

Hacia el aprovechamiento energético de los raquis de palma en calderas de biomasa*

Towards the Energy Utilization of Palm Empty Fruit Bunch in Biomass Boilers

<https://doi.org/10.56866/01212923.13806>

CITACIÓN: Bayona-Roa, C., García-Navarro, J. G., Gacha, J. & Ricaurte, H. (2023). Hacia el aprovechamiento energético de los raquis de palma en calderas de biomasa. *Palmas*, 44(1), 51-64.

PALABRAS CLAVE: Calderas de biomasa, Combustión, Raquis de palma, Corrosión.

KEY WORDS: Boiler, Combustion, Palm Oil Empty Fruit Bunch, Corrosion

RECIBIDO: junio de 2022.

APROBADO: enero de 2023.

* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

BAYONA-ROA, CAMILO

Centro de Ingeniería Avanzada,
Investigación y Desarrollo (CIAID),
Bogotá, Colombia.

Autor para correspondencia:
cbayona@ciaid.co

GARCÍA-NAVARRO, JUAN GUILLERMO

Centro de Ingeniería Avanzada,
Investigación y Desarrollo (CIAID),
Bogotá, Colombia.

GACHA, JEISSON

VR Ingeniería, Bogotá, Colombia.

RICAUORTE, HÉCTOR

VR Ingeniería, Bogotá, Colombia

Resumen

Quemar raquis de palma (también llamado tusa) en las calderas de biomasa trae consigo la superación de distintos problemas tecnológicos asociados a ese biocombustible. En particular, el alto contenido de potasio, fósforo y cloro son elementos potencialmente perjudiciales por la corrosión que generan en las superficies de transferencia de calor. En este artículo se discute cómo superar las problemáticas tecnológicas para que las calderas generadoras de vapor y

electricidad en plantas de beneficio de aceite de palma puedan operar quemando raquis que anteriormente no se usaba en la generación de energía en la industria. Estas consideraciones, aunque técnicas, se orientan a mejorar la sostenibilidad y la competitividad de la agroindustria de la palma de aceite.

Abstract

Burning palm oil empty fruit bunches in biomass boilers involves overcoming several technological problems. In particular, the high content of potassium, phosphorus and chlorine are potentially harmful elements due to the corrosion they generate on heat transfer surfaces. This article discusses how to overcome the technological problems so that steam and electricity in palm oil processing plants can be produced from burning stems that were previously not used in energy generation in the industry. These considerations, although technical, are aimed to improve the sustainability and competitiveness of the palm oil agro-industry.

Introducción

Entre las plantaciones más atractivas en la región para la generación de energía a partir de la biomasa se encuentra la palma de aceite, que es el segundo cultivo más importante en términos de extensión en Colombia. Durante 2021, el país contó con una producción de aceite de palma crudo (APC) de 1.747.377 t (Fedepalma, 2022). Un incremento proporcional ocurrió en la producción de residuos generados en el proceso de extracción y beneficio del aceite, entre ellos, las tusas o raquis (20 %), la fibra del fruto (13 %), el cuesco o cáscara de las almendras (7 %), así como las cenizas producidas por las calderas de biomasa que operan en las plantas de beneficio (García-Núñez *et al.*, 2006). Estos residuos representan entre el 70-74 % de la biomasa de la palma procesada (Pérez y Lopez, 2019). Aparte del aprovechamiento energético de la fibra y cuesco como combustibles en las calderas para producción de vapor y electricidad, los raquis se consideran residuos y, en contadas ocasiones, un elemento para mejorar el suelo en las plantaciones o como materia prima para la producción de fertilizantes. Sin embargo, el uso convencional que se le ha dado como acondicionador del suelo no es muy atractivo debido al alto costo de su transporte (García-Núñez *et al.*, 2006).

En aras de mejorar el aprovechamiento de los subproductos del proceso de la palma de aceite, la industria ha buscado utilizar los raquis como materia prima de otros procesos. Desde el siglo pasado se ha planteado la posibilidad de usarlos para otras aplica-

