Ceniavances
N° 176 Abril de 2014
cenipalma
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma ISSN 0123-8353

Conceptos de biorrefinería en plantas de beneficio para el sector palmicultor colombiano

Deisy Tatiana Rodríguez Peñuela[1], Nidia Elizabeth Ramírez Contreras[2], Jesús Alberto García Núñez[3]

Notas del Director

Cenipalma busca dar respuesta con sus investigaciones a los principales problemas tecnológicos de la agroindustria de la palma de aceite para fortalecer su productividad, enfocando su actividad de investigación, validación y extensión en todas las etapas de la cadena productiva, incluyendo la de procesamiento.

Las plantas de beneficio generan biomasa sólida (tusa, fibra y cuesco), que representa en promedio 40 % del peso de los racimos, y efluentes líquidos de cerca de 0,8 m^3 por tonelada de RFF procesado. Para responder a las nuevas exigencias normativas (establecidas o en discusión) en Colombia, relacionadas con la disposición de biomasa en campo, emisiones de fuentes fijas y vertimiento a cuerpos de agua, el equipo de investigadores del Programa de Procesamiento presenta a los palmicultores el concepto de biorrefinería que integra los procesos de conversión de combustibles, energía y nuevos productos a partir de la biomasa, mediante su procesamiento biológico, fisicoquímico o termoquímico.

En el estudio se evaluaron cinco conceptos de biorrefinería con potencial de aplicación en las plantas de beneficio en Colombia: cogeneración, compostaje, biocarbón y bioaceites, recuperación de biogás y peletización. Durante 2014, los modelos seleccionados serán evaluados financiera y ambientalmente para verificar su posibilidad de aplicación en las condiciones colombianas, buscando una mayor sostenibilidad de la agroindustria de la palma de aceite.

José Ignacio Sanz Scovino, PhD.
Director Ejecutivo de Cenipalma

Introducción

La agroindustria de la palma de aceite se ha convertido en una de las principales fuentes de aceites vegetales en el mundo con 53,665 millones de toneladas al año, seguido de la soya con 41,710 millones de toneladas [1]. Los principales productos de comercialización son el aceite de palma crudo (APC) y el aceite de palmiste (APL), en promedio 21 y 2 %, respectivamente, del peso de los racimos de fruta fresca (RFF) que se procesan en una planta de beneficio [2]. En 2012 Colombia produjo 973.703 toneladas de APC y 81.614 de APL, posicionándose como el quinto productor en el mundo e incrementando su producción en 1,1 % respecto al año anterior [1]. El crecimiento de la agroindustria de palma de aceite en Colombia en los últimos años ha ubicado el sector como motor de desarrollo económico; sin embargo, son evidentes los retos en competitividad y sostenibilidad a los que actualmente este sector se enfrenta: la marcada fluctuación del precio del aceite, el costo de procesamiento, la diversidad de los competidores, los productos sustitutos, etc.

La biomasa sólida generada en la planta de beneficio como tusa, fibra y cuesco representan en promedio 40 % del peso de los RFF, mientras que los efluentes líquidos se calculan aproximadamente en 0,8 m^3 por tonelada de RFF procesado. Un estudio realizado en 2009 por Cenipalma sobre el uso dado a la biomasa proveniente de la planta de beneficio en Colombia, encontró que el 83 % de la tusa es transportada desde las plantas de beneficio y esparcidas en las plantaciones de palma, mientras el 15 % es utilizado para la producción de compost.

En cuanto a la fibra y el cuesco, son usados para alimentar el sistema de generación de vapor para proceso en 80 y 67 % respectivamente, la fracción restante se usa junto con la tusa como fertilizante orgánico o para compostaje [2]. Como mecanismo de tratamiento de efluentes, las plantas de beneficio cuentan con lagunas anaeróbicas y facultativas para realizar la remoción de la materia orgánica del procesamiento de fruto, la cual es representada por la demanda química de oxígeno (DQO) con una concentración aproximada de 50.000 mg/L [3]. A pesar del uso y tratamiento de la biomasa producida en las plantas de beneficio, el gobierno colombiano ha incrementado en los últimos años las exigencias en cuanto a parámetros máximos permisibles respecto a emisiones de fuentes fijas (sistemas de generación de vapor), y adelanta trabajos para cambiar las exigencias también en los vertimientos a fuentes de agua. Las corporaciones autónomas también trabajan en la disposición de biomasa en campo con el fin de disminuir el impacto causado por la cadena de producción del aceite de palma en las zonas productivas del territorio nacional.

Evaluar nuevas alternativas de tratamiento de biomasa, dentro del marco de los conceptos de biorrefinería, es una estrategia adoptada por el Programa de Procesamiento de Cenipalma en función del desarrollo sostenible del sector palmero. El término biorrefinería

[1] I.Q. Auxiliar de Investigación. Programa de Procesamiento, Cenipalma.
[2] Q.A. Asistente de Investigación. Programa de Procesamiento, Cenipalma.
[3] M.Sc. Coordinador. Programa de Procesamiento, Cenipalma.

es análogo al de refinerías asociadas a la industria petrolera, que son instalaciones industriales multiproducto basadas en una única materia prima, el petróleo crudo; en el caso de las biorrefinerías, se trata de estructuras que integran procesos de conversión y equipamiento para producir combustibles, energía y productos químicos a partir de la biomasa[4].

Los conceptos de biorrefinería aplicados en plantas de beneficio son alternativas para la fabricación de nuevos productos provenientes de la biomasa residual generada por el beneficio del fruto de la palma de aceite, rutas con potencial de implementación a corto y mediano plazos. Como se observa en la Figura 1, hay tres rutas para el procesamiento de la biomasa: biológica, fisicoquímica y termoquímica. En la primera, procesos de digestión anaerobia y fermentación alcohólica con microorganismos o enzimas promueven la producción de etanol, compost y biogás. En la segunda, se obtiene celulosa, pellets, briquetas y otros productos a través de procesos de transformación física y química. Para el caso de la ruta termoquímica, la degradación térmica de la biomasa en diferentes condiciones genera productos como el biocarbón, bioaceites y gases de síntesis usados como fuente de energía, enmiendas orgánicas, carbones activados e incluso otros productos químicos.

Dentro de los conceptos de biorrefinería que se están estudiando en el sector palmicultor a nivel mundial, se encuentran la producción de compost, cogeneración de energía eléctrica, recuperación de biogás en lagunas anaeróbicas, pirólisis y gasificación (biocarbón, bioaceites y gases de síntesis, H_2, CO y CH_4, especialmente), producción de fibra larga de tusa, briquetas, pellets, separación de los principales componentes de la biomasa (celulosa, hemicelulosa y lignina) para ser usados como materias primas en la obtención de productos químicos, alcoholes, aglomerantes, aditivos, materiales aislantes, etc., [4], [5], [6], [7] [8]. Algunas plantas de beneficio en Colombia han iniciado la aplicación de conceptos de biorrefinería dentro de la cadena de proceso, impulsadas por el potencial de generación de energía o por el cumplimiento de las regulaciones ambientales actualmente dispuestas por el Estado. Este hecho ha generado la necesidad de evaluar técnica, financiera y ambientalmente las diferentes alternativas de uso de la biomasa con el fin de identificar aquellas con mayor potencial de desarrollo sostenible dentro de la cadena ya establecida del aceite de palma.

Este documento presenta los avances en el protocolo de investigación sobre la evaluación de conceptos de biorrefinería aplicados en plantas de beneficio como estrategia para el desarrollo sostenible del sector palmero colombiano.

Metodología

Se evaluarán cinco conceptos de biorrefinería con potencial de aplicación en plantas de beneficio en Colombia. A partir de modelos *input-output* desarrollados con la herramienta Excel de Microsoft Office, se determinará el desempeño técnico, financiero y ambiental de cada una de las alternativas. Los resultados generados por los modelos se analizarán teniendo en cuenta diferentes criterios dentro de una matriz de decisión. El estudio contempla la realización de tres actividades principales.

1. Identificación del portafolio de conceptos de biorrefinería.
2. Evaluación técnica, de cinco conceptos de biorrefinería con potencial de aplicación en plantas de beneficio.
3. Evaluación financiera y ambiental de los conceptos de biorrefinería seleccionados.

En la primera etapa se identificará el portafolio de alternativas para el aprovechamiento de los subproductos a partir de revisión bibliográfica y ejemplos de experiencias a escala industrial y se determinarán aquellas opciones con mayor potencial de aplicación en plantas de beneficio en Colombia. El criterio para la selección de las alternativas o conceptos a evaluar será la escala tecnológica en que se encuentran actualmente los procesos a nivel mundial con el fin de abarcar tiempos de aplicación en el corto y mediano plazo.

En la segunda etapa se formularán los modelos técnicos de los conceptos de biorrefinería, identificados con mayor potencial de aplicación en Colombia. Este modelo incluirá los balances de masa y requerimientos energéticos de cada uno de los conceptos, integrados a los balances de la cadena productiva ya establecida de aceite de palma, que incluye el cultivo y la extracción de APC y APL en la planta de beneficio, sin transformación de subproductos. Se usará el programa Excel de Microsoft Office como herramienta para la modelación de escenarios. Para una capacidad de procesamiento (t RFF/h) en la planta de beneficio, el modelo identificará la disponibilidad de materia prima (biomasa), capacidad de producción de los nuevos productos, el rendimiento del proceso y los servicios industriales requeridos, información indispensable para llevar a cabo la evaluación financiera y ambiental de los conceptos de biorrefinería.

La tercera y última etapa hará referencia a la evaluación del desempeño financiero y ambiental de cada uno de los conceptos de biorrefinería acoplados a la cadena de producción de aceite de palma, para determinar la viabilidad económica del proyecto y el potencial de im-

Fuentes Fotográficas: Archivo fotográfico, Fedepalma y Fotos de trabajos internos Programa de Procesamiento.

Figura 1. Portafolio de conceptos de biorrefinería aplicada a plantas de beneficio. (Adaptado García-Núñez y García-Perez 2012 [8]).

[4] Fuente: http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html

pacto ambiental de las nuevas unidades de proceso. En cuanto al desempeño ambiental, la metodología de evaluación que se usará será el análisis de ciclo de vida (ACV), la cual permitirá identificar, caracterizar y cuantificar los impactos ambientales generados por el proceso de producción de cada una de las alternativas de uso de la biomasa generada en las plantas de beneficio. Esta metodología ya ha sido usada en trabajos anteriores realizados por Cenipalma y se encuentra plenamente descrita en las normas ISO14040, 14041, 14042 y 14043.

Resultados preliminares

Etapa 1: Selección de conceptos de biorrefinería

Los cinco conceptos de biorrefinería seleccionados por presentar el mayor potencial de aplicación a corto y mediano plazo, en plantas de beneficio en Colombia fueron: cogeneración, compostaje, biocarbón y bioaceites, recuperación de biogás y peletización. A continuación se realiza una breve descripción de cada concepto de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada en esta primera etapa, se determinan ventajas y posibles aplicaciones y se presenta el estado actual de la tecnología aplicada en plantas de beneficio a nivel nacional e internacional, Figura 2.

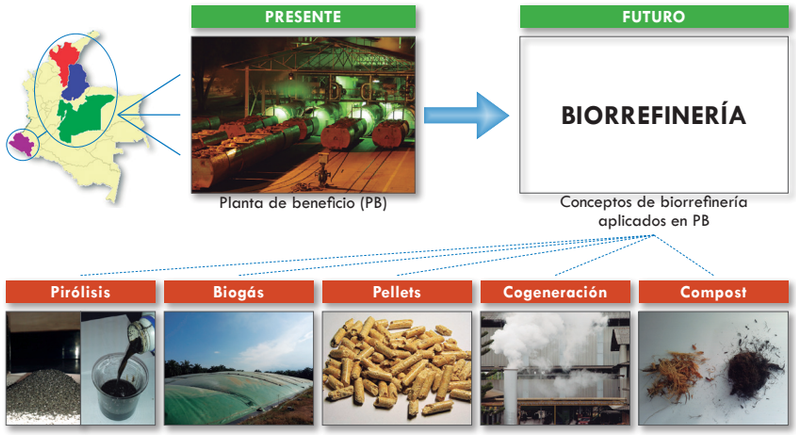
1. *Cogeneración:* el uso de calderas y turbinas para la generación de vapor y energía eléctrica es una de las alternativas ya implementadas en las plantas de beneficio en Colombia. A pesar de la baja eficiencia energética causada por el uso inapropiado de los combustibles (biomasa) y equipos de generación [9], se han encontrado excedentes de energía entre 1 y 7 MW en plantas de capacidades entre 18 y 60 t RFF/h [10]. El aumento de la eficiencia resultaría en una mayor disponibilidad de energía que podría usarse en la obtención de otros productos a partir de la biomasa.

2. *Compostaje:* la producción de compost por procesos de descomposición aerobia de biomasa residual y efluentes es uno de los conceptos de biorrefinería con mayor potencial para la reducción de volúmenes y concentración de nutrientes y de amplio conocimiento y aplicación en el sector palmero. Estudios sobre la evaluación del impacto ambiental del proceso de compostaje en comparación con la aplicación de tusa en campo y el tratamiento de efluentes en lagunas abiertas de oxidación, han reportado reducciones en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEF) generadas por la planta de beneficio de hasta 96 %, efecto causado principalmente por la mitigación de las emisiones de metano, con el uso de los efluente en la producción de compost. La relación de efluentes con respecto a la tusa, el tiempo de compostaje y las metodologías de procesamiento también han sido tema de discusión dentro de la comunidad científica [5], [11], [12], [13].

