

CONDICIONES AGROECOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL DE *Elais guineensis*

Rosa Acevedo Barrios^{1*}, Yimy Gordon Hernandez² y Carlos Vidal Tovar^{2,3}

¹Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de indias, Colombia.

²Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia.

³Universidad de Santander. Valledupar, Colombia.

*Autor de correspondencia: racevedo@unitecnologica.edu.co

Recibido Mayo 2017; Aprobado Agosto 2017

Resumen - Los biocombustibles constituyen una alternativa importante para la demanda actual energética a nivel nacional y mundial. El presente artículo persigue analizar la problemática asociada con la producción de biodiesel del aceite de palma bajo las condiciones agroecológicas del Caribe colombiano; asimismo, se describen los aspectos básicos de la producción de biocombustibles, específicamente el biodiesel, mostrando sus principales ventajas y desventajas, materias primas, tecnologías, perspectivas de desarrollo y desafíos, para su correcta implementación en el contexto regional, nacional e internacional. Finalmente, se analiza brevemente los impactos de los biocombustibles en el medio ambiente como principal aporte a la movilidad sostenible.

Palabras Clave: Combustibles, Ecosistema, Energía, Impactos.

AGROECOLOGICAL CONDITIONS IN BIODIESEL PRODUCTION OF *Elais guineensis*

Abstract - Biofuels are an important alternative to the current energy demand nationally and globally. This paper analyzes the problems in the production of biodiesel from palm oil under the agro-ecological conditions of the Colombian Caribbean; likewise, it describes the basic aspects of biodiesel production, specifically biodiesel, showing its main advantages and disadvantages, raw materials, technologies, development perspectives and challenges, for its correct implementation in the regional, national and international context. Finally, it briefly analyzes the impacts of biodiesel on the environment as the main contribution to sustainable mobility.

Keywords: Fuels, Ecosystem, Energy, Impact.

Introducción

En la actualidad, diferentes sectores en todo el mundo han mostrado interés hacia el desarrollo de combustibles renovables mucho más “limpios”, como consecuencia de los problemas derivados del calentamiento global, la insuficiencia de las reservas de petróleo que a largo plazo no permitan cubrir la demanda energética, así como el incremento de los precios ante la especulación creciente en el mercado (Cardeño et al., 2010).

En este escenario, una alternativa viable es la producción de biocombustibles, como el etanol y el biodiesel, a ser empleado principalmente en el sector del transporte, ya que se obtienen a partir de biomasa, por lo que, a diferencia de los derivados del petróleo, representan combustibles renovables (Recinos et al., 2005). Bajo estas circunstancias, desde el gobierno colombiano se han impulsado esfuerzos por promover la producción de etanol y biodiesel, otorgando incentivos a lo largo de la cadena de suministro y demanda. No obstante, la oferta aún no es suficiente para abastecer la demanda interna, considerando los parámetros porcentuales establecidos por el gobierno en cuanto a producción de biocombustibles y combustibles fósiles.

El sector palmero en el país se ha desarrollado rápidamente, alcanzando reconocimiento mundial en la producción de aceite de palma africana. Sin embargo, de esta materia prima se pueden obtener diferentes productos químicos, que pueden diversificar el mercado a espacios mucho más amplios y variados que generen mayor rentabilidad, como es el caso del biodiesel. En estas condiciones, es fundamental fomentar el desarrollo de la industria oleoquímica para dar un alto valor agregado al aceite de palma (González et al., 2008).

El biodiesel es un combustible sintetizado del aceite vegetal proveniente de una fuente renovable. Se produce a partir de la reacción entre un aceite vegetal, un alcohol y un catalizador como resultado de la transesterificación. Colombia es el quinto productor a nivel mundial de aceite crudo de palma africana, siendo una materia prima promisoría para la producción de biodiesel a nivel nacional. Forma parte del grupo aceites y grasas pertenecen a los ésteres, que resultan de la reacción de un alcohol con ácidos orgánicos (Infante, 2007).

Al analizar el impacto del uso de combustibles fósiles sobre el medio ambiente, es imperativa la búsqueda de alternativas energéticas sostenibles a largo plazo. La importancia de emplear tecnologías y fuentes alternativas de energía se basa en la minimización del impacto ambiental y la capacidad de renovación de estas fuentes. Por lo tanto, las fluctuaciones del mercado de la palma africana (*Elais guineensis*), y la disminución en el precio del aceite, obliga a la búsqueda de innovadoras y competitivas opciones para el sector productor (Mancera et al., 2016).

El aceite de palma africana constituye el producto más apto para la elaboración de biodiesel a escala industrial, principalmente por ser la planta que mayor cantidad de aceite genera, con un estimado de 5000 kg de aceite por año; por otro lado, contiene una combinación de ácidos grasos (saturados, monoinsaturados y poliinsaturados). Debido a la alta concentración de ácidos grasos saturados presentes en el aceite crudo de palma, no es muy aconsejable para la obtención de biodiesel. Sin embargo, la síntesis de biodiesel a partir del aceite crudo de palma africana, ofrece ventajas económicas y energéticas, al evitar el proceso de refinación del aceite (Recinos et al., 2005). En el presente trabajo se busca analizar la problemática de la producción de biodiesel a partir de palma de aceite como biocombustible sostenible.

Sobre los biocombustibles

Durante muchos años, la biomasa representó la más importante fuente de energía para la humanidad, y no fue hacia mediados del siglo XVIII con el inicio de la revolución industrial y la masificación del uso de combustibles fósiles, cuando el aprovechamiento de la biomasa y su potencial energético fue perdiendo terreno. Sin embargo, en la actualidad adquiere de nuevo relevancia, ante los graves daños que causan al planeta las emisiones producidas por los vehículos de transporte, dado el consumo masivo de combustibles derivados del petróleo (Cardona, 2009).

En este escenario, los países en vías de desarrollo experimentarán una mayor dependencia del petróleo, al no disponer de capacidad instalada suficiente para producir tecnología, aunado al aumento que registra su población (Agudelo, Bedoya & Agudelo, 2005). Asimismo, los combustibles fósiles requeridos por la economía mundial generan cantidades ingentes de gases contaminantes, tales como monóxido y dióxido de carbono, NOx y SOx, que al ser liberados por los motores de combustión han contribuido al cambio climático del planeta (Cesare et al., 2010).

Atendiendo a aspectos ambientales, los gobiernos han promovido la utilización de productos que ofrecen mayor valor agregado a partir de las materias primas obtenidas en el campo, con base en indicadores socio-económicos para impulsar la economía rural e incrementar el nivel de vida de los campesinos (Franco et al., 2008). Una solución empleando fuentes renovables es el uso de la energía solar en forma de biomasa (bioenergía), representada por cultivos ricos de energía y materiales lignocelulósicos (Zuleta et al., 2007)

Los argumentos antes expuestos, constituyen el motivo de la creación de nuevos proyectos y políticas basadas en la producción de biocombustibles, como alternativa para el sector de transporte (Riveros & Molano, 2006). Una característica diferenciadora de los biocombustibles, además de ser renovables, es que pueden llegar a convertirse en fuente “inagotable” de energía; lo que permite a países con un bajo nivel de desarrollo y una amplia biodiversidad, utilizarse como fuente de progreso que contribuya a su seguridad energética (Martínez et al., 2007).

En el caso colombiano, la creación de un programa de biocombustibles responde a tres escenarios: el consumo energético, la presión ejercida por grupos económicos ante un potencial negocio, y la solución de problemas ambientales o rurales (Zuleta et al., 2007). Es por ello que la búsqueda de una salida a la producción agrícola nacional mediante este tipo de programas resulta una tabla de salvación para comunidades vulnerables, bajo amenaza de grupos violentos y económicamente deprimidas. Por lo tanto, la producción en este sector debe poder competir con los productos básicos importados, en el marco de los tratados de libre comercio suscritos o en proceso de hacerlo, entre el estado colombiano y otros países que disponen de subsidios importantes para el sector agrícola, lo cual supone motivo de preocupación al agro colombiano (Martínez et al., 2007).

Ventajas, desventajas y especulaciones sobre los biocombustibles

La producción de biodiesel a partir de la palma conlleva una situación de la que se están aprovechando los europeos para establecer negociaciones con países como Colombia y Brasil con respecto a la vinculación de la palma con el desplazamiento y ataque en zonas selváticas. Las grandes extensiones de selva amazónica compartidas por ambos países son motivo para nuevas reglamentaciones de certificación de origen en biodiesel y alcohol carburante en importaciones de Europa (Martínez et al., 2007).

De acuerdo con Cardona (2009), la producción de bioetanol como aditivo a la gasolina, presenta las siguientes ventajas y desventajas, ver Tabla 1.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de producir alcohol carburante (bioetanol)

Ventajas	Desventajas
Alto número de octano. Reduce las emisiones de monóxido de carbono. No contaminante de las fuentes de agua superficiales.	Producción más costosa en comparación con la obtención de gasolina a partir del petróleo. Es altamente corrosivo.
El etanol es menos higroscópico. Mayor calor de combustión y menor calor de vaporización. Es mucho menos tóxico.	Al mezclarse con la gasolina conduce la electricidad y su presión de vapor de Reid (RVP) es más alta. Mayor volatilización: formación de ozono y de smog.
Disminución de las importaciones de gasolina o petróleo. Reducción del impacto del aumento en los precios del petróleo en un contexto de disminución de reservas nacionales.	Mezclado con combustibles aumenta los niveles de aldehídos con respecto a la combustión de la gasolina convencional.
Aprovechamiento de materias primas renovables (caña de azúcar, yuca, sorgo, etc.) y los residuos lignocelulósicos que tienen posibilidad de transformarse en alcohol etílico.	Mayor riesgo ante la coyuntura del mercado interno y externo dado los precios del azúcar, que redundan en la disminución de la producción de etanol.
Posibilidad de fomento del comercio y el empleo en zonas rurales deprimidas. Reducción de la migración hacia los centros urbanos.	Impacto sobre los precios de los alimentos relacionados con las materias primas empleadas en la producción de etanol (azúcar, panela y maíz).

Fuente: Cardona (2009)

Tomando en consideración la información sintetizada en la Tabla 1, se hace necesario que los vehículos dispongan de catalizadores encargados de los gases que resultan de la combustión. En el caso específico

Condiciones agroecológicas en la producción de biodiesel de *Elais guineensis* del aditivo para diesel, es importante evaluar las siguientes ventajas y desventajas por el uso de biodiesel, Ver Tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de producir diesel con aditivos.

Ventajas	Desventajas
Al no contener azufre, no se producen sus óxidos durante la combustión. Al mezclarse con el ACPM disminuye los niveles de azufre presentes en el mismo, evitando instalar plantas de desulfurización de alto costo para el diesel.	Incremento en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx). Poder calorífico inferior al del diesel.
Reducción de la emisión de material particulado.	Problemas de fluidez a bajas temperaturas. lo que genera restricciones de exportación.
Mayor viscosidad que el diesel, esto alarga la vida del motor.	Dependencia del metanol. (el etanol no puede competir como materia prima y biocombustible a la vez).
Índice de yodo inferior a otros ésteres, por el alto contenido de ácido palmítico (saturado) en el éster de la palma, lo que reduce la formación de depósitos y aumenta su estabilidad. Cumplimiento de normatividad sobre biocombustibles.	Vinculación de la palma al desplazamiento y ataque de la selva. Incompatibilidad con algunos plásticos y cauchos.

Fuente: Cardona (2009)

De igual manera, en el sector de los biocombustibles, surgen diferentes especulaciones relacionadas con la ausencia de sistemas tecnológicos y estructuras especializadas abocadas a la investigación y análisis de la realidad nacional del sector en cada país (Martínez et al., 2007). Entre las más conocidas se mencionan las siguientes:

En cuanto a los biocombustibles en general:

- son excelentes para el medio ambiente.
- afectan la seguridad alimentaria.
- son el mejor negocio.
- tienen sólo implicaciones sociales positivas.

Con respecto al caso colombiano:

- todas las materias primas desde el maíz hasta el plátano son factibles.
- todos los desechos son fuentes económicas de biocombustibles.
- el país tiene una posición privilegiada dado su clima y ubicación geográfica.

Finalmente, con relación a la capacidad tecnológica.

- la tecnología hindú es la mejor.
- las vinazas son fertilizantes adecuados para los mismos cultivos bioenergéticos.
- las instalaciones de cualquier capacidad serán rentables.

La producción colombiana de biocombustibles en el contexto internacional

En el Tratado de Libre Comercio (TLC) se establece que los biocombustibles no pagarán aranceles. Por su parte, Colombia cuenta con un marco jurídico y una legislación favorable, precios controlados y una política fiscal de exención de impuestos. Sin embargo, la realidad ofrece un panorama donde la disminución de reservas de petróleo del país obligaría a un aumento del consumo de biocombustibles en los próximos años, con las consecuentes limitaciones del potencial exportador (Riveros & Molano, 2006).