ciones como la producción de biocombustibles y la de pulpa de papel de celulosa, entre otros (Van Dam, 2016). Distintos procedimientos y tecnologías de conversión termoquímica se han intentado y explicado en mucha literatura para lograr su aprovechamiento energético, algunas de estas son la pirólisis, el desmenuzado químico y la conversión hidrotérmica. Sin embargo, pocas alternativas son tan factibles económicamente como la combustión en calderas de biomasa para la operación de las plantas de beneficio (Chiew y Shimada, 2013; Serrano, 1995). De esa manera se incrementaría en 29 % la energía aprovechada por la industria de la palma de aceite, como se demuestra en la Tabla 1. En esta, se presentan las toneladas y el potencial energético anualizado para los tres tipos de combustibles (raquis, fibra y cuesco de palma). Adicionalmente, se ha explicado (Serrano, 1995) la posibilidad de obtener una rentabilidad mayor de la palma de aceite si el raquis reemplazara la fibra como combustible principal de las calderas, y la fibra se aprovechara solamente en la producción de concentrados para la alimentación de bovinos y porcinos. De esta manera es posible usar al máximo, inclusive completamente, los residuos generados en la cadena de producción del aceite de palma. Esto permitiría una producción más limpia y favorable con el medio ambiente, siendo biomasa renovable y carbono neutral debido a su corto tiempo de regeneración, es decir, que incorpora con relativa rapidez en las plantaciones el dióxido de carbono producido en la combustión. A nivel general esto se traduce en el desarrollo sustentable y energéticamente eficiente.

Tabla 1. Incremento energético, incluyendo el raquis de palma de aceite en la combustión de calderas (basado en Van Dam, (2016)).

	Toneladas anuales de residuos	Potencial energético (GJ)
Raquis	646.529	11.799.163
Fibra de palma	716.425	14.113.564
Cuesco de palma	463.055	15.044.916
Total energía sin raquis		29.158.480
Total energía con raquis		40.957.643
Porcentaje de incremento energético quemando el raquis en las calderas de biomasa		28,81 %

Cálculos basados en la producción colombiana de 2021, según (Fedepalma, 2022).

Para aprovechar energéticamente los raquis de la palma de aceite, se deben superar algunas limitaciones tecnológicas que se presentan en las calderas de biomasa. En comparación con los combustibles fósiles, el raquis posee un contenido energético importante relacionado con su composición de oxígeno e hidrógeno. Sin embargo, cuenta también con altos contenidos de metales alcalinos como el potasio (K) y el sodio (Na), y no metálicos como el fósforo (P), además de cloro (Cl), que son problemáticos en contacto con los elementos mecánicos de calderas y otros equipos térmicos (Pérez y López, 2019). Particularmente, esa composición química tiende a formar depósitos de ceniza dentro de la caldera y así, causa una disminución en la transferencia de calor, pero especialmente corrosión, erosión y abrasión de los componentes metálicos. La gran cantidad de minerales alcalinos presentes en el raquis disminuye el punto de fusión de las cenizas y aumenta su potencial corrosivo en componentes de la caldera fundamentales para la transferencia y el aprovechamiento de la energía del combustible.

Solucionar este problema tecnológico es trascendental para el sector de la palma de aceite en Colombia, pero también para países tropicales (García-Núñez *et al.*, 2006), pues su agroindustria tiene como denominador común una baja inversión en proyectos de investigación y desarrollo, lo cual repercute en la poca apropiación de soluciones particulares; a excepción de Tailandia y Malasia (Madhiyanon

et al., 2012; Ngamsidhiphongs *et al.*, 2021; Srasri *et al.*, 2022), donde se ha presentado el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento energético de raquis de palma, enmarcados, por ejemplo, dentro de The Malaysian Palm Oil Board (MPOB) (Loh, 2017; Taishan Group, 2017).

Trabajos similares para la combustión de madera o residuos urbanos se han abordado en países desarrollados. Los documentos publicados en Galindo-García *et al.* (2012) y Nielsen *et al.* (2000) demuestran la posibilidad de superar problemáticas similares. En Colombia se han realizado algunos estudios para evaluar el desempeño de calderas que funcionan con biomasa, como es el caso de Carvajal Díaz (2018) o de Albarracín-Becerra *et al.* (2019) en los que se diseña un sistema de cocombustión entre biomasa (palma de aceite) y biogás en una caldera. Sin embargo, hay una literatura limitada en el campo del rediseño de calderas de biomasa en el país, en la que se destacan el diseño del sistema de distribución de aire para la combustión de bagazo de caña de azúcar en una caldera (Villamil Franco y Cuartas Ramos, 2017) o el diseño experimental de un prototipo de caldera (Betancourt Prisco y Ospina Berrío, 2010). Aún no se han publicado estudios técnicos con argumentación cuantitativa (Bayona, 2011) sobre la evaluación de la forma del hogar de combustión, ni de las condiciones de operación de la combustión (Hernández *et al.*, 2018). La baja implementación de este tipo de proyectos se debe en gran parte a la réplica

de las técnicas de diseño y fabricación tradicionales y al desconocimiento por parte de los inversionistas de los beneficios técnicos, ambientales, económicos y fiscales en cuanto al diseño y fabricación de equipos térmicos propios para la agroindustria local.