3. *Biocarbón y bioaceites:* la pirólisis consiste en la degradación térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno para obtener biocarbón, bioaceites y gases de síntesis (CO, H_2 y CH_4). Con el conocimiento de las cinéticas de reacción se puede favorecer la producción de uno de los tres productos, modificando las condiciones de operación [14]. Debido al cambio en las condiciones de operación, la pirólisis es denominada lenta o rápida. En la pirólisis lenta se favorece la producción de carbón debido a las bajas tasas de calentamiento y al alto tiempo de residencia, mientras que en la pirólisis rápida se favorece la producción de bioaceites mediante el aumento en las tasas y temperaturas de calentamiento y menores tiempos de residencia [15] [16] [17]. Los productos de pirólisis se caracterizan por su alto poder calorífico, 27,97 y 29,6 MJ/kg para biocarbón y bioaceites obtenidos de pirólisis de tusa [15]. El biocarbón puede usarse como enmienda orgánica, combustible y en la producción de carbón activado, el bioaceite, por su parte, contiene hidrocarburos pesados que pueden reformarse para obtener combustibles y productos químicos y, finalmente, los gases de síntesis se pueden usar para la generación de energía aprovechando el alto poder calorífico presente en la mezcla, en especial por la presencia de H_2, CO y CH_4 [18].

4. *Recuperación de biogás:* estudios recientes realizados por Cenipalma encontraron que el 35 % del total de emisiones de GEI generadas durante la producción de biodiésel, provienen de las lagunas de oxidación, donde los procesos de descomposición anaeróbica emiten altas cantidades de metano CH_4 [19]. La recuperación de biogás mediante el carpado de lagunas es una de las alternativas con mayor potencial en la disminución de las emisiones de la cadena productiva del aceite de palma. Los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), en particular el Proyecto Sombrilla impulsado por Fedepalma, permitirán aprovechar en parte el potencial energético del sector palmero colombiano, el cual podría generar siete veces más energía de la que requiere para su propio proceso[5].

5. *Peletización:* el manejo de grandes volúmenes, el transporte de altas cantidades de humedad y el bajo poder calorífico de la biomasa húmeda, son barreras que por muchos años han limitado el aprovechamiento de los sub-



Fuentes: Archivo fotográfico, Fedepalma y Fotos de trabajos internos Programa de Procesamiento. Pellets: Foto tomada el 8 Marzo de 2009 Por D-Kuru de Wikimedia Commons: Enlace: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wood_pellets-small_huddle_PNr%C2%B00108.jpg

Figura 2. Selección de conceptos de biorrefinería.

[5] Fuente: http://portal.fedepalma.org//protocolo_kyoto.htm

productos generados en la planta de beneficio. La compactación de la biomasa mejora las propiedades del producto final a través de procesos de secado, molienda y extrusión de la misma. En el caso de la tusa, adicionando la etapa de prensado al módulo de compactación, se pueden obtener pellets con poderes caloríficos de hasta 19 MJ/kg, densidades de 1.200 kg/m^3 y humedades menores al 10 %, valores mejorados con respecto a la tusa fresca, 8,16 MJ/kg, <900 kg/m^3 y 50 %, respectivamente [20] y [21].

Etapa 2: Modelos técnicos de opciones de biorrefinería

Una muestra de los modelos técnicos que actualmente se están desarrollando es la producción de pellets a partir del 100 % de la tusa disponible en la planta de beneficio Figura 3. Estas son las principales consideraciones que se tuvieron en cuenta para la estructuración de estos modelos:

- Porcentaje de la tusa en RFF, 22 % y 67 % de humedad antes de su respectivo prensado.
- Operaciones de prensado, secado, picado y peletizado para la obtención de pellets.
- Se deja abierta la opción de usar aglomerantes como agentes de compactación para el proceso.
- Pérdidas de masa en la separación de finos o polvos del 5 %.
- Uso de aire caliente para secar la biomasa.

De acuerdo con la Figura 3, para obtener una tonelada de pellets es necesario alimentar al proceso 2,79 toneladas de tusa con 67 % de humedad proveniente de la planta de beneficio, el requerimiento energético para equipos es de 215,76 kWh/t pellets y la energía empleada en el secado es 2.630,34 MJ/t pellets que equivale a 958,65 kg de vapor de 65 psi. La modelación matemática se encuentra ligada a la línea base (balances de masa y energía del cultivo y plantas de beneficio) permitiendo simular procesos con cualquier capacidad de procesamiento.

