

Bio-commodities* de residuos de palma de aceite y su potencial en la mitigación de los gases de efecto invernadero

Bio-commodities from Palm Oil Residues and their Greenhouse Gases Mitigation Potentials

CITACIÓN: Balle, S. (2016). *Bio-commodities* de residuos de palma de aceite y su potencial en la mitigación de los gases de efecto invernadero. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 87-94.

PALABRAS CLAVE: biomasa, *Bio-commodities*, GEI (Gases de Efecto Invernadero), ACV (Análisis de Ciclo de Vida).

KEYWORDS: Biomass, *Bio-commodities*, GHG (greenhouse gases), LCA (Life Cycle Analysis).

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Sofía Lemaitre Cepeda.



SUNE BALLE HANSEN

Centro de Investigación de la Palma de Aceite UTM, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia
Facultad de Ciencias Biológicas e Ingeniería Médica, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia
UTM Palm Oil Research Center, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia
Faculty of Biosciences and Medical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia
sunebh@utm.my

Resumen

Las grandes cantidades de residuos sólidos provenientes de las plantaciones de palma de aceite y de las plantas de beneficio de aceite de palma se utilizan generalmente como *mulch*, aplicando biomasa en el suelo de las plantaciones y como combustible en las calderas de la planta, en donde solo se encuentra un uso para el cuesco como combustible en calderas industriales. Los usos potenciales de los residuos se pueden clasificar en tres categorías: (1) recuperación de energía, (2) *commodities*

derivados de fenómenos biofísicos, (3) *commodities* derivados de fenómenos bioquímicos. En la actualidad, la recuperación de energía y la producción de *commodities* a través de procesos biofísicos se llevan a cabo a escala industrial, aunque solo bajos porcentajes de los residuos se utilizan de esta manera. El potencial de mitigación de gases de efecto invernadero como resultado de someter todos los residuos disponibles a la recuperación de energía tiene suficiente trascendencia como para hacer que la producción neta de palma de aceite sea neutra en la producción de CO₂ mediante la sustitución de combustibles fósiles. En el caso de los *commodities* derivados de los aspectos bioquímicos, su potencial aún no se ha establecido. Se está llevando a cabo una inmensa investigación en este campo y se ha demostrado un gran potencial, pero en su mayor parte la investigación está en una etapa de laboratorio. La fermentación de los residuos de aceite de palma en estado sólido ha mostrado resultados prometedores en la producción de bioetanol/butanol y de enzimas. Aunque las tecnologías están en etapas de desarrollo, los resultados de las evaluaciones preliminares muestran un gran potencial en la mitigación de los gases de efecto invernadero.

Abstract

The vast amounts of solid residues from oil palm plantations and palm oil mills are largely used as mulch, applying soil biomass plantations and as fuel in mill boilers with only the kernel shells finding external use as fuel in industrial boilers. The potential uses of residues can roughly be categorized into three categories (1) energy recovery, (2) bio-physically derived commodities and (3) biochemically derived commodities. Energy recovery and bio-physical commodities production are currently taking place at industrial scale, although only small percentages of the total residues are used this way. The potential GHG mitigation by subjecting all the available residues to energy recovery are significant enough to make the net production of palm oil close to CO₂ neutral through substitution of fossil fuels. When it comes to biochemically derived commodities, the potentials have not yet been unlocked. An immense amount of research is taking place in this field, and great potential is shown, but the research is largely still at laboratory scale. Solid state fermentation of palm oil residues is showing promising results within the production of bio-ethanol/butanol and enzyme production. While the technologies are still in the development stages, preliminary environmental assessment results show great potentials for GHG mitigation.

□

Introducción

Con una producción de 19,2 millones de toneladas de aceite de palma crudo (CPO, por sus siglas en inglés) y 2,3 millones de toneladas de aceite de palmiste crudo (CPKO, por sus siglas en inglés) de un total de 5,2 millones de hectáreas de plantaciones de palma de aceite, Malasia es el segundo productor mundial de aceite de palma, con una participación del mercado de 35 % (MPOB, 2014).

Las preocupaciones en materia de sostenibilidad resultan cada vez más importantes en la mente de los consumidores, y la industria del aceite de palma tiene una serie de temas que abordar para mejorar el desempeño y la percepción de la producción. Esto

se dirige en particular a los impactos del cambio del uso del suelo (incluidas las emisiones de carbono y las pérdidas de biodiversidad) y las emisiones del tratamiento de residuos sólidos y líquidos, así como los problemas socioeconómicos.

Según Hansen *et al.*, (2015), Malasia es líder en las investigaciones académicas sobre sostenibilidad del aceite de palma. De acuerdo con la Figura 1, las universidades de Malasia están realizando la mayoría de las investigaciones relacionadas con la sostenibilidad del aceite de palma en Asia. Sin embargo, cabe mencionar que el estudio solo incluye las investigaciones publicadas en las revistas indexadas en el Instituto

para la Información Científica (ISI, por sus siglas en inglés) disponibles en *Web of Science* (WoS, 2014). Hansen *et al.*, (2015) reportan que hay un incremento exponencial de las publicaciones sobre aceite de palma durante el período del estudio, como lo demuestra el crecimiento global de 11 publicaciones en 2004 a 164 en 2013. En total, se publicaron 713 documentos sobre la sostenibilidad del aceite de palma.

Al igual que el número total de documentos relacionados con la sostenibilidad del aceite de palma, el incremento de las publicaciones en la categoría Tecnologías & Uso de Residuos siguen una tendencia exponencial, al pasar de solo ocho publicaciones en 2004 a 109 en 2013, con un total de 423 publicaciones en la década (Figura 2), lo que representa 60 % del total de las publicaciones sobre sostenibilidad del aceite de palma. La Figura 2 también muestra que aunque el tratamiento y el uso de los residuos están por defecto relacionados con la sostenibilidad, solamente una pequeña fracción (3 %) de los estudios cuantifica o ana-

liza las emisiones ambientales o los beneficios del tratamiento. De acuerdo con la Figura 1, la mayor parte de las publicaciones de investigaciones relacionadas con la sostenibilidad del aceite de palma en Malasia se centra en el uso de residuos y, en particular, en los aspectos técnicos y solo tres en las evaluaciones ambientales de los usos de los residuos.

El uso potencial de los residuos de aceite de palma fue examinado por primera vez por Yuosff (2006), pero sin una cuantificación de los beneficios ambientales. Hansen *et al.*, (2012) cuantificaron las emisiones potenciales de gases de efecto invernadero (GEI) y los beneficios del uso de los residuos, y concluyeron que este uso puede mejorar significativamente el desempeño ambiental de la producción de aceite de palma con emisiones netas de GEI del aceite de palma próximas a cero. Sin embargo, Hansen *et al.*, (2012) evaluaron solamente la recuperación de energía de los residuos. Las aplicaciones bioquímicas podrían potencialmente reportar aún más beneficios ambien-

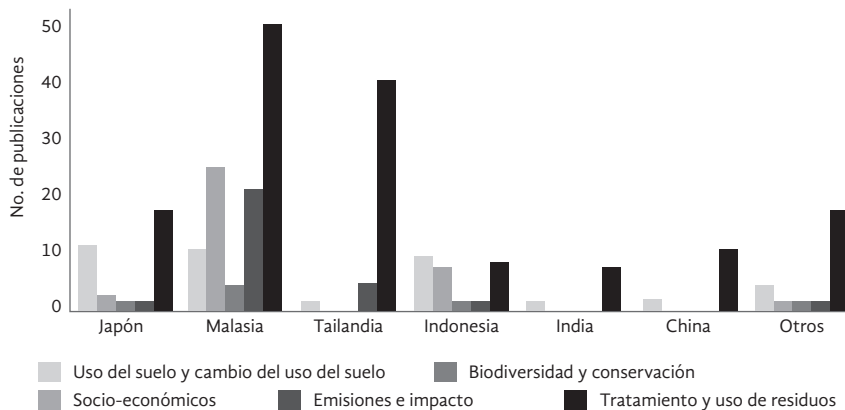


Figura 1. Distribución asiática de publicaciones ISI sobre aspectos de sostenibilidad del aceite de palma 2004-2013 (Hansen *et al.*, 2015).

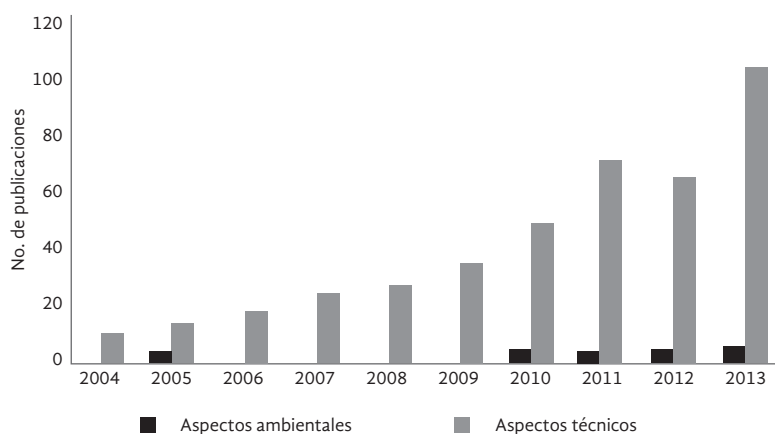


Figura 2. Publicaciones ISI sobre aspectos de sostenibilidad del aceite de palma relacionadas con Tecnologías & Uso de Residuos entre 2004 y 2013. (Hansen *et al.*, 2015).

tales, pero estas aplicaciones todavía se encuentran en gran medida en proceso de desarrollo a escala de laboratorio. Dado que las instalaciones a escala de laboratorio y a escala industrial con frecuencia difieren significativamente en términos de entradas y salidas, las evaluaciones ambientales con datos a escala de laboratorio solo son indicativas. Sin embargo, los resultados pueden servir para sugerir que la tecnología evaluada tiene potenciales de mitigación de GEI y para modificar los subprocesos de alto impacto desde el principio del desarrollo tecnológico.

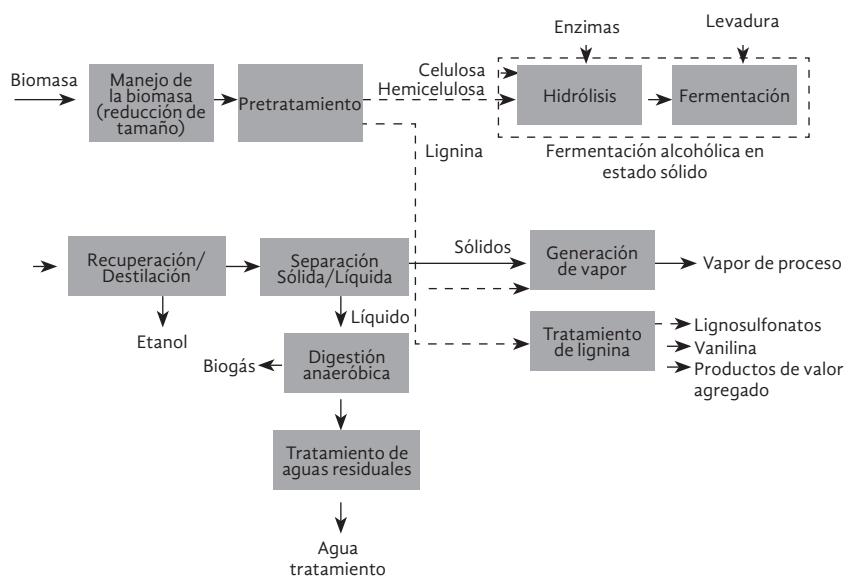
Jegannathan y Nielsen (2013) llevaron a cabo una revisión de la bibliografía sobre las evaluaciones ambientales de la aplicación industrial de enzimas y encontraron que los procesos enzimáticos, en general, contribuyen menos con el calentamiento global y otros impactos ambientales que los procesos industriales convencionales.

El concepto de biorrefinería optimiza la conversión total de biomasa en productos de valor agregado sin residuos o con pocos. En la Figura 3 se presenta un ejemplo del concepto de biorrefinería. El uso de enzimas es decisivo para lograr un buen producto bioquímico y, de hecho, las enzimas pueden producirse *in situ* con las mismas materias primas (biomasa) del concepto de biorrefinería (Ang *et al.*, 2013).

Ang *et al.*, (2013), Ang *et al.*, (2015a) y Ang *et al.*, (2015b) llevaron a cabo experimentos a escala de laboratorio sobre un método de producción de un complejo coctel enzimático que es capaz de hidrolizar el estípote de palma sin tratar, en azúcares fermentados y, posteriormente, convertirlos microbiológicamente en etanol. El proceso, por tanto, excluye la costosa necesidad de hacer un pretratamiento del estípote de palma. Consiste en la fermentación en estado sólido de *Aspergillus fumigatus* SK1 usando fibras del estípote de la palma sin pretratamiento químico, para producir dos importantes enzimas hidrolíticas, la celulasa y la xilanas que pueden utilizarse para la hidrólisis enzimática de biomasa lignocelulósicas pretratadas, para producir una alta concentración de azúcares pentosa y hexosa. El hidrolizado con altos contenidos de azúcar de la sacarificación de dichas enzimas se utiliza en la producción de etanol a través de la fermentación alcohólica por la levadura llamada *Candida tropicalis* RETL-Crl. En vista de ello, se introduce un método de producción de biocombustibles alternativo utilizando un ingrediente barato de alto rendimiento.

Con base en el trabajo efectuado por Ang *et al.*, (2013), Ang *et al.*, (2015a) y Ang *et al.*, (2015b), este estudio hace una evaluación preliminar del potencial en la mitigación de GEI de los productos bioquímicos

Figura 3. Concepto de biorrefinería (Mutturi *et al.*, 2014).



derivados de la fermentación en estado sólido del estípite de palma de aceite.

Métodos

La entrada y la salida de los experimentos de producción de enzimas y etanol llevados a cabo por Ang *et al.*, (2013), Ang *et al.*, (2015a) y Ang *et al.*, (2015b) se utilizan en un análisis de ciclo de vida (ACV) de conformidad con las prácticas estandarizadas en ISO 14040 e ISO 14044, como se describe en el *Manual del Sistema Internacional de Datos de Referencia sobre Ciclos de Vida* (ILCD, por sus siglas en inglés) (Comisión Europea, 2010). El alcance es realizar un ACV exploratorio (*screening*), esto es, una indicación de los impactos ambientales, no una evaluación detallada.

La unidad funcional del estudio es 1 kg de etanol producido a partir del estípite de palma de aceite mediante un proceso enzimático, esto es, todas las entradas y salidas se escalan al producto final de 1 kg de etanol. Los límites del sistema están puerta a puerta, de conformidad con la Figura 4, lo que significa que solo las entradas y salidas de los procesos de inoculación con hongos, fermentación, sacarificación, inoculación de levaduras y fermentación alcohólica se incluyen en la evaluación. Las emisiones del ciclo de vida se calcularon mediante el *software* GaBi con la base de datos EcoInvent 3.1.

Debido a que los experimentos inicialmente se establecieron sin consideración de someter los procedimientos al ACV, el uso de electricidad no se midió durante los experimentos. El consumo de electricidad, por tanto, se toma de datos bibliográficos. Asimismo, las entradas como agua, hongos, nutrientes, etc., no se reciclaron en los experimentos, lo que dio como resultado un gran consumo. A fin de llevar a cabo una evaluación representativa de los impactos ambientales de la producción de enzimas y la producción enzimática de etanol a partir del estípite de palma, debieron hacerse algunos supuestos en cuanto al potencial de ampliación de los procesos a escala de laboratorio. Antes del ACV se examinaron los potenciales para el reciclaje y los resultados del ACV se basan en estas optimizaciones potenciales, pero conservadoras.

Resultados y discusión

Los resultados muestran que 2,07 kg de CO₂-equivalentes (CO₂-eq.) se emiten de la producción de 1 kg de etanol puro en condiciones a escala de laboratorio, como se observa en la Tabla 1. En comparación, las emisiones de la producción convencional de etanol a escala comercial son de 1,06 kg CO₂-eq./kg de etanol (99,7 %) (Ecoinvent, 2015). Teniendo en cuenta que un proceso a escala comercial estará muy optimizado

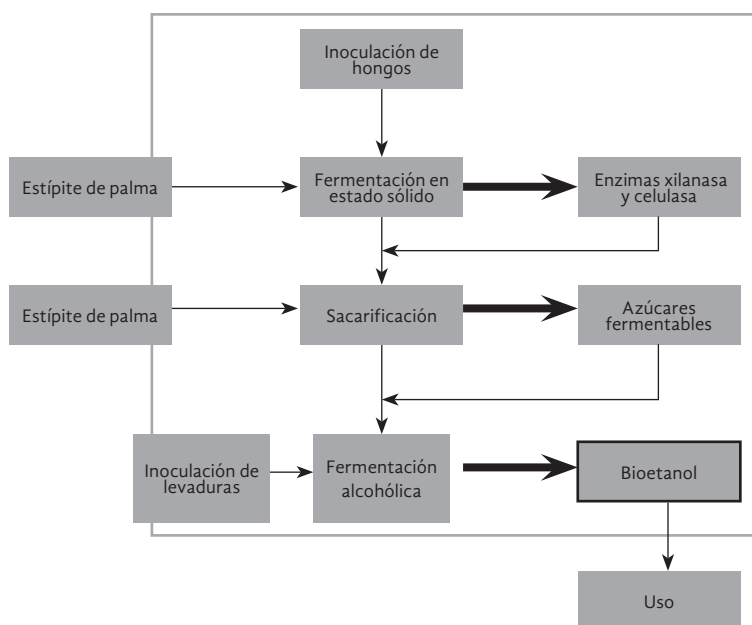


Figura 4. Límites del sistema para el estudio.

en términos de eficiencia, es muy prometedor el hecho de que la producción de etanol a partir del estípite de palma a escala de laboratorio esté dentro de un factor 2 de estos resultados.

Algunos puntos críticos muy significativos de las emisiones proceden de los nutrientes y químicos que se utilizan en la extracción de enzimas después de la fermentación en estado sólido, que representan 1,07 kg CO₂-eq./kg de etanol, o la mitad de las emisiones totales. La reducción de estas emisiones mediante la optimización podría por sí sola equilibrar las emisiones con las de la producción convencional, y optimizaciones adicionales en los diversos procesos reduciría las emisiones muy por debajo de las de la producción convencional. Sin embargo, es necesario hacer más estudios para determinar cuantitativamente los potenciales reales. Kami Delivand y Gnansounou (2013) estimaron emisiones de GEI de 0,44 kg CO₂-eq/kg de etanol para una biorrefinería a escala comercial propues-

ta que procesa las tusas o racimos vacíos de fruta de palma de aceite. Con base en los resultados del presente estudio, parece probable que una planta a escala comercial que utiliza estípites de palma pueda tener emisiones similares.

Este estudio no ha incluido las emisiones aguas arriba (*upstream*) de los estípites de palma. Los estípites son un residuo de las plantaciones de palma de aceite, así que de acuerdo con la metodología del ACV, no son responsables de las emisiones hasta el momento en que se convierten en residuos. Por tanto, las emisiones aguas arriba para los estípites solamente serían desde el transporte hasta la biorrefinería y la electricidad del desfibrado de las palmas. La inclusión de las palmas en la evaluación significaría también utilizar los restos de las palmas después de la producción de enzimas y azúcares, lo que equivale a 26 kg de estípite de palma procesado. Estas aplicaciones podrían ser, por ejemplo, como fertilizantes o para la producción de electricidad en una planta de energía.

Tabla 1. Entradas y emisiones de GEI de cada etapa de producción de etanol a partir del estípite de palma de aceite.

	Cantidad entrada [kg/kg etanol]	Emisiones GEI [CO ₂ -eq./kg etanol]
Fermentación en estado sólido, incl. inoculación con hongos y extracción de enzimas		
Estípite de palma de aceite	4,5	0 ^b
Agua	75	0,28
Dextrosa	0,5	0,16
Nutrientes	0,33	0,66
Químicos	0,33	0,41
Electricidad	0,17 kWh ^a	0,13
Total GEI		1,64
Sacarificación		
Estípite de palma de aceite	26	0 ^b
Electricidad	0,17 kWh ^a	0,13
Total GEI		0,13
Producción de etanol incl. Inoculación de levaduras		
Nutrientes	0,1	0,15
Agua	3	0,01
Electricidad	0,17 kWh ^a	0,13
Total GEI		0,30
Gran total GEI		2,07

- a) El consumo de electricidad tomado de Kami Delivand y Gnansounou (2013) de 0,5 kWh/kg de etanol se ha distribuido uniformemente entre los tres procesos.
- b) Las emisiones aguas arriba (*upstream*) a partir del estípite de palma no se incluyen en este estudio.

El valor como fertilizante de 26 kg de estípites de palma es teóricamente equivalente a 1,9 kg de fertilizante NPK. Reemplazar la producción de esta cantidad de fertilizante industrial con fertilizante orgánico de los estípites de palma procesados podría, por tanto, ahorrar hasta 3,4 kg CO₂-eq./kg de etanol, y de este modo reducir la emisión neta a partir de la producción de etanol por debajo de cero. Pero se necesitan más estudios para determinar esto. La producción de biogás a partir de aguas residuales de alto contenido orgánico de los procesos también podría mejorar aún más la huella ambiental del proceso.

La aplicación del Análisis de Ciclo de Vida en la biociencia

El Análisis de Ciclo de Vida rara vez se utiliza en las etapas iniciales del desarrollo de productos bioquímicos. Este estudio muestra que con medios relativamente sencillos, los ACV exploratorios (*screening*) pueden realizarse en instalaciones de laboratorio y pueden detectarse los puntos críticos de las emisiones en etapas tempranas. Este conocimiento permite a los investigadores hacer ajustes en las primeras etapas del proceso de desarrollo del producto y así garantizar que el producto final se fabrique con la menor huella ambiental posible. Esto puede ser un parámetro de ventas muy significativo para que una tecnología sea adoptada por una aplicación a escala comercial.

Conclusiones

Los residuos de las plantaciones de palma de aceite y de las plantas de beneficio del fruto de la palma pueden representar una carga o un beneficio para el medio ambiente, según la manera en que se traten o utilicen. La fabricación de productos de valor agregado a partir de residuos mediante procesos bioquímicos todavía está en gran medida a escala de laboratorio; no obstante, se están produciendo resultados prometedores. Especialmente los procesos enzimáticos están mostrando un gran potencial. El caso de la producción de enzimas y etanol a partir de estípites de palma de aceite también tiene un buen potencial en términos de mitigación de GEI. La producción a escala de laboratorio todavía genera mayores emisiones de GEI por tonelada producida de etanol que la producción convencional de etanol a escala comercial, pero solo por un factor de 2. Por tanto, con los beneficios de la producción a gran escala se puede esperar que el proceso sea muy competitivo. En este estudio se identificaron algunos puntos críticos de las emisiones de GEI, que estudios futuros deben apuntar a optimizar. Además, con la conversión en un concepto de biorrefinería en donde, por ejemplo, se incluyan el aceite de palma procesado y la producción de biogás a partir de aguas residuales, el desarrollo ulterior del proceso de producción de etanol a partir de estípites de palma de aceite es altamente recomendado.

Referencias bibliográficas

- Ang, S.K., Shaza, E.M., Adibah, Y., Suraini, A.A., Madihah, M.S. (2013). Production of cellulases and xylanase by *Aspergillus fumigatus* SK1 using untreated oil palm trunk through solid state fermentation. *Process Biochem*, 48, 1293-1302.
- Ang, S.K., Y, A., Abd-Aziz, S., M. S, M. (2015a). Potential Uses of Xylanase-Rich Lignocellulolytic Enzymes Cocktail for Oil Palm Trunk (OPT) Degradation and Lignocellulosic Ethanol Production. *Energy & Fuels*.
- Ang, S.K., Yahya, A., Abd Aziz, S., Salleh, M.M. (2015b). Isolation, Screening, and Identification of Potential Cellulolytic and Xylanolytic Producers for Biodegradation of Untreated Oil Palm Trunk and Its Application in Saccharification of Lemongrass Leaves. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 45, 279-305.
- Ecoinvent (2015). GLO: market for ethanol, without water, in 99.7 % solution state, from ethylene. Database, E. (Ed.), Switzerland.

- European Commission (2010). *ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
- Hansen, S.B., Olsen, S.I., Ujang, Z. (2012). Greenhouse gas reductions through enhanced use of residues in the life cycle of Malaysian palm oil derived biodiesel. *Bioresource technology*, 104, 358-366.
- Hansen, S.B., Padfield, R., Syayuti, K., Evers, S., Zakariah, Z., Mastura, S. (2015). Trends in global palm oil sustainability research. *Journal of Cleaner Production*, 100, 140-149.
- Jegannathan, K.R., Nielsen, P.H. (2013). Environmental assessment of enzyme use in industrial production – a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 42, 228-240.
- Kami Delivand, M., Gnansounou, E. (2013). Life cycle environmental impacts of a prospective palm-based biorefinery in Pará State-Brazil. *Bioresource Technology*, 150, 438-446.
- MPOB (2014). *Malaysian Palm Oil Statistics 2013*. Malaysian Palm Oil Board, Ministry of Plantation Industries & Commodities, Malaysia.
- Mutturi, S., Palmqvist, B., Lidén, G. (2014). 9 - Developments in bioethanol fuel- focused biorefineries. Waldron, K. (Ed.), *Advances in Biorefineries*. Woodhead Publishing.
- WoS (2014). *Web of Science*, apps.webofknowledge.com. Thomson Reuters, apps.webofknowledge.com.
- Yusoff, S. (2006). Renewable energy from palm oil – innovation on effective utilization of waste. *Journal of Cleaner Production*, 14, 87-93.