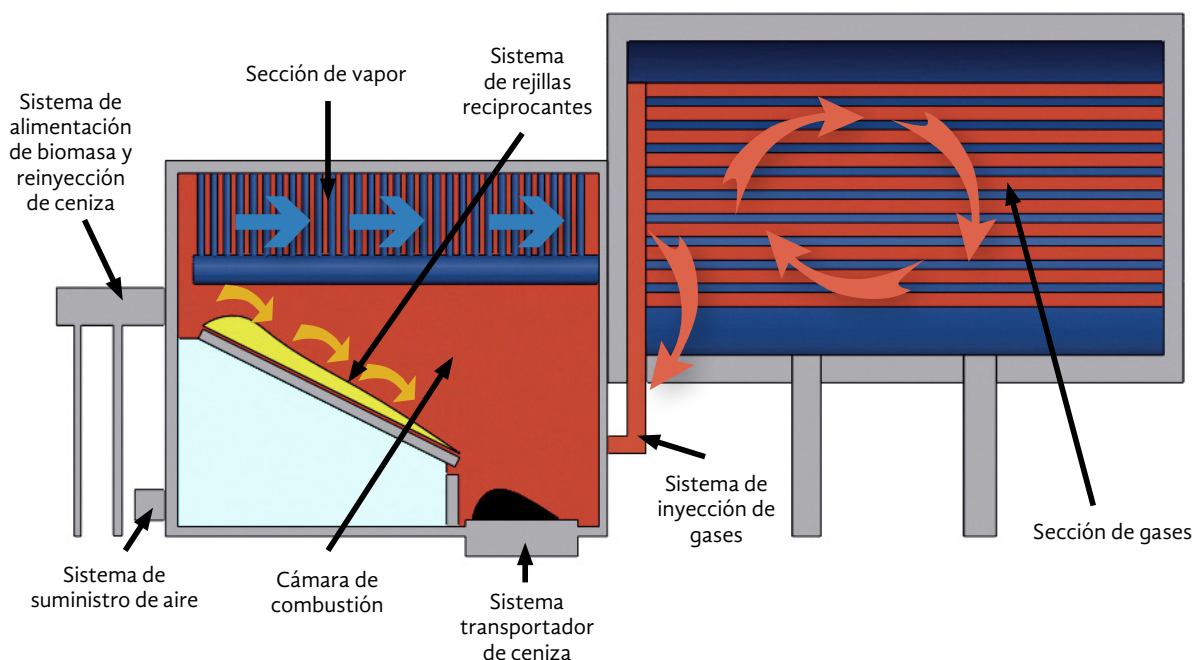
Este artículo analiza la factibilidad de diseñar y fabricar una caldera de biomasa que pueda operar aprovechando los raquis de palma de aceite como combustible. Es así como, resulta atractivo mejorar la comprensión de las consecuencias de la combustión del raquis de palma, pues si se gestiona correctamente, su uso energético puede llegar a ser tecnológicamente viable en un futuro cercano. Este estudio analiza sistemática y detalladamente el estado del arte de la combustión del raquis y sus efectos en las calderas. Los análisis abarcan desde su composición química hasta los mecanismos físico-químicos dentro del hogar de combustión causantes de los problemas tecnológicos. Como resultado de este entendimiento, se plantean soluciones para mejorar la eficiencia térmica y evitar posibles fallas estructurales causadas por la corrosión. Específicamente, se proponen diseños novedosos de calderas de biomasa

que permitan quemar los raquis actualmente desaprovechados energéticamente por la agroindustria de la palma de aceite.

Entendimiento de los problemas tecnológicos asociados a la combustión de los raquis de la palma de aceite

Las calderas de biomasa usadas en las plantas de beneficio de aceite de palma están típicamente compuestas por un sistema de alimentación de biomasa, un sistema de suministro de aire, el hogar de combustión, un lecho fijo que soporta el combustible dentro del hogar de combustión, así como distintas secciones de intercambio de calor (sobrecalentadores, evaporadores, economizadores y precalentadores de aire). Un diseño tradicional se presenta en la Figura 1. El objetivo general de una caldera es aprovechar la mayor cantidad de energía térmica generada durante la combustión y transferirla hacia otro fluido de trabajo en el evaporador y sobrecalentador, que usualmente es vapor de agua.