En este estudio se han llevado a cabo la mayor parte de las actividades relacionadas con la primera y segunda etapa, descritas en la metodología. Entre las actividades que se realizaron se encuentran la revisión bibliográfica, selección de los conceptos de biorrefinería a evaluar, recolección de datos en plantas de beneficio y montaje de modelos matemáticos con los balances de masa y requerimientos

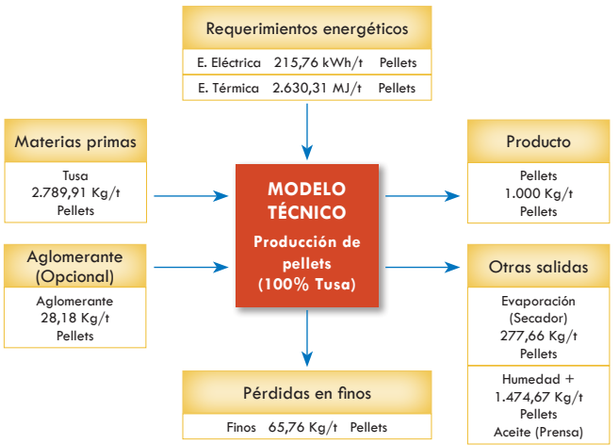


Figura 3. Modelo técnico de conceptos de biorrefinería: producción de pellets.

energéticos. Durante 2014 se planea continuar con la etapa tres de la metodología, que contempla el desarrollo de una primera evaluación del desempeño técnico de las cinco alternativas de uso de la biomasa, seguido del planteamiento de los modelos financieros y ambientales, para finalmente, realizar una evaluación integral de los conceptos de biorrefinería, en los tres criterios evaluados en este estudio.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales a las plantas de beneficio: Entrepalmas S.A.S., Aceites Manuelita S.A., Aceites Morichal S.A.S, y C.I. Tequendama S.A. Esta investigación es financiada por el Fondo de Fomento Palmero (FFP) administrado por Fedepalma. Así mismo, cuenta con la colaboración de la Universidad Estatal de Washington (WSU, por sus siglas en inglés) en la elaboración y conceptualización de este proyecto.

Bibliografía

[1] Fedepalma, "Anuario Estadístico: La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo," 2013.

[2] J. A. García, M. Cárdenas, E. Yáñez, "Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia," *PALMAS* , vol. 31, pp. 41 – 48, 2010.

[3] T. D. Miranda H., Schuchardt F., Wulfert K., "Manejo Sostenible de Tusas y Efluentes," *PALMAS*, vol. 28, pp. 191–198, 2007.

[4] E. Ugoji, "Anaerobic digestion of palm oil mill effluent and its utlllzatlon as fertilizer for environmental protection," *Renew. Energy*, vol. 10, no. 213, pp. 291–294, 1997.

[5] H. Stichnothe and F. Schuchardt, "Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis," *Int. J.*, pp. 907–915, 2010.

[6] M. Salomon, M. F. Gómez, C. Erlich, and A. Martin, "Pelletization: an alternative for polygeneration in the palm oil industry," *Biomass Convers. Biorefinery*, no. deg C, May 2013.

[7] A.B. Nasrin, Y.M. Choo, W.S. Lim, L. Joseph, S. Michael, M.H. Rohaya, "Briquetting of Empty Fruit Bunch Fibre and Palm Shell as a Renewable Energy Fuel," *Eng. Appl. Sci.*, 2011.

[8] M. García Pérez and J. A. García Nuñez, "Nuevos conceptos para biorrefinerías de aceite de palma," *PALMAS*, vol. 34, no. 4, pp. 66–84, 2013.

[9] Z. Husain, Z. a. Zainal, and M. Z. Abdullah, "Analysis of biomass-residue-based cogeneration system in palm oil mills," Biomass and Bioenergy, vol. 24, no. 2, pp. 117–124, Feb. 2003.

Solicite la bibliografía completa en la dirección electrónica: jgarcía@cenipalma.org

cenipalma

Director: José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.
Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
Coordinación editorial: Yolanda Moreno Muñoz - Esteban Mantilla
Diseño y diagramación: ACE – Alianza en Comunicación Empresarial Ltda.
Impresión: Javegraf

Esta publicación contó con el apoyo de Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero