

LA PALMA DE ACEITE, UNA AGROINDUSTRIA EFICIENTE, SOSTENIBLE Y MUNDIALMENTE COMPETITIVA

# PALMAS



Cultivo

Valor agregado

Sostenibilidad

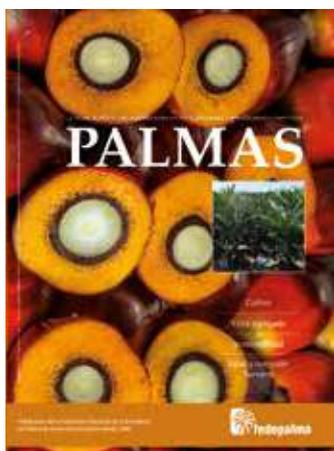
Salud y nutrición  
humana



CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

Calle 98 No. 70-91  
Tel: 313 86 00  
www.fedepalma.org  
Bogotá D.C., Colombia

Esta publicación cuenta  
con el patrocinio del  
Fondo de Fomento Palmero



Fotografía: archivo Fedepalma

La revista Palmas no se hace responsable  
de las opiniones emitidas por los autores.

Incluida en el portal de revistas de  
la BVS de BIREME/OPS/OMS

Versión digital en OJS:  
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas>

Jens Mesa Dishington  
Presidente Ejecutivo de Fedepalma

### Editor

Andrés Felipe García Azuero  
Director de Planeación Sectorial y Desarrollo Sostenible

### Comité Editorial

Jens Mesa Dishington  
Boris Hernández Salame  
Jaime González Triana  
Juan Fernando Lezaca Mendoza  
Tatiana Pretelt de la Espriella

### Comité Científico

Álvaro Campo Cabal, *Ph.D.*  
Álvaro Silva Carreño, *Ph.D.*  
Carlos Beltrán Roldán, *M.Sc.*  
Fernando Munévar Martínez, *Ph.D.*  
Luis Eduardo Zapata Munévar, *Ph.D.*

### Coordinación Editorial

Leonardo Paipilla Pardo  
Martha H. Arango de V.  
Yolanda Moreno Muñoz  
Esteban Mantilla

### Diseño

Ximena Díaz Ortiz

### Diagramación

Fredy Johan Espitia B.

### Impresión

Javegraf

Cualquier utilización por terceros, de todo o parte del contenido de la revista Palmas, deberá ir acompañada de su nota bibliográfica y estar claramente referenciada (indicando en cada caso el nombre de la revista, volumen, número y año de edición).

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los artículos con fines comerciales.

# CONTENIDO

## EDITORIAL

---

- 6 Desempeño del sector palmero colombiano en 2018: retos y perspectivas en momentos de dificultades  
*Performance of the Colombian Oil Palm Sector in 2018: Challenges and Perspectives in Times of Hardships*

## CULTIVO

---

- 13 Requerimiento nutricional del híbrido interespecífico OxG en fase de vivero  
*Nutritional Requirement of Interspecific OxG Hybrid Plants during Nursery Stