

Revisión bibliográfica

Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq)¹

Economic potential of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq)

Juan Sierra-Márquez², Lucellys Sierra-Márquez², Jesús Olivero-Verbel²

Resumen

El objetivo de este trabajo fue destacar la importancia económica del aprovechamiento óptimo de los productos y subproductos de la palma aceitera. En Colombia este cultivo en etapa productiva puede generar anualmente en promedio 3,14 t de aceite, y hasta 21,68 t de residuos sólidos y líquidos por hectárea. Estos datos permiten estimar que para las 450 131 ha presentes en Colombia en 2014, se produjeron más de nueve millones de toneladas de residuos sólidos y líquidos; la biomasa fue empleada principalmente para la generación de energía y vapor, liberando el contenido de carbono nuevamente al ambiente. Estos residuos poseen un gran potencial en muchas industrias, algunas por desarrollar, por lo que, es de especial importancia intentar maximizar el uso de los residuos para generar beneficios económicos y ambientales. Ejemplo de ello es la torta de palmiste, con un potencial nutricional en la alimentación animal, la fibra en la industria de biocompuestos, la biomasa y el estípote en la industria maderera, el glicerol, el biodiesel y los efluentes líquidos en la industria química y biotecnológica. El aprovechamiento de estas materias primas puede ayudar a establecer un balance positivo en el cultivo de esta especie.

Palabras clave: biocombustibles, gases de efecto invernadero, efluentes líquidos, Colombia.

Abstract

The objective of this research was to highlight the economic importance of the optimal use of products and byproducts of oil palm. In Colombia, productive crops per hectare can generate, over one year, an average of 3.14 tons of oil, and up to 21.68 t of solid and liquid waste when the plant is on a productive stage. These data allowed the researcher to estimate that more than nine million of t of solid and liquid waste was produced from the 450 131 ha present in 2014, in Colombia; the produced biomass was used to generate energy and steam, releasing carbon dioxide back again into the environment. These residues have great potential in many industries, some to be developed, therefore, it is of special importance to try to maximize the use of waste produced by oil palm production, to generate economic and environmental benefits. An example of this is the palm kernel cake, with a nutritional potential in animal feed, fiber in the biocompound industry, biomass and stipe in the timber industry, glycerol, biodiesel, and liquid

¹ Recibido: 27 de setiembre, 2016. Aceptado: 22 de noviembre, 2016. Este trabajo formó parte del proyecto N° p-2012-1547 de la Convocatoria de Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” 2012-2013 financiada por Colciencias y la Universidad de Cartagena, Colombia.

² Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Grupo de Química Ambiental y Computacional, Campus de Zaragocilla, Cartagena, 130015, Colombia. Tel.: 57-5-6698179. joliverov@unicartagena.edu.co (autor para correspondencia), jsierram2@unicartagena.edu.co, lsierram@unicartagena.edu.co



effluents in the chemical and biotechnological industry. The use of these raw materials may help to establish a positive balance in the cultivation of this species of oil palm in the country.

Keywords: biofuels, greenhouse gases, liquid effluents, Colombia.

Introducción

La agricultura es la actividad básica para el hombre, ha generado grandes cambios a través de la historia; mediante su expansión, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de la historia humana, permitiendo resolver de forma rápida las demandas crecientes de alimento, agua, madera, fibra y combustible (Reid et al., 2001).

Colombia, es uno de los productores agrícolas con una diversidad de plantaciones en todo su territorio, obteniendo multitud de productos y materias primas en todos los pisos térmicos. Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2016), el área utilizada para la actividad agrícola fue del 7,6 para el año 2015; de este porcentaje, el 62,26% se destinó para cultivos permanentes, 34,74% para transitorios y tierras en barbecho, y el restante para tierras en descanso.

Los cultivos con larga vida útil se han destacado en los últimos años, debido a su expansión y alta tecnificación en el territorio nacional colombiano, como es el caso de los frutales y la palma africana. Este último es el segundo cultivo con mayor extensión (450131 ha en 2014) después del maíz, posee mejores rendimientos de aceite (3,14 t/ha año en 2014) frente a las oleaginosas, y es de gran importancia en la región Caribe, junto con el plátano y el banano (González et al., 2015).

El objetivo del presente trabajo fue destacar la importancia económica del óptimo aprovechamiento de los productos y subproductos de la palma aceitera.

La palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq)

La palma africana o aceitera es originaria de las costas del golfo de Guinea en África Occidental, fue introducida en el continente americano en el siglo XVI, y más tarde, en 1945, en el departamento de Magdalena por la United Fruit Company (Aguilera-Díaz, 2002). En la actualidad existen cerca de 450 131 ha cultivadas, ubicando a Colombia en el quinto puesto a nivel global con menos del 2%, tanto en producción como en superficie cultivada; mientras que países como Malasia, Indonesia, Tailandia y Nigeria, concentran el 81,7% de la producción y alrededor del 80% de la superficie mundial (Yusoff, 2006; Sumathi et al., 2008; Shuit et al., 2009). En Colombia, las plantaciones de palma se encuentran ubicadas en cuatro zonas; la oriental, la central y la norte, son las que poseen la mayor producción de aceite y área sembrada, respectivamente (Figura 1). Gran parte de la producción de aceite del país proviene de los municipios productores de la región Caribe, la cual representó cerca del 32% de la producción total para el año 2013 (González et al., 2015). En estos lugares, igualmente se concentran las mayores posibilidades de beneficio de los subproductos de la palma.