Es importante señalar, que esta dinámica plantea una situación poco estudiada y en la que el estado colombiano debe comenzar a analizar: la probabilidad de que a futuro, la industria petroquímica será reemplazada por la industria alcoholquímica y oleoquímica, esto generará competencias internas con los biocombustibles. A nivel internacional, como referente es conveniente resaltar que los Estados Unidos impone a Brasil una tarifa de 54 centavos de dólar por cada litro de etanol exportado; toda vez que varios productores se sirven de los países del Caribe como puerta de tráfico para llegar al mercado estadounidense, por estar exentos de impuestos. Colombia, como parte de acuerdos binacionales, incluyó a El Salvador entre los países centroamericanos beneficiados con la donación de plantas (Zuleta et al., 2007).

Estas acciones hacen parte de una estrategia que busca posicionar a Colombia como el segundo país productor de biocombustibles en América Latina, con capacidad de exportar tecnología; un hecho muy lejos de la realidad, pues el potencial científico nacional en biocombustibles existe solamente en las Universidades. El diseño y construcción de equipos para la producción de alcohol y biodiesel fue oficialmente atribuido por el gobierno a Corpoica, entidad dedicada principalmente al sector de cultivos y pos-cosecha pero sin experiencia en proyectos de ingeniería para el análisis, diseño y montajes. Todos los equipos implementados dentro y fuera del país por esta entidad, tanto a nivel piloto como de baja producción, han sido adquiridos por convocatoria pública a proveedores nacionales. El problema principalmente radica en que dichas plantas son de baja eficiencia, sin ninguna innovación, y un inadecuado proceso de interventoría; aunado a ello, gran parte de esas plantas de baja productividad no están operativas actualmente (Martínez et al., 2007).

Todo esto, en detrimento de la imagen internacional de Colombia, lo que justifica aún más la necesidad de que las plataformas tecnológicas se desarrollen por empresas incubadas en las universidades, en alianza con industrias del sector. Otras iniciativas se han emprendido en Latinoamérica; tal es el caso de Argentina, quien a la par con Colombia emitió una ley de biocombustibles en el año 2010, que hace obligatorio la mezcla del 5% de biodiesel y alcohol; por su parte en el 2013 Brasil empezó a adicionar biodiesel al diesel petrolero, en una proporción de 2%, y se elevará a 5% (Aguilera, 2002).

Retos y perspectivas

La producción de biocombustibles debe estar en armonía con el medio ambiente; a continuación, en la Tabla 3 se listan las expectativas de la producción de biodiesel, que conllevan al éxito en cualquier país y, especialmente, en Colombia (Ramos et al., 2010).

Tabla 3. Expectativas de la producción de Biodiesel

Nº	Expectativa
1	No afectar la seguridad alimentaria, consecuencia de la variación de costos de materias primas que compiten con alimentos o por desplazamiento de tierras.
2	Fortalecer el campo con equidad y una fuerte orientación hacia el pequeño productor.
3	Contribuir positivamente al medio ambiente, evaluando desde la etapa de diseño los impactos ambientales y las estrategias de mitigación.
4	Generar seguridad energética para el país, la sustitución de importaciones y reducción de las falencias en capacidad instalada de refinación.

Fuente: Ramos et al. (2010)

Aspectos agroecológicos

Bajo la perspectiva de la agroecología, cualquier sistema de producción es considerado un agroecosistema, donde las prácticas o tecnologías diseñadas no se orientan solo al incremento del beneficio económico de la producción, sino por su contribución para alcanzar la sostenibilidad total del sistema de producción. En los estratos políticos y económicos, se considera el agroecosistema como un “simple campo agrícola”, lo que deriva en políticas que incentiva a productores locales a sustituir los cultivos que producen alimentos por otros que producen ingresos económicos (Glessman et al., 2007).

Los biocombustibles están siendo considerados como alternativa de sustitución del petróleo y como una fuente considerable de agronegocios. Latinoamérica representa el principal abastecedor de biocombustibles del mundo, ya que cuenta tanto con los recursos naturales como la mano de obra necesaria para su explotación. No obstante, la expansión de los monocultivos para biocombustibles puede significar un riesgo para la producción de alimentos y el mantenimiento de las comunidades rurales (Iermanó & Sarandón, 2009).

Particularmente, en lo que respecta a la palma africana, sus características agroecológicas se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Origen: la palma africana (Palma aceitera africana, Coroto de Guinea, Palmera Aabora, Palmera de Guinea) es una planta tropical que crece en climas cálidos propia de la región occidental y central del continente africano, específicamente, en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis* Jacq. A partir del siglo XV su cultivo se extendió a otras regiones de África y a otros continentes.
- Características morfológicas: las raíces se originan del bulbo radical de la base del tronco. En su mayor parte son horizontales. Se concentran en los primeros 50 m del suelo. El tronco o estipe, tiene un

solo punto terminal de crecimiento con hojas jóvenes, denominado palmito. Puede alcanzar hasta 30 m de longitud. La palma de aceite es monoica. Produce flores de ambos sexos. La inflorescencia es un espádice formada por un pedúnculo y un raquis central ramificado. El fruto es una drupa ovoide, de 3 a 5 cm de largo. Los estigmas persisten en su extremo, en forma de tres pequeños apéndices arqueados.

- Distribución geográfica: en Colombia, la expansión del cultivo ha mantenido un crecimiento sostenido. Actualmente existen más de 360.000 hectáreas en 73 municipios del país distribuidos en cuatro zonas productivas.
- Aspectos climáticos: esta planta se adapta bien hasta alturas de 500 m sobre el nivel del mar y a la zona ecuatorial, entre los 150 de latitud norte y 150 de latitud sur.
- Temperatura: se requiere para que haya un buen desarrollo, una temperatura promedio mensual de 25 a 28 °C. Temperaturas de 15 °C detienen el crecimiento de las plántulas de vivero y disminuyen el rendimiento de las palmas adultas.
- Precipitación: un promedio entre 1.500 y 2.200 mm de lluvia bien distribuida en todo el año, es la óptima, si está bien distribuida en todos los meses, con promedios mensuales de 150 mm es lo ideal, con una humedad relativa superior al 75%.

Aspectos sociales, culturales, económicos y de territorio

En el año 2005, la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite de Colombia (Fedepalma) impulsó su propio programa de Responsabilidad Social Empresarial, motivada en parte por la percepción general que existe alrededor del cultivo de palma y su relación con el deterioro del medio ambiente, el paramilitarismo y la apropiación indebida de tierras. En este sentido, a los palmeros en Colombia se les señala como grupos armados, o vinculados a ellos, responsables del desplazamiento de comunidades rurales y ocupar los territorios para cultivos de palma. Estas acusaciones, provenientes de organizaciones de Derechos Humanos, han recibido respuesta por parte del gremio palmicultor y el Gobierno, quienes afirman que el caso del desplazamiento es la excepción; ya que los involucrados no hacen parte del gremio, y que, en general, la palma es un producto que trae desarrollo y estabilidad a las regiones donde se produce (Ocampo, 2009).

Las características de la palma hacen que se convierta en “un proyecto de vida” cuyos resultados no se alcanzan en el corto plazo, ya que desde el momento de la siembra hasta la primera cosecha cuando se obtiene su fruto, pueden transcurrir varios años, lo que representa para el palmicultor más gastos que ingresos. Esta particularidad se opone a la generalización, que de acuerdo con la categorización de Ross define a todo producto agrícola como saqueable. (Auty, 2004; Aguilera, 2002).

En este sentido, esta actividad económica conlleva una adecuación del territorio (político, social y de infraestructura) donde el palmero piensa establecer su cultivo. La necesidad de requerir disponer de una planta extractora cercana a la zona cultivada, implica necesitar suministro de energía eléctrica, acceso a través de vías de comunicación, contratación de ingenieros que supervisen el proceso, estructuras formales de organización para garantizar la relación laboral, y no depender de cooperativas asociativas a través de las cuales se contrata la mano de obra en muchos casos (Ocampo, 2009; Mancera et al., 2016).

Conclusiones

La oferta de biocombustibles en Colombia no es suficiente para satisfacer la demanda nacional, debido a la baja inversión en el sector y a problemas en la cadena de suministro. Entre ellas la escasa capacidad de refinación, el cultivo de materias primas, y las dificultades para transportar el biocombustible hasta los centros de distribución. En cuanto a movilidad sostenible, Colombia se verá influenciada positivamente por el uso masivo del biodiesel, disminuyendo así la cantidad de efluentes gaseosos contaminantes en grandes proporciones.

Se debe considerar la posibilidad de incremento en la producción de NO_x debido al uso del biodiesel y aldehídos de la combustión del etanol. En el caso del biodiesel, las emisiones de material particulado son variables, en función al tipo de materia prima. Cada uno de estos aspectos debe ser analizado en el marco de las especificaciones y normatividad colombiana, y las soluciones de tipo post combustión que se requieran.

Las posibilidades de producción de biocombustibles en Colombia, con calidad de exportación son muy limitadas; por un lado debidas a la velocidad de crecimiento de nuevos cultivos energéticos, y por el otro ante las restricciones interpuestas en ciertos mercados. Si el objetivo es la exportación, los actores interesados y el Estado deben trabajar alineados en la búsqueda de soluciones para este tipo de problemas.

Se requiere además de la reformulación de los planes y programas que fomenten proyectos rurales de producción de biocombustibles e incentivos para la investigación y desarrollo, para que el país alcance un nivel verdaderamente competitivo en la escena internacional ofreciendo una nueva imagen. Se debe impulsar la creación de spin-off a partir de las iniciativas y emprendimientos desde las Universidades, y separar de funciones de diseño y montaje de procesos a entidades estatales que no acreditan experiencia en el tema.

Finalmente, la oferta de biodiesel está limitada por la capacidad de refinación: los cultivos de palma de aceite y soya son rentables y podrían aumentar su capacidad, pero la refinación resulta demasiado costosa; el cultivo y la refinación de etanol a partir de caña de azúcar son rentables, por esto su oferta es creciente aún en el escenario base. Sin embargo, no es suficiente para abastecer la demanda, el aumento de la producción depende de las materias primas, por lo que no es adecuado implementar la misma política de incentivos para todos los cultivos y plantas de refinación.

Referencias

- Aguilera, M. (2002). Palma africana en la Costa Caribe: Un semillero de empresas solidarias. Bogotá: Documentos del Banco de la República.
- Agudelo J. Bedoya, I. & Agudelo A. (2005). Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma. *Revista Ingeniería & Desarrollo*, (18): 1-22.
- Auty, R. (2004). Natural resources and civil strife: A two-stage process. *Geopolitics*, 9 (1): 29-49.
- Cardeno F., Ríos L., & Franco L., (2010). Producción de biodiesel de aceite crudo de palma mediante catálisis heterogénea. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, (5): 81-86.

- Cardona C. (2009). Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial. Revista de Ingeniería Uniandes, (29): 109-121.
- Césaire M., Castillo L., Beteta V., Calle J. & León, J. (2010). Evaluación de la purificación de biodiesel en la etapa final de producción. Revista de la Sociedad Química del Perú, (76): 25-34.
- Franco, C., Flórez A. & Ochoa M. (2008). Análisis de la cadena de suministro de biocombustibles en Colombia. Revista de Dinámica de Sistemas, (2): 74-95.
- Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E., ... & Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. Revista Ecosistemas, 16(1): 13-23.
- González A., Jiménez I., Rodríguez M., Restrepo S. & Gómez J. (2008). Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. Revista de Ingeniería Uniandes, (28): 70-83.
- Iermanó, M. J., & Sarandón, S. J. (2009). ¿Es sustentable la producción de agrocombustibles a gran escala? El caso del biodiesel en Argentina. Revista Brasileira de Agroecologia, 4(1): 4-17.
- Infante A. (2007). Perspectivas de la situación energética mundial, Las oportunidades para Colombia. Revista de Ingeniería Uniandes, (25): 74-95.
- Mancera, R., Camargo, A., Cohern, H. & Ahumado, M. (2016). Influencia de los factores bióticos en humedales artificiales. IPSA SCIENTIA, 1(1): 52 - 57.
- Martínez, O., Sánchez, F. & Suárez, O. (2007). Producción de ésteres etílicos a partir de aceite de palma RBD. Revista Ingeniería e Investigación, (2): 34-43.
- Ocampo S. (2009). Agroindustria y conflicto armado El caso de la palma de aceite. Revista Colombia Internacional, (70): 169-190.
- Ramos, J., Cortés, J., & Marriaga N. (2010). Biodiesel a partir de bioetanol y aceite de palma. Estudio Tecnoeconómico. Revista Dyna, (164): 264-273.
- Recinos G., Rodríguez A., Hernández C. & Yeomans J. (2005). Metodología para la fabricación de biodiesel a partir del aceite de palma africana (*Elais guineensis*) y aceite de soya usado. Revista Tierra Tropical, (1): 51-59.
- Riveros L. & Molano M. (2006). Transesterificación del aceite de palma con metanol por medio de una catálisis heterogénea empleando un catalizador ácido. Revista de Ingeniería UniAndes, (24): 43-54.
- Zuleta, E., Bonet, J., Díaz, L., & Bastidas, M. (2007). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite crudo de palma africana (*Elais guineensis*) con etanol. Revista Energética, (38): 47-54.