Figura 1. Esquema de una caldera de biomasa



Un componente crucial en la combustión de biomasa es el lecho sobre el cual se distribuye el combustible dentro del hogar, el cual se compone tradicionalmente de una parrilla transportadora. A medida que ocurre la combustión de la biomasa, las cenizas y los residuos son transportados por la parrilla hasta el final de la cámara de combustión, y luego caen en el sinfín de cenizas que son retiradas de la cámara de combustión. El aire de combustión se divide en dos partes: aire primario y secundario.

El aire primario (de combustión) se distribuye por debajo de las rejillas a través de los tubos, cada uno de los cuales desvía el aire hacia una zona particular de la cámara de combustión. Este aire propicia la volatilización de algunos componentes químicos del combustible, así como el secado de la biomasa con altos contenidos de humedad, del mismo modo sirve para refrigerar la parrilla. Los compuestos no volátiles permanecen en el carbón del combustible y pueden derretirse dependiendo de la composición química de los gases, así como de su temperatura. La mayoría de las partículas de ceniza permanecen en la parrilla, solo una fracción menor se arrastra por los gases de la combustión. En cuanto al aire secundario, este se suministra a través de boquillas situadas en la parte superior de la parrilla. Este completa la combustión de los volátiles y adecúa la temperatura de los gases de escape para su flujo a través de los intercambiadores de calor, mitigando humos, hollín y la generación de inquemados como el monóxido de carbono (Miles *et al.*, 1996).

Por falta de información técnica en la agroindustria de palma de aceite, han ocurrido experiencias en las cuales se han adecuado las calderas de fibra y cuesco de palma de aceite para su operación con raquis, lo cual ha producido fallas catastróficas en las calderas, especialmente la destrucción prematura de los sobrecalentadores, incluso cuando mezclaban solo un 20-30 % en peso de raquis de palma con la mezcla de combustible de fibra de palma y cáscara de palma (Madhiyanon *et al.*, 2012). Esto se explica por combustiones que no tienen en cuenta las características químicas del combustible en el diseño de los componentes de las calderas. Comúnmente, se han presentado los siguientes inconvenientes a nivel operacional cuando se ha quemado el raquis de palma en calderas de biomasa:

1. Un primer problema está relacionado con el manejo y transporte del raquis hacia la caldera. Esto es relevante por su forma característica, pues el

racimo direccionado se engancha fácilmente entre sí, obstruyendo su tránsito hacia la caldera; además, esta misma forma propicia una combustión parcial de la biomasa. Operaciones adicionales de transporte, acondicionamiento y homogenización de los raquis son necesarias para alimentar el hogar de combustión con esta biomasa. Del mismo modo, el uso de parrillas reciprocan-tes escalonadas ha sido una solución efectiva para reducir estos problemas (Lakshmanan, 2021).

2. Un segundo problema tiene que ver con los altos contenidos de humedad de los raquis de palma (mayores a 50 %). Parte de la energía liberada en la combustión se debe destinar a la evaporación de esta humedad inicial (mucho más alta que en la fibra y cuesco) y no al calentamiento del fluido de trabajo en los intercambiadores de calor. Además, se generan humos en la combustión que se mitigan con un exceso de aire muy alto para los actuales estándares de eficiencia.
3. Un tercer problema es el empobrecimiento de la combustión debido a la aglomeración de la ceniza sobre el combustible en las parrillas. Las capas apelmazadas de ceniza impiden los procesos de volatilización y combustión al aislar los hidrocarburos del aire de combustión. Las malas características de la combustión conducen a un rendimiento desigual y a paradas no programadas de la caldera en caso de no contar con limpieza automática del hogar (Srasri *et al.*, 2022). Otro efecto nocivo de esta problemática es la inestabilidad de la llama de combustión. Esto afecta la distribución de los gases y la integridad de la parrilla al generar depósitos de escoria únicamente en los lugares de alta temperatura.
4. Un cuarto problema se relaciona con el arrastre de ceniza por los gases de combustión. Esta, tiene bajos puntos de fusión, lo cual permite su arrastre inicial en forma de aerosoles, pero también su solidificación y depósito en lugares apartados del hogar. Esta deposición es más probable en lugares donde las partículas flotantes impactan una superficie de baja temperatura, como en los intercambiadores de calor o sus placas piro-tubulares, primero erosionando mediante un proceso abrasivo y posteriormente adhiriéndose a ellas. La formación de capas de ceniza en las paredes de intercambio de calor aumenta la temperatura de los gases circundantes, reduciendo la eficiencia del