Importancia del cultivo

Generalmente, los tres primeros años del cultivo de la palma africana requieren de un manejo agronómico completo, comenzando a producir frutos a partir del mes treinta y alcanzando su máxima producción entre el octavo y décimo año. El fruto debe procesarse tan pronto es cosechado, con el fin de evitar el aumento en el

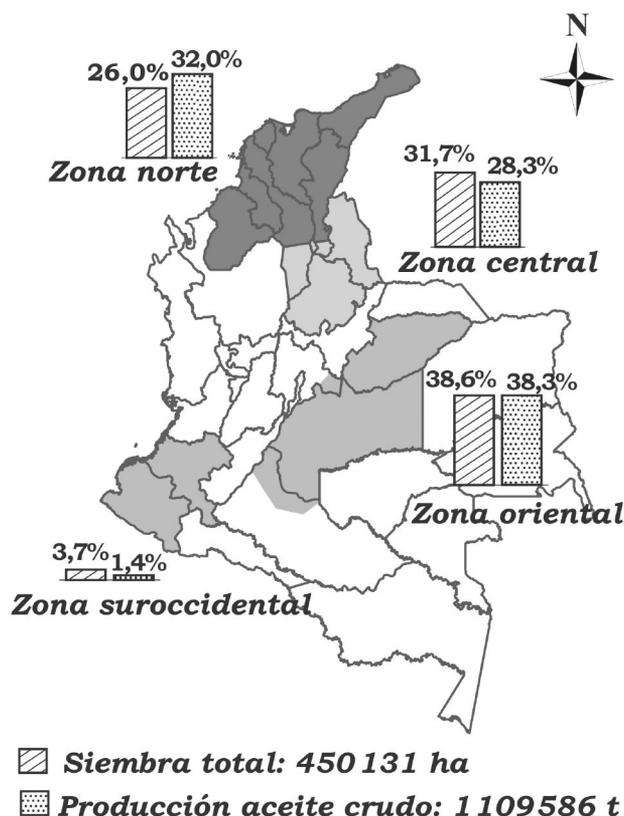


Figura 1. Cultivos de palma aceitera en Colombia. Participación porcentual de las zonas palmeras en Colombia en el año 2014. Fuente: recopilación de González et al. (2015).

Figure 1. Oil palm plantations in Colombia. Percentage contribution of palm areas in Colombia in 2014. Source: compilation from González et al. (2015).

contenido de ácidos grasos libres que pueden afectar la calidad del aceite, por lo que se requiere que las plantas extractoras se ubiquen cerca de las plantaciones (Aguilera-Díaz, 2002). Una vez cosechado, los tres productos de mayor interés comercial que se aíslan de la palma son el aceite del mesocarpio, el aceite de almendra y la torta de palmiste, todos obtenidos del racimo de la fruta. De esta materia prima pueden derivarse otros subproductos por distintos procesos fisicoquímicos, como la oleína, estearina, glicerina y ácidos grasos (Rincón y Martínez, 2009). Sin embargo, los subproductos como la biomasa, los efluentes líquidos, el carbón activado del cuesco y hasta las hojas de la planta, representan un valor al poder ser utilizados en artesanías, biocompuestos, muebles, entre otros (Figura 2) (Calle-Díaz y Murgueitio, 2008; Lam y Lee, 2011; Shinoj et al., 2011; Suhaily et al., 2012). Las hojas de esta planta han sido evaluadas en Malasia para la alimentación de cabras en etapa de crecimiento, al ser tratadas con vapor y suplementadas con 30 g/kg de urea. Los resultados mostraron incrementos en el consumo, digestibilidad, absorción-retención de nitrógeno y ganancia de peso (Paengkoum et al., 2006).

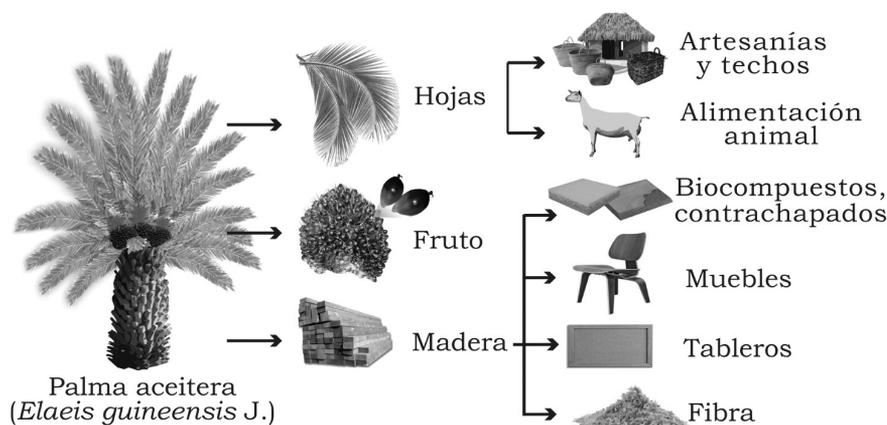


Figura 2. Aprovechamiento de la biomasa de la palma africana: productos artesanales e industriales reportados para el material foliar y el estípite. Fuente: recopilación de Calle-Díaz y Murgueitio (2008); Shinoj et al. (2011) y Suhaily et al. (2012).

Figure 2. Harnessing biomass from oil palm: artisanal and industrial products that can be produced from oil palm leaf material and stipe. Source: compilation from Calle-Díaz and Murgueitio (2008); Shinoj et al. (2011) and Suhaily et al. (2012).

Aceite de palma

El fruto de la palma es de color rojizo en estado de madurez. Cientos de estos se encuentran unidos a un racimo que puede llegar a pesar hasta 15 kg y que al exponerlo a una presión mecánica se puede extraer entre el 18 y 26% en peso de aceite, con concentraciones de carotenos entre quince a diecisiete veces superiores a las detectadas en la zanahoria, además de una alta presencia de tocoferoles, tocotrienoles, fitoesteroles y compuestos fenólicos (Lam et al., 2009; Monde et al., 2009; Szydłowska-Czerniak et al., 2011).

El aceite, tanto del mesocarpio como de la almendra, se puede fraccionar en oleína y estearina (Pantzaris y Mohd-Jaaffar, 2002). La oleína, al mezclarse con aceites de semillas oleaginosas, tiene la capacidad de resistir altas temperaturas por más tiempo que otros aceites, por lo que, es utilizado ampliamente para freír alimentos en la elaboración de productos de panadería, confitería y heladería (Rincón y Martínez, 2009), así como en la industria de los plastificantes, insumos que confieren flexibilidad al producto final (Waskitoaji et al., 2012). La estearina, por su consistencia y alto grado de saturación, es empleada para producir margarinas y jabones (Jeyarani et al., 2009) (Figura 3).

Aceite de palmiste

La almendra queda como residuo del proceso de obtención del aceite de palma, de la cual se extrae aceite de gran valor y alto contenido de ácido láurico (Kok et al., 2011; Alengaram et al., 2013), utilizado en la producción de margarinas, cosméticos, jabones, barnices, pinturas, resinas y detergentes (Figura 3).

La torta de palmiste

La extracción del aceite de almendra deja como producto un material granular fino y sólido, una valiosa opción para la industria de alimentación animal por ser fuente de energía, fibra y proteína (Aguilera-Díaz, 2002); nutrientes

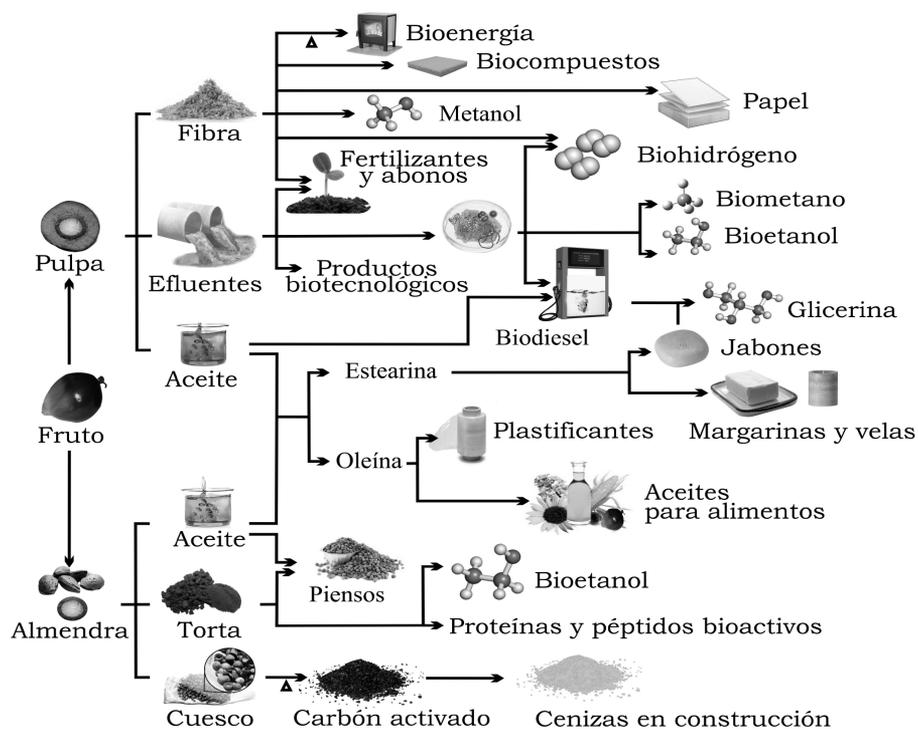


Figura 3. Alternativas del uso integral de los productos y subproductos industriales y biotecnológicos reportados para el fruto de la palma africana. Fuente: recopilación de Prasertsan y Prasertsan (1996); Ma y Hanna (1999); Lin y Lay (2004); Morimoto et al. (2004); Atif et al. (2005); Mohamed et al. (2005); Yacob et al. (2006); Yusoff (2006); Yazdani y Gonzalez (2007); O-Thong et al. (2008); Reyes y Ortíz (2008); Sumathi et al. (2008); Khan et al. (2009); Rincón y Martínez (2009); Shuit et al. (2009); Wu et al. (2009); Yaakub et al. (2009); Kok et al. (2011); Lam y Lee (2011); Razuan et al. (2011); Chee et al. (2012); Suhaily et al. (2012); Alengaram et al. (2013); Ng et al. (2013); Tan et al. (2013).

Figure 3. Alternatives for comprehensive use of industrial and biotechnological products and byproducts, that can be produced from oil palm fruit. Source: compilation from Prasertsan and Prasertsan (1996); Ma and Hanna (1999); Lin and Lay (2004); Morimoto et al. (2004); Atif et al. (2005); Mohamed et al. (2005); Yacob et al. (2006); Yusoff (2006); Yazdani and Gonzalez (2007); O-Thong et al. (2008); Reyes and Ortíz (2008); Sumathi et al. (2008); Khan et al. (2009); Rincón and Martínez (2009); Shuit et al. (2009); Wu et al. (2009); Yaakub et al. (2009); Kok et al. (2011); Lam and Lee (2011); Razuan et al. (2011); Chee et al. (2012); Suhaily et al. (2012); Alengaram et al. (2013); Ng et al. (2013); Tan et al. (2013).

esenciales en la alimentación de pollos de engorde, rumiantes (Chee et al., 2012), ovejas (Yaakub et al., 2009) y cerdos (Rhule, 1996) (Figura 3). Además, ha sido reportado que los péptidos purificados de las proteínas de la torta de palmiste poseen actividad antibacteriana, particularmente contra especies de *Bacillus*, asimismo, dichos péptidos pueden ser empleados en el desarrollo de nuevos fármacos (Ng et al., 2013; Tan et al., 2013) (Figura 3).

Como residuo en la torta de palmiste se encuentran, en gran proporción, celulosa y hemicelulosa, en concentraciones de 28 y 37%, respectivamente (Iluyemi et al., 2006). Estos polisacáridos, al ser hidrolizados, presentan un elevado potencial en la obtención de bioetanol, debido a que sus productos (manosa y gamanosa) son de menor peso molecular y fácilmente fermentables (Cerveró et al., 2010).

Biomasa

Al igual que todas las plantas, la palma aceitera almacena parte de la energía producida en la fotosíntesis en forma de materia orgánica, la cual está conformada por material vegetal como las hojas, el tronco, racimos vacíos, material fibroso y otros residuos de la industrialización del aceite (Sumathi et al., 2008). Alrededor de 1,1 t de fibras generadas por cada tonelada de aceite producido, podrían ser utilizadas como materia prima para productos industriales y artesanales, en la fabricación de biocompuestos naturales, lo cual reduce la utilización de polímeros (Shinoj et al., 2011), obteniendo así mayor degradabilidad, menor toxicidad (Rozman et al., 2003), mejores propiedades mecánicas, resistencia térmica y al paso del agua (Sreekala et al., 2004), así como productos útiles en la industria de plastificantes y de accesorios para automóviles (Shuit et al., 2009).

Una vez terminada la vida útil de la planta, el tronco puede ser convertido en listones de madera, madera contrachapada, chapas de madera laminada para la fabricación de muebles. Se ha utilizado como subproducto base en la producción de biocompuestos plásticos para la fabricación de pizarras o tableros (Suhaily et al., 2012), (Figura 2 y 3), en la producción de papel (Shuit et al., 2009), en la obtención de biometanol (Sumathi et al., 2008; Shuit et al., 2009), en la producción de bioenergía mediante sistemas de combustión directa, digestión anaeróbica o pirólisis en las calderas junto con los restos de la torta de palmiste (Reyes y Ortíz, 2008; Razuan et al., 2011), o en la generación de electricidad (Figura 3) (Sumathi et al., 2008), logrando suplir las necesidades eléctricas del molino, en la extracción de aceite durante trecientos días de funcionamiento (Prasertsan y Prasertsan, 1996; Yusoff, 2006).

Durante el proceso de pirólisis de biomasa, se producen cenizas que pueden ser aplicadas como aditivo del cemento, concreto u hormigón (Figura 3), mostrando resultados satisfactorios en pruebas de solidez, menor impacto ambiental y en el costo del producto (Reyes y Ortíz, 2008). Este residuo aumenta la resistencia y ductilidad al hormigón (Mannan et al., 2006; Alengaram et al., 2013), y es utilizado como mecanismo absorbente para la desulfuración de gases de combustión, con hidróxido de calcio y sulfato de calcio (Mohamed et al., 2005; Shuit et al., 2009).

La cáscara de la almendra es utilizada como agregado para la adecuación y mantenimiento de las vías internas de acceso a las plantaciones, en la producción de carbón activado (Prasertsan y Prasertsan, 1996; Reyes y Ortíz, 2008), en procesos de purificación de aguas residuales y aire, en la elaboración de filtros naturales (Calle-Díaz y Murgueitio, 2008), e incluso puede tener un potencial como fitoremediante para la eliminación de metales pesados en los humedales (Chong et al., 2013).

Biocombustibles

Entre los principales biocombustibles generados a partir del cultivo de palma aceitera se encuentra el biometanol, biometano, biohidrógeno y biodiesel (Figura 3), este último se obtiene de la transesterificación de la oleína del aceite de palma con metanol o etanol, en presencia de un catalizador alcalino. Los productos generados en la reacción son etilésteres o metilésteres, según el alcohol utilizado, y glicerol (Ma y Hanna, 1999; Yazdani y Gonzalez, 2007; Rincón y Martínez, 2009).

La mezcla de biodiesel-diesel (B20, B30, B100), dependiendo del porcentaje de aceite de palma en la mezcla, ha sido uno de los combustibles más estudiados con el objetivo de reducir las emisiones de GEI (Sumathi et al., 2008; Singh y Singh, 2010), particularmente en función de la producción de monóxido de carbono, así como de material particulado, compuestos de hidrocarburos aromáticos policíclicos y nitritos (Sharma et al., 2008).

Glicerol

Como resultado del proceso de transesterificación de los glicéridos del aceite de palma con metanol se produce glicerol (1,2,3-propanotriol), comúnmente conocido como glicerina (Singhabhandhu y Tezuka, 2010). Teóricamente puede obtenerse 0,1 l de glicerol por cada litro de biodiesel, además de metanol y agua (Singhabhandhu y Tezuka, 2010; Chatzifragkou et al., 2011). La glicerina es empleada en la industria alimentaria y farmacéutica bajo los estándares USP (United States Pharmacopeia) y FCC (Food Chemicals Codex); en la producción de dinamita (Rincón y Martínez, 2009; Posada-Duque y Cardona-Alzate, 2010), cosméticos, pintura, pulpa, papel, cuero y textiles (Pagliaro y Rossi, 2008; Singhabhandhu y Tezuka, 2010; Chatzifragkou et al., 2011); como sustrato para la producción de metabolitos, tales como los ácidos orgánicos, 1,3-propanodiol, ácido cítrico, polioles y lípidos (Yazdani y Gonzalez, 2007; Chatzifragkou et al., 2011), en la dieta de rumiantes y algunos otros animales (Yang et al., 2012), y en la producción de etanol combustible, utilizando cepas de *Escherichia coli* (Posada y Cardona, 2010) (Figura 4).

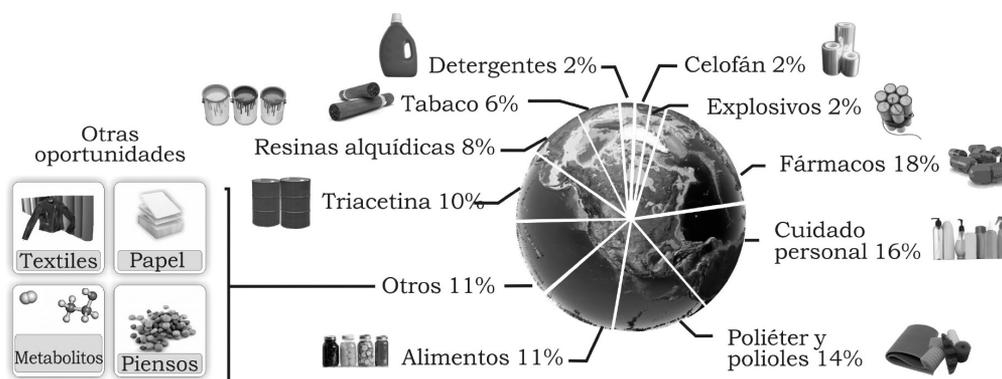


Figura 4. Distribución porcentual del mercado del glicerol en el mundo y sus usos industriales. Fuente: Pagliaro y Rossi (2008).

Figure 4. Percentage worldwide distribution of the glycerol market and its industrial uses. Source: Pagliaro and Rossi (2008).

Aguas residuales

Los procesos de decantación, esterilización y centrifugación, generan una gran cantidad de efluentes líquidos en proporción de 75, 17 y 8%, respectivamente (Prasertsan y Prasertsan, 1996). Estas mezclas contienen cantidades importantes de materia orgánica con alto contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que al ser vertidas al ambiente pueden generar problemas de eutroficación y contaminación de las aguas subterráneas (Lam y Lee, 2011). Para evitar la contaminación de los efluentes, deben ser tratados en lagunas de estabilización con procesos anaerobios, facultativos, metanógenas, aerobios y/o combinaciones de los mismos. La disposición final de las aguas residuales ha sido estudiada con el fin de utilizarlas como fertilizante (Prasertsan y Prasertsan, 1996; Zulkifli et al., 2010), y en procesos de compostaje con racimos vacíos como sustrato de hongos filamentosos descomponedores de celulosa, hemicelulosa y lignina (Yusoff, 2006; Mohammad et al., 2012) (Figura 3).

Las grasas recolectadas de las lagunas de oxidación, compuestas principalmente por aceite crudo de palma y ácidos grasos libres, son una buena fuente de nutrientes en la fabricación de alimentos para animales (Yaakub et al., 2009; Chee et al., 2012), como sustrato en la obtención de productos biotecnológicos como proteína unicelular, celulasa, xilanasas, betaglucosidasa y pectinasa, enzimas que pueden ser generadas a partir del cultivo de *Aspergillus niger* (Prasertsan y Prasertsan, 1996), y como medio de fermentación para la producción de antibióticos, bioinsecticidas, polihidroxicarboxilatos, ácidos orgánicos y disolventes mediante la utilización de diferentes cepas de bacterias (Wu et al., 2009).

Los efluentes una vez que inician el proceso de tratamiento con microorganismos descomponedores anaerobios, generan biometano (CH_4 , un GEI con un potencial de calentamiento veintitres veces más potente que el CO_2) (Yacob et al., 2006; Lam y Lee, 2011), convirtiéndose en una desventaja del procesamiento de palma aceitera (Figura 3). Estudios plantean la producción de biohidrógeno a partir de compuestos biológicos y microorganismos, con el empleo de cepas de *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* (O-Thong et al., 2008) y *Clostridium pasteurianum* (Lin y Lay, 2004). Estas cepas pueden ser obtenidas en medios con efluentes líquidos como sustrato (Morimoto et al., 2004; Atif et al., 2005). Estos procesos biológicos abren nuevas vías en la producción de bioenergía (Morimoto et al., 2004), disminuyendo la dependencia a los combustibles fósiles, los costos de capital y las emisiones de contaminantes como el CO_2 , debido a que el hidrógeno posee un calor específico de 142 MJ/kg, superior al del metano (56 MJ/kg) y al de la gasolina (47 MJ/kg) (Lam y Lee, 2011), y su proceso genera como producto agua pura (Atif et al., 2005; Wu et al., 2009).

Debido a la gran cantidad de nutrientes que poseen los efluentes, algunos estudios han analizado la posibilidad de producir biocombustibles mediante el cultivo de microalgas, dada su rápida tasa de crecimiento y capacidad de síntesis de lípidos, consideradas como una materia prima prometedoras y sostenibles para la producción de biodiesel (Khan et al., 2009; Lam y Lee, 2011), además de la fijación de CO_2 , con una eficiencia de diez a cincuenta veces mayor que las plantas terrestres (Khan et al., 2009). El material sobrante consta principalmente de carbohidratos no celulósicos, los cuales son la base de la producción de bioetanol por fermentación (Harun et al., 2010). La biomasa de microalgas que queda después de la fermentación se puede utilizar en el proceso de digestión anaerobia para producir biometano (Lam y Lee, 2011).

La palma aceitera o africana genera diversos subproductos que pueden brindar una mayor rentabilidad económica y ambiental al cultivo, debido a que su aprovechamiento disminuiría las emisiones de GEI. Aunque en algunas regiones del país están siendo utilizados algunos de los subproductos mencionados, es importante realizar investigaciones sobre la aplicación de nuevas técnicas de aprovechamiento, a fin de producirlos competitivamente y obtener beneficios ambientales y sociales, permitiendo un mejor posicionamiento de Colombia como productor mundial de palma aceitera, con múltiples valores agregados en su cadena productiva.

Manejo de desechos de la industria de la palma aceitera

El manejo de los residuos desde la siembra hasta la producción de aceite comprende el reciclaje o disposición final de hojas, tallos, racimos de frutos vacíos, la torta de palmiste, el cuesco y aún los residuos líquidos con una gran cantidad de nutrientes provenientes del prensado de la fruta y la limpieza del aceite (Yusoff, 2006; Otti et al., 2014).

Para una hectárea de plantación madura que produce 20,1 t de racimos de frutos por año, las cantidades de estos materiales han sido estimadas así: 4,42 t de racimos de frutos vacíos; 2,71 t de fibra; 1,10 t de cáscara de la almendra y 13,45 t de efluentes líquidos (Yusoff, 2006). Se conoce que un 78% en peso de los racimos cosechados representa los frutos y que el coeficiente de conversión de fruto a aceite crudo es de aproximadamente el 20% (González et al., 2015), puede estimarse que anualmente por cada hectárea se obtienen 3,14 t de aceite y 21,68 t de residuos, no contando el material foliar retirado de la planta al momento de la cosecha. Estas cifras han generado preocupación

en muchos productores del sureste asiático y aún en Colombia, quienes optan por usar la biomasa para la generación de energía y vapor, principalmente, reduciendo en gran medida los costos energéticos, pero emitiendo gases y material particulado al ambiente (Yusoff, 2006; Umar et al., 2013; Briceño et al., 2015). Por consiguiente, y dado que los residuos de la palma aceitera son diversos, es importante explorar e investigar la viabilidad de transformar de manera rentable desechos como los efluentes líquidos, capaces de generar biometano, bioetanol, fertilizantes o biohidrógeno mediante el uso de microorganismos, la torta de palmiste en la elaboración de concentrado para animales, y en especial la transformación de la biomasa que se obtiene en grandes cantidades, en la elaboración de biocompuestos o en la elaboración de muebles. Todo con la finalidad de gestionar recursos, reducir contaminación y mantener las reservas de carbono.

Agradecimientos

Los autores agradecen al programa de becas de Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” de Colciencias y a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Cartagena por el apoyo financiero del Plan de Fortalecimiento del Grupo de Química Ambiental y Computacional de la Universidad de Cartagena, 2013-2014.

Literatura citada

- Aguilera-Díaz, M. 2002. Palma africana en la costa caribe: Un semillero de empresas solidarias. *Docu. Trab. Econo. Regional* 30:1-53.
- Alengaram, U.J., B.A. Muhit, and M.Z. Jumaat. 2013. Utilization of oil palm kernel shell as lightweight aggregate in concrete – A review. *Constr. Build Mater.* 38:161-172.
- Atif, A.A., A. Fakhru'l-Razi, M.A. Ngan, M. Morimoto, S.E. Iyuke, and N.T. Veziroglud. 2005. Fed batch production of hydrogen from palm oil mill effluent using anaerobic microflora. *Int. J. Hydrogen Energy* 30:1393-1397.
- Briceño, I., J. Valencia, y M. Posso. 2015. Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Palmas* 36(3):43-53.
- Calle-Díaz, Z., y E. Murgueitio. 2008. La palma real de vino o corozo de puerco *Attalea butyracea* (Mutis ex L. f. Wess. Boer.) *Arecaceae. Carta Fedegan.* 107:46-56.
- Cerveró, J., P. Skovgaard, C. Felby, H. Sørensen, and H. Jørgensen. 2010. Enzymatic hydrolysis and fermentation of palm kernel press cake for production of bioethanol. *Enzyme Microbiol. Technol.* 46:177-184.
- Chatzifragkou, A., A. Makri, A. Belka, S. Bellou, M. Mavrou, M. Mastoridou, P. Mystrioti, G. Onjaro, G. Aggelis, and S. Papanikolaou. 2011. Biotechnological conversions of biodiesel derived waste glycerol by yeast and fungal species. *Energy* 36:1097-1108.
- Chee, K., H. Ling, and M. Ayob. 2012. Optimization of trypsin-assisted extraction, physico-chemical characterization, nutritional qualities and functionalities of palm kernel cake protein. *Food Sci. Technol.* 46:419-427.
- Chong, H., P. Chia, and M. Ahmad. 2013. The adsorption of heavy metal by Bornean oil palm shell and its potential application as constructed wetland media. *Bioresour. Technol.* 130:181-186.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2016. Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2015. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/boletin_ena_2015.pdf. (consultado 9 ago. 2016).

- González, A., E. Girón, J. Ruiz, y F. Rincón. 2015. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Fedepalma - Unidad de Planeación Sectorial y Desarrollo Sostenible. <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Minianuario%20Estad%C3%ADstico%202015.pdf>. (consultado 8 ago. 2016).
- Harun, R., M. Singh, G. Forde, and M. Danquah. 2010. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renew. Sust. Energy Rev.* 14:1037-1047.
- Iluyemi, F., M. Hanafi, O. Radziah, and M. Kamarudin. 2006. Fungal solid state culture of palm kernel cake. *Bioresour. Technol.* 97:477-482.
- Jeyarani, T., M. Imtiyaj-Khan, and S. Khatoon. 2009. Trans-free plastic shortenings from coconut stearin and palm stearin blends. *Food Chem.* 114:270-275.
- Khan, S., Rashmi, M. Hussain, S. Prasad, and U. Banerjee. 2009. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renew. Sust. Energy Rev.* 13:2361-2372.
- Kok, S., M. Ong-Abdullah, G.C. Ee, and P. Namasivayam. 2011. Comparison of nutrient composition in kernel of tenera and clonal materials of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *Food Chem.* 129:1343-1347.
- Lam, M., and K. Lee. 2011. Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win-win strategies toward better environmental protection. *Biotechnol. Adv.* 29:124-141.
- Lam, M., K. Tan, K. Lee, and A. Mohamed. 2009. Malaysian palm oil: Surviving the food versus fuel dispute for a sustainable future. *Renew. Sust. Energy Rev.* 13:1456-1464.
- Lin, C., and C. Lay. 2004. Carbon/nitrogen-ratio effect on fermentative hydrogen production by mixed microflora. *Int. J. Hydrogen Energy* 29:41-45.
- Ma, F., and M. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresour. Technol.* 70:1-15.
- Mannan, M.A., J. Alexander, C. Ganapathy, and D.C. Teo. 2006. Quality improvement of oil palm shell (OPS) as coarse aggregate in lightweight concrete. *Build. Environ.* 41:1239-1242.
- Mohamed, A., K. Lee, N. Noor, and N. Zainud. 2005. Oil palm ash/Ca(OH)₂/CaSO₄ absorbent for flue gas desulfurization. *Chem. Eng. Technol.* 28:939-945.
- Mohammad, N., M.Z. Alam, N. Kabbashi, and A. Ahsan. 2012. Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. *Resour. Conserv. Recy.* 58:69-78.
- Monde, A., F. Michel, M. Carbonneau, G. Tiahou, M. Vernet, S. Eymard-Duvernay, S. Badiou, B. Adon, E. Konan, D. Sess, and J. Cristol. 2009. Comparative study of fatty acid composition, vitamin E and carotenoid contents of palm oils from four varieties of oil palm from Côte d'Ivoire. *J. Sci. Food Agr.* 89:2535-2540.
- Morimoto, M., M. Atsuko, A. Atif, M. Ngan, A. Fakhru'l-Razi, S. Iyuke, and A. Bakir. 2004. Biological production of hydrogen from glucose by natural anaerobic microflora. *Int. J. Hydrogen Energy* 29:709-713.
- Ng, K., M. Ayob, M. Said, M. Osman, and A. Ismail. 2013. Optimization of enzymatic hydrolysis of palm kernel cake protein (PKCP) for producing hydrolysates with antiradical capacity. *Ind. Crop. Prod.* 43:725-731.
- O-Thong, S., N. Intrasungkha, P. Prasertsan, S. Dhamwichukorn, and N. Birkeland. 2008. Optimization of simultaneous thermophilic fermentative hydrogen production and COD reduction from palm oil mill effluent by *Thermoanaerobacterium*-rich sludge. *Int. J. Hydrogen Energy* 33:1221-1231.
- Otti, V.I., H.I. Ifeanyichukwu, F.C. Nwaorum, and F.U. Ogbuagu. 2014. Sustainable oil palm waste management in engineering development. *Civil. Environ. Res.* 6:121-125.

- Paengkoum, P., J.B. Liang, Z.A. Jelan, and M. Basery. 2006. Utilization of steam-treated oil palm fronds in growing goats: 1. supplementation with dietary urea. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19:1305-13.
- Pagliari, M., and M. Rossi. 2008. *The future of glycerol: new usages for a versatile raw material*. Royal Society of Chemistry Publishing, Cambridge, GBR.
- Pantzaris, T., and A. Mohd-Jaaffar. 2002. Properties and utilization of palm kernel oil. *Palmas* 23:46-58.
- Posada, J., and C. Cardona. 2010. Design and analysis of fuel ethanol production from raw glycerol. *Energy* 35:5286-5293.
- Posada-Duque, J., y C. Cardona-Alzate. 2010. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel. *Ingeniería y Universidad* 14:9-27.
- Prasertsan, S., and P. Prasertsan. 1996. Biomass residues from palm oil mills in Thailand: an overview on quality and potential usage. *Biomass Bioenergy* 11:387-395.
- Razuan, R., K. Finney, Q. Chen, V. Sharifi, and J. Swithenbank. 2011. Pelletised fuel production from palm kernel cake. *Fuel Process. Technol.* 92:609-615.
- Reid, W., H.A. Mooney, A. Cropper, D. Capistrano, S. Carpenter, K. Chopra, P. Dasgupta, T. Dietz, A. Duraiappah, R. Hassan, R. Kasperson, R. Leemans, R. May, T. McMichael, P. Pingali, C. Samper, R. Scholes, R. Watson, A. Zakri, Z. Shidong, N. Ash, E. Bennett, P. Kumar, M. Lee, C. Raudsepp-Hearne, H. Simons, J. Thonell, y M. Zurek. 2001. Evaluación de los ecosistemas del milenio. <http://www.unep.org/maweb/documents/document.439.aspx.pdf>. (consultado 20 abr. 2014).
- Reyes, S., y J. Ortíz. 2008. Aprovechamiento de los residuos de la palma africana. <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/CONAMET-SAM2008/pdfs/a9.pdf>. (consultado 20 abr. 2014).
- Rhule, S. 1996. Growth rate and carcass characteristics of pigs fed on diets containing palm kernel cake. *Anim. Feed Sci. Tech.* 61:167-172.
- Rincón, S., y D. Martínez. 2009. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Palmas* 30(2):1-14.
- Rozman, H., M. Saad, and Z. Ishak. 2003. Flexural and impact properties of oil palm empty fruit bunch (EFB)-polypropylene composites-the effect of maleic anhydride chemical modification of EFB. *Polym. Test.* 22:335-341.
- Sharma, Y., B. Singh, and S. Upadhyay. 2008. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel* 87:2355-2373.
- Shinoj, S., R. Visvanathan, S. Panigrahi, and M. Kochubabu. 2011. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. *Ind. Crop Prod.* 33:7-22.
- Shuit, S.H., K.T. Tan, K.T. Lee, and A.H. Kamaruddin. 2009. Oil palm biomass as a sustainable energy source: A Malaysian case study. *Energy* 34:1225-1235.
- Singh, S., and D. Singh. 2010. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renew. Sust. Energy Rev.* 14:200-216.
- Singhabhandhu, A., and T. Tezuka. 2010. A perspective on incorporation of glycerin purification process in biodiesel plants using waste cooking oil as feedstock. *Energy* 35:2493-2504.
- Sreekala, M., M. Kumaran, M. Geethakumariam, and S. Thomas. 2004. Environmental effects in oil palm fiber reinforced phenol formaldehyde composites: Studies on thermal, biological, moisture and high energy radiation effects. *Adv. Compos. Mater.* 13:171-197.
- Suhaily, S., M. Jawaid, H. Abdul-Khalil, A. Mohamed, and F. Ibrahim. 2012. A review of oil palm biocomposites for furniture design and applications: potential and challenges. *BioResour.* 7:4400-4423.

- Sumathi, S., S. Chai, and A. Mohamed. 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renew. Sust. Energy Rev.* 12:2404-2421.
- Szydłowska-Czerniak, A., K. Trokowski, G. Karlovits, and E. Szłyk. 2011. Effect of refining processes on antioxidant capacity, total contents of phenolics and carotenoids in palm oils. *Food Chem.* 129:1187-1192.
- Tan, Y., M. Ayob, and W. Wan-Yaacob. 2013. Purification and characterization of antibacterial peptide-containing compound derived from palm kernel cake. *Food Chem.* 136:279-284.
- Umar, M.S., P. Jennings, and T. Urme. 2013. Strengthening the palm oil biomass renewable energy industry in Malaysia. *Renew. Energ.* 60:107-115.
- Waskitoaji, W., E. Triwulandari, and A. Haryono. 2012. Synthesis of plasticizers derived from palm oil and their application in polyvinyl chloride. *Procedia Chem.* 4:313-321.
- Wu, T.Y., A.W. Mohammad, J.M. Jahim, and N. Anuar. 2009. A holistic approach to managing palm oil mill effluent (POME): Biotechnological advances in the sustainable reuse of POME. *Biotechnol. Adv.* 27:40-52.
- Yaakub, H., M. Masnindah, G. Shanthi, S. Sukardi, and A. Alimon. 2009. The effects of palm kernel cake based diet on spermatogenesis in Malin×Santa-Ines rams. *Anim. Reprod. Sci.* 115:182-188.
- Yacob, S., M. Ali-Hassan, Y. Shirai, M. Wakisaka, and S. Subash. 2006. Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. *Sci. Tot. Environ.* 366:187-196.
- Yang, F., M. Hanna, and R. Sun. 2012. Value-added uses for crude glycerol-a byproduct of biodiesel production. *Biotechnol. Biofuels* 5(13):1-10.
- Yazdani, S., and R. Gonzalez. 2007. Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry. *Curr. Opin. Biotechnol.* 18:213-219.
- Yusoff, S. 2006. Renewable energy from palm oil - innovation on effective utilization of waste. *J. Clean Prod.* 14:87-93.
- Zulkifli, H., M. Halimah, K.W. Chan, Y.M. Choo, and W. Mohd-Basri. 2010. Life cycle assessment for oil palm fresh fruit bunch production from continued land use for oil palm planted on mineral soil (part 2). *J. Oil Palm Res.* 22:887-894.