos continuos". *Dyna*, 151, 71-82, 2007.
- [25] A. Albis, J. Parra, F. Sánchez, "Transesterificación del aceite de palma con metanol por catálisis heterogénea". *Revista Ingeniería e Investigación*, 25(2), 71-77, 2005.
- [26] A.F. González, I.C. Jiménez, M. S. Rodríguez, J.M. Restrepo, "Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes". *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 28, 70-82, 2008.
- [27] ASTM D-6751-03a. Annual Book ASTM Stand. 2005, 05.04, 609.
- [28] G. Knothe, "The history of vegetable oil-based fuel". En: *The Biodiesel Handbook*, Ed: AOCS Press, Champaign, Illinois, pp.4-16.
- [29] J. Velásquez, A. Gómez. "Palma de aceite africana" en *Palma africana en Tabasco: Resultados de Investigación*. Colección José Rivorosa, Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo. Tabasco, México. pp.13-21.
- [30] F. Ponce, E. Silva, E. Yáñez, E. Castillo, "Potencial de cogeneración de energía eléctrica en la agroindustria colombiana de aceite de palma: tres estudios de casos", *Palmas*, 29(4), 59-72, 2008.

- [31] U. Schuchardt, R. Serchelt, R.M. Vargas, "Transesterification of Vegetable Oils: a Review". *Journal of the Brazil Chemistry Society*, 9(1), 199-210, 1998.
- [32] Ma. Fangrui, Milford A. Hanna, "Biodiesel production: a review". *Journal Bioresource Technology*, 70, 1-15, 1999.
- [33] I. Resk, "Catalysis in Biodiesel Production by Transesterification". *Quimica Nova*, 17, 317- 325, 1994.
- [34] L. Posorske, "Industrial-Scale Application of Enzymes to the Fats and Oil Industry". *Journal of the American Oil Chemist' Society*, 61(11), 1758-1760, 1984.
- [35] G. MacNeill, S. Shimizu, T. Yamane, "High-Yield Enzymatic Glycerolysis of Fats and Oils". *Journal of the American Oil Chemist' Society*, 68(1), 1-5, 1991.
- [36] P. Villeneuve, "Plant lipases and their applications in oils and fats modification". *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105, 308-317, 2003.
- [37] T. Tan, J. Lu, D. Nie, L. Deng, F. Wang, "Biodiesel production with immobilized lipase: A review". *Biotechnology Advances*, 28, 628-634, 2010.
- [38] E. Zo, P. You, D. Wei, "In situ lipase-catalyzed reactive extraction of oilseeds with short-chained dialkyl carbonates for biodiesel production". *Bioresource Technology*, 100(23), 5813-5817, 2009.
- [39] F. Guan, P. Peng, G. Wang, T. Yin, Q. Peng, J. Huang, G. Guan, Y. Li, "Combination of two lipases more efficiently catalyzes methanolysis of soybean oil for biodiesel production in aqueous medium". *Process Biochemistry*, 45, 1677-1682, 2010.
- [40] D. Tran, K. Yeh, Ch. Chen, J. Chang, "Enzymatic transesterification of microalgal oil from *chlorella vulgaris* ESP-31 for biodiesel synthesis using immobilized Burkholderia lipase". *Bioresource Technology*, 108, 119-127, 2012.
- [41] Q. Li, Y. Yan, "Production of biodiesel catalyzed by immobilized *Pseudomonas cepacia* lipase from *Sampium sebiferum* in micro-aqueous phase". *Applied Energy*, 87, 3148-3154, 2010.