

Efecto del cambio en el uso de la tierra devenido del cultivo de palma aceitera para la producción de biodiésel en Colombia¹

Effect of Change in Land Use due to Oil Palm Cultivation for Biodiesel Production in Colombia²

Mónica Julieth Valencia-Botero³

Luis Eduardo Rincón-Pérez⁴

Carlos Ariel Cardona Alzate⁵

DOI:10.11144/JAVERIANA.IYU18-1.ECUT

¹ Fecha de recepción: 8 de mayo de 2012. Fecha de aceptación: 19 de agosto de 2013. Este artículo se deriva de los proyectos de investigación denominados *Exploración de las posibilidades de producción sostenible de metabolitos secundarios a partir de material vegetal de origen amazónico* y *Diseño y evaluación de una biorrefinería sostenible a partir de materias primas de la Orinoquía*, desarrollados por el Grupo de Investigación en Procesos Químicos, Catalíticos y Biotecnológicos, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Colombia.

² Reception date: May 8th, 2012. Acceptance date: August 19th, 2013. This article derives from the research project *Exploración de las posibilidades de producción sostenible de metabolitos secundarios a partir de material vegetal de origen amazónico*, and was developed by the research group in Catalitic and Biotechnological Chemical Processes, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

³ Ingeniera química. MSc en Ingeniería-Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Colombia. Miembro del Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Correo electrónico: mjvalenciab@unal.edu.co.

⁴ Ingeniero químico. MSc en Ingeniería-Ingeniería Química. PhD en Ingeniería-Línea Automática, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Colombia. Miembro del Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Correo electrónico: lerinconp@unal.edu.co.

⁵ Ingeniero químico. MSc en Ingeniería Química y PhD en Ingeniería Química, Academia Estatal Lomonosov de Ingeniería de la Química, Fina, Rusia. Profesor titular del Departamento de Ingeniería Química y miembro del Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Correo electrónico: ccardonaal@unal.edu.co.

Resumen

La producción y uso de la bioenergía, particularmente los biocombustibles, se ha extendido en el mundo como posible solución a la crisis energética y ambiental, resultante de la extracción y quema de los combustibles de origen fósil. Sin embargo, las características propias de la cadena de suministro de los biocombustibles traen como consecuencia que se generen importantes incertidumbres. Uno de los puntos críticos es la evaluación del cambio en el uso del suelo en la etapa de obtención de las materias primas. En el presente documento se calcula el tiempo de reposición, en el caso de reemplazar selva nativa, tierras marginales y tierras degradadas para el cultivo de palma aceitera en Colombia, con el fin de aumentar la producción de biodiésel en Colombia. Adicionalmente, se estudia el efecto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero por la expansión necesaria para suplir la demanda de mezclas B20. Los resultados indicaron que el cultivo de palma sobre tierras marginales y degradadas no genera deuda de carbono; más aún, aumenta el potencial de captación de carbono de dichas tierras. En cuanto a la expansión, la zona oriental es la única que conserva el poder de captación de carbono por cultivo de palma.

Palabras clave

Biodiésel a partir de palma, cambio en el uso de la tierra, tiempo de reposición.

Palabras clave descriptores

Combustibles diesel, aceites vegetales como combustibles, aceite de palma, rotación de cultivos.

Abstract

The bioenergy (especially biofuels) production and use has been worldwide encouraged as a possible solution for the energy crisis caused by fossil fuel extraction and burnt. However, some intrinsic features of the biofuels supply chain generate notable uncertainties. The land use change can be considered a key issue of the feedstock production stage. In this work, the carbon replacement time was calculated for the cases of the oil palm growing in soils for forest, degraded lands and marginal lands. Most cultivated lands are required to increase the biodiesel production in Colombia. Additionally, the greenhouse gas emission from the land use change was calculated, when the palm crops are extended to achieve B20 blends. The results indicated that the palm crop growing on degraded and marginal lands, as well as palm cultivated in Eastern zone, do not generate carbon debt. Moreover, oil palm growing under these conditions helps to increase the carbon captures of these lands. The Eastern zone shows the highest carbon capture power.

Keywords

carbon replacement time, land use change, palm oil biodiesel.

Keywords plus

Diesel fuels, vegetable oils as fuel, palm-oil, crop rotation.

Introducción

El impacto ambiental de los biocombustibles sobre la atmósfera, medido en términos de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), toma en cuenta dos tipos de procesos: los directos, relativos a la transformación de materias primas en productos y el uso del producto, y los indirectos, relacionados con los insumos requeridos, con entradas secundarias y con los impactos sobre los recursos necesarios para la producción de materias primas o su transformación (Sánchez *et al.*, 2007; Cherubini y Strømman, 2011). Los procesos directos se miden con los balances de materia y energía, durante el ciclo de vida del biocombustible. Los procesos indirectos son de difícil cuantificación, puesto que están sujetos a ciertas incertidumbres. Dentro de estos se considera el impacto por el uso del suelo, la seguridad alimentaria, el impacto social, entre otros aspectos (Awudu y Zhang, 2012).

La obtención de las materias primas para los biocombustibles implica utilizar tierras arables o desplazar las tierras de su uso original, con el fin de obtener la cantidad necesaria para suplir las exigencias de los programas de crecimiento de bioenergía de cada país o región (Ravindranath *et al.*, 2011). El empleo de tierras para la producción de materias primas de biocombustibles, que durante una línea temporal han sido destinadas para otros usos, se conoce como *cambio en el uso de la tierra* (Benndorf *et al.*, 2007). El reemplazo de bosques y tierras marginales y la rotación de cultivos con el fin de producir biocombustibles se consideran actividades que producen emisiones de GEI por cambio en el uso de la tierra (de Souza *et al.*, 2010; Börjesson y Tufvesson, 2011; Rajagopal *et al.*, 2011). La discusión de la comunidad científica indica que el cambio en el uso de la tierra es una de las variables de mayor incertidumbre en la producción y empleo de biocombustibles (Benndorf *et al.*, 2007; Delucchi, 2010; Wicke *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista cuantitativo, se ha logrado *estandarizar el tiempo de reposición* (ECTP), como una medida del impacto de la producción de biocombustibles por cambio en el uso de la tierra. Este se define como la cantidad en años que se requieren para capturar el carbono que dejó de captar el suelo por

su uso original (Gibbs *et al.*, 2008; Piemonte y Gironi, 2010). Se han llevado a cabo algunos estudios de ECTP para cultivos energéticos, como palma, caña, jatrofa, maíz, en distintas localidades del mundo, con resultados variables, incluso para el mismo cultivo energético (Fargione *et al.*, 2008; Gibbs *et al.*, 2008; de Souza *et al.*, 2010). De acuerdo con los resultados previos obtenidos para cultivos en otras partes del mundo, el ECTP varía entre 0 y 1000 años (Gibbs *et al.*, 2008). La mayor deuda de carbono se produce cuando los bosques nativos son desplazados para la obtención de materias primas para biocombustibles (Achten *et al.*, 2013).

En este artículo se lleva a cabo el cálculo del ECTP para la palma aceitera, la cual rige el 80 % de la industria oleoquímica y es la única materia prima para la producción de biodiésel a escala industrial en Colombia (Rincón, 2012). Adicionalmente, se hace una estimación de las emisiones de GEI producidas por expansión del cultivo de palma aceitera en diversos territorios colombianos. Los resultados indican que la deuda de carbono y el tiempo de reposición para la palma cobran importancia en el caso de desplazarse selva nativa. En relación con las emisiones de GEI producto de la expansión del cultivo de palma aceitera, la mayor cantidad de emisiones de GEI corresponden a un incremento en el cultivo en la zona central.

1. Materiales y métodos

1.1. Tiempo de reposición

El ECTB se calcula como (Gibbs *et al.*, 2008):

$$ECTP(\text{años}) = \frac{C_{LC} - C_B}{\text{ahorro}} \quad (1)$$

Donde C_{LC} es la captación de carbono de la tierra en su uso original, C_B es la captación de carbono debido al cultivo energético y *ahorro* son las emisiones evitadas con el uso de biocombustible. El numerador de la ecuación (1) es conocido como la deuda de carbono.

Se calcula el ECTP por tres usos originales de la tierra: selva nativa, tierras degradadas y sabanas. La tabla 1 resume los parámetros utilizados para el cálculo del ECTP, los cuales corresponden a valores obtenidos de reportes de la literatura (Gibbs *et al.*, 2008; de Souza *et al.*, 2010).

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo del ECTP

Parámetro	Unidad	Valor
Captura de carbono de selva nativa	tC/ha	197,0
Captura de carbono en sabana	tC/ha	64,0
Captura de carbono en tierras marginales	tC/ha	1,0
Captura de carbono en cultivos de palma	tC/ha	71,0
Ahorro de emisiones por biodiésel de palma	tC/ha·año	3,6

Fuente: Gibbs *et al.* (2008); de Souza *et al.* (2010).

1.2. Emisiones por la expansión de palma

La palma se cultiva en doce departamentos, divididos en cuatro regiones: región norte (Magdalena, Cesar, Atlántico y La Guajira), región central (Santander, Norte de Santander y Bolívar), región oriental (Meta, Cundinamarca, Casanare y Caquetá) y región occidental (Nariño). La oferta de biodiésel a diciembre de 2011 suple las necesidades para mezclas B2 en la zona oriental, B7 en la zona central y parte de la zona occidental y B10 en la zona norte y resto de la zona occidental (Federación Nacional de Bicomcombustibles, 2012). Según las proyecciones del Consejo Nacional de Política Económica y Social, para el 2020 la oferta de biodiésel debe permitir mezclas B10 en todo el territorio del país, pero el crecimiento del mercado exige llegar a las metas de mezclas B20.

El aumento del porcentaje en las mezclas de biodiésel implica la expansión de los cultivos de palma. Se supone que el incremento en los cultivos se lleva a cabo aumentando el área sembrada en territorios aledaños a las actuales zonas de producción. De acuerdo con las proyecciones de requerimientos de biodiésel dados por la Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia (2012), los rendimientos agrícolas nacionales y regionales y la cantidad de biodiésel que se va a producir para suplir la demanda de mezclas B20, se calculó el área total necesaria para cultivar y cosechar la suficiente palma aceitera para suplir esta necesidad. El área para obtener mezclas B20 se comparó con el área requerida de las mezclas actuales, se distribuyeron las tierras acorde a su vocación actual y se calcularon emisiones para el uso actual y para la misma cantidad de tierras si se siembra y cosecha palma. Los cálculos se llevaron a cabo utilizando el nivel 1 de las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, tomando los parámetros requeridos de la literatura, como la captación de carbono en la biomasa de áreas subterráneas y carbono orgánico del suelo, tanto para los usos actuales como para la palma (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2006; Fox *et al.*, 2009; Lizarazo y Alfonso, 2011). La diferencia

entre el poder captador de los cultivos de palma y los usos actuales corresponden a las emisiones por cambio en el uso de la tierra. El porcentaje del uso del suelo para las cuatro regiones se presenta en la tabla 2 (Márquez, 2012).

Tabla 2. Porcentaje del uso del suelo

Región	Uso del suelo	Porcentaje de uso
Norte	Bosque tropical lluvioso	18,00
	Cultivos anuales	34,00
	Praderas	48,00
Central	Bosque tropical lluvioso	25,00
	Cultivos anuales	25,00
	Praderas	50,00
Oriental	Bosque tropical montañoso	5,00
	Cultivos anuales	31,67
	Praderas	63,00
Occidental	Bosque tropical lluvioso	23,00
	Bosque tropical caducifolio lluvioso	18,00
	Cultivos anuales	37,00
	Praderas	22,00

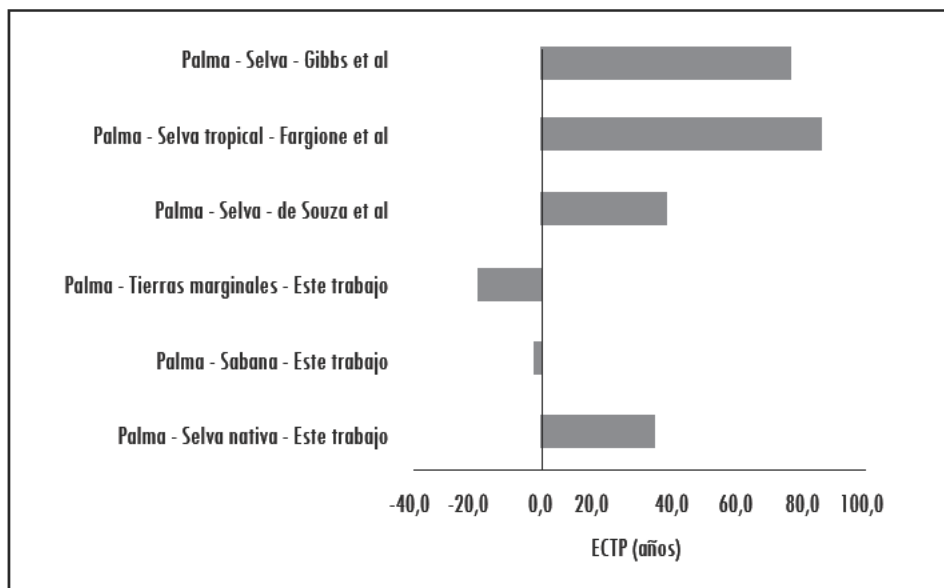
Fuente: Márquez (2012).

2. Resultados y discusión

2.1. Tiempo de reposición

La figura 1 muestra los ECTP calculados en este trabajo y algunos valores reportados en la literatura para ECTP desplazando selvas nativas (Fargione *et al.*, 2008; Gibbs *et al.*, 2008; de Souza *et al.*, 2010). Los resultados indican que el ECTP calculado en este trabajo fue similar al reporte realizado para suelos brasileños (de Souza *et al.*, 2010). El ECTP, además, puede cambiar apreciablemente, dentro de una misma clasificación, como puede observarse en la figura 1, para los datos reportados en distintas selvas. Los valores negativos para el ECTP indican que el cultivo de palma aceitera aumenta la captación de carbono con respecto al uso original de la tierra. En este caso, las tierras marginales y degradadas parecen ser una opción adecuada, en términos del balance de carbono, para la producción de cultivos energéticos.

Figura 1. Tiempo de reposición para la palma calculado en este trabajo y comparado con reportes de la literatura



Fuente: presentación propia de los autores.

El ECTP para materias primas en la producción biocombustibles es una de las pocas medidas cuantitativas relativas al cambio en el uso de la tierra de estos productos. Sin embargo, la información requerida crea una fuerte discusión que ha generado incertidumbre en cuanto a su empleo como indicador. Por ejemplo, una discusión fuerte acerca de las definiciones de tierras marginales y degradadas (The Gaia Foundation, 2008) indica que las tierras marginales usadas para la producción de biocombustibles impactan de manera indirecta relaciones ecosistémicas y que dicho tipo de tierras son definidas en términos de productividad económica. Al margen de esta discusión, que excede los alcances de este trabajo, el cálculo del ECTP indica que las tierras marginales son las de mayor aptitud para el cultivo de palma, ello en relación con el desplazamiento de selva nativa o el uso de tierras degradadas, porque la captación en el crecimiento de la palma compensa el uso del suelo anterior y llega a operar como un sumidero.

Otro de los puntos críticos son las variables involucradas en el cálculo del ECTP. Las variables del numerador de la ecuación (1) están influidas por el tipo de suelo, prácticas agronómicas y métodos de cálculo. En lo posible, la información utilizada debe ser regional. Uno de los inconvenientes de este cálculo es que en su mayor parte está basado en datos genéricos, que abarcan un conjunto de

condiciones que pueden no reflejar la situación de la localidad en la que se desea hacer el cálculo. En el caso de Colombia, la información no está disponible, más que en casos marginales, por lo que el uso de la información de inventario y genérica se hace indispensable para su cuantificación.

Las emisiones ahorradas (denominador en la ecuación [1]) dependen del número de etapas consideradas en el ciclo de vida del biocombustible, de los procesos secundarios considerados en el inventario de emisiones, en las suposiciones del combustible fósil en la línea base y del nivel de dificultad utilizado en el inventario. De acuerdo con lo anterior, el ECTP no solamente depende de la localización, sino de las metodologías utilizadas en el proceso de cuantificación. En el sentido de las emisiones ahorradas, mucho se ha discutido acerca de la inexactitud cuantitativa de los análisis de ciclo de vida para biocombustibles (Guinée *et al.*, 2009; Chiaramonti y Recchia, 2010).

Todo lo nombrado trae como consecuencia que los resultados obtenidos para el ECTP se consideren una aproximación al caso colombiano. Y esta aproximación indica que el tiempo de reposición de la palma es bajo en comparación con otros cultivos (Gibbs *et al.*, 2008; Carriquiry *et al.*, 2011), que se asemeja a las condiciones reportadas para países vecinos y que el cultivo de palma en ciertos terrenos podría considerarse un sumidero de carbono y no un emisor neto.

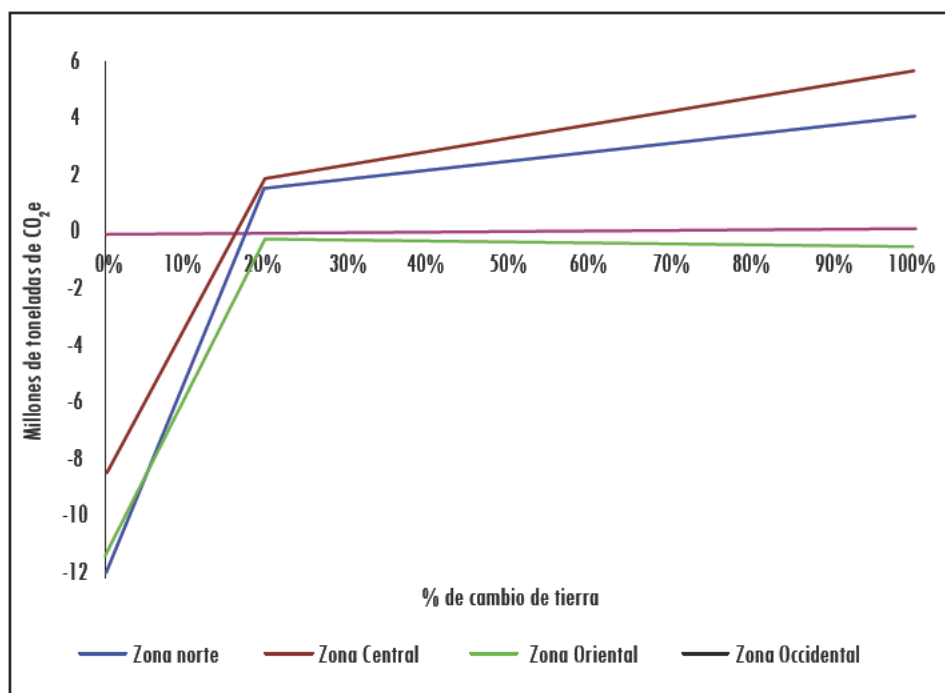
2.2. Emisiones por expansión de cultivos de palma

La figura 2 muestra las emisiones de GEI debidas a la expansión de la palma en las distintas regiones consideradas, según un porcentaje de cultivo de palma. El porcentaje 0% corresponde a las condiciones actuales (mezclas B7-B10 a lo largo del territorio nacional); el 100% indica que la cantidad de palma aceitera sembrada y cultivada es tal que puedan obtenerse mezclas B20 en el territorio colombiano.

Para cumplir con la meta de disponer de mezclas B20 en el territorio colombiano se requiere incrementar las tierras cultivadas y cosechadas de palma aceitera 4,5 veces en la región norte, 6 en la región central, 4,7 en la región oriental y 11 en la región occidental. El incremento en las emisiones de GEI para estos aumentos de área son: en la región norte 1,3, en la región central 1,7, en la región oriental 1,4 y en la región occidental 2,1. La mayor cantidad de emisiones de GEI en la zona occidental obedece al hecho que en esta región la expansión de cultivos de palma aceitera desplazarían selva nativa. En contraste, en las otras regiones predominan las praderas como uso original, las cuales tienen menor poder de captación de carbono que la palma aceitera. De allí que

el balance de CO₂ indique que la zona donde todavía se conserva el poder de captación de carbono sea la zona oriental, la cual está cubierta por praderas en más de la mitad de su territorio.

Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la expansión del cultivo de palma desde las mezclas actuales (B5, B7, B10) hasta mezclas BB20



Fuente: presentación propia de los autores.

Es de anotar la cantidad de veces que deben expandirse las zonas de cultivo para alcanzar el 10-15 % de incremento sobre la demanda actual. Ello sugiere la necesidad de explorar otras posibilidades respecto al crecimiento de la industria de biodiésel en Colombia, tal como la jatrofa, cultivo de segunda generación, que no entraría en conflicto directo por la seguridad alimentaria.

Conclusiones

En el presente documento se calculó el tiempo de reposición para el desplazamiento de selvas nativas, tierras marginales y tierras degradadas por cultivos de palma. Adicionalmente, se calcularon las emisiones de GEI debidas al cambio en el uso de la tierra debido al incremento del cultivo de palma de aceite

u producción de biodiésel para satisfacer la demanda de mezclas tipo B0 para todo el territorio colombiano. Los resultados indican que se requieren más de tres décadas para suplir la deuda de carbono en que se incurre al desplazar selva nativa por cultivos de palma para la producción de biodiésel. Los resultados también muestran que los cultivos de palma durante su ciclo productivo se vuelven sumideros de carbono, cuando se plantan en tierras marginales y degradadas. Finalmente, la expansión del cultivo de palma para la producción de biodiésel requiere grandes extensiones de tierra y las emisiones se elevan en más de 100 % en todas las regiones consideradas. En el análisis de las metodologías existentes, los resultados indican que los métodos deben ser refinados con informaciones regionales y que las posibilidades de expansión de la industria de biodiésel en Colombia debe considerar el uso de otras materias primas.

Referencias

- ACHTEN, W. M. J.; TRABUCCO, A.; MAES, W. H. *et al.* Global greenhouse gas implications of land conversion to biofuel crop cultivation in arid and semi-arid lands – lessons learned from Jatropha. *Journal of Arid Environments*. 2013, vol. 98, pp. 135-145.
- AWUDU, I. y ZHANG, J. Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012, vol. 16, núm. 2, pp. 1359-1368.
- BENNDORF, R.; FEDERICI, S.; FORNER, C.; RAMETSTEINER, E.; SANZ, M. J. y SOMOGY, Z. Including land use, land-use change, and forestry in future climate change, agreements: thinking outside the box. *Environmental Science & Policy*. 2007, vol. 10, núm. 4, pp. 283-294.
- BÖRJESSON, P. y TUFVESSON, L. M. Agricultural crop-based biofuels - resource efficiency and environmental performance including direct land use changes. *Journal of Cleaner Production*. 2011; vol. 19, núms. 2-3, pp. 108-120.
- CARRIQUIRY, M. A.; DU, X. y TIMILSINA, G. R. Second generation biofuels: economics and policies. *Energy Policy*. 2011, vol. 39, núm. 7, pp. 4222-4234.
- CHERUBINI, F. y STRØMMAN, A. H. Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresource Technology*. 2011, vol. 102, núm. 2, pp. 437-451.
- CHIARAMONTI, D. y RECCHIA, L. Is life cycle assessment (LCA) a suitable method for quantitative CO₂ saving estimations? The impact of field input on the LCA results for a pure vegetable oil chain. *Biomass and Bioenergy*. 2010, vol. 34, núm. 5, pp. 787-797.
- DE SOUZA, S. P.; PACCA, S.; DE ÁVILA, M. y BORGES, J. L. Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. *Renewable Energy*. 2010, vol. 35, núm. 11, pp. 2552-2561.

- DELUCCHI, M. A. Impacts of biofuels on climate change, water use, and land use. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2010, vol. 1195, núm. 1, pp. 28-45.
- FARGIONE, J.; HILL, J.; TILMAN, D.; POLASKY, S. y HAWTHORNE, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*. 2008, vol. 319, núm. 5867, pp. 1235-1238.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE BICOMBUSTIBLES. *Cifras informativas del sector biocombustibles: biodiésel a partir de aceite de palma*. Bogotá, 2012.
- FOX, J.; YOSI, C.; NIMLAGO, P. et al. *Estimating CO₂ emissions associated with selective timber harvesting and oil palm conversion in Papua New Guinea*. Melbourne: The University of Melbourne, 2009.
- GIBBS, H. K.; JOHNSTON, M.; FOLEY, J. A. et al. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropic: the effects on changing yield and technology. *Environmental Research Letters*. 2008, vol. 3, pp. 1-10.
- GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R. y VAN DER VOET, E. A greenhouse gas indicator for bioenergy: some theoretical issues with practical implications. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2009, vol. 14, núm. 4, pp. 328-339.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA. *Cultivo de la palma aceitera. Guía técnica*. Managua, 2006.
- LIZARAZO, I. y ALFONSO, O. Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite *Elaeis guineensis* e híbrido O X G. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*. 2011, núm. 33, pp. 124-130.
- MÁRQUEZ, G. *Mapa Colombia: cobertura de vegetación actual* [documento en línea]. 2012. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/idea/2010615/lecciones/ecosistemas_%20estrategicos/ecosis_estrategicos2.html> [consulta: 31-03-2012].
- PIEMONTE, V. y GIRONI, F. Land-use change emissions: how green are the bioplastics? *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2010, vol. 30, núm. 4, pp. 685-691.
- RAJAGOPAL, D.; HOCHMAN, G. y ZILBERMAN, D. Indirect Fuel Use Change (IFUC) and the lifecycle environmental impact of biofuel policies. *Energy Policy*. 2011, vol. 39, núm. 1, pp. 228-233.
- RAVINDRANATH, N. H.; SITA LAKSHMI, C.; MANUVIER, R. y BALACHANDRA, P. Biofuel production and implications for land use, food production and environment in India. *Energy Policy*. 2011, vol. 39, núm. 10, pp. 5737-5745.
- RINCÓN, L. E. *Analysis of technological schemes for the efficient production of added value products from Colombian oleochemical feedstocks*. Manizales: Department of Electronic Engineering, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- SÁNCHEZ, O. J.; CARDONA, C. A. y SÁNCHEZ, D. L. Análisis de ciclo de vida y su aplicación en la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa. *Revista Universidad EAFIT*. 2007, vol. 43, núm. 146, pp. 59-79.

THE GAIA FOUNDATION. *Los agrocombustibles y el mito de las tierras marginales. Indonesia*. s. l.: The Gaia Foundation-Biofuelwatch-African Biodiversity Network-Salva La Selva-Watch Indonesia-Econexus, 2008.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. *Proyección de demanda de biocombustibles líquidos y GNV en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-Unidad de Planeación Minero Energética, 2012.

WICKE, B.; SIKKEMA, R.; DORNBURG, V. y FAAIJ, A. Exploring land use changes and the role of palm oil production in Indonesia and Malaysia. *Land Use Policy*. 2011, vol. 28, núm. 1, pp. 193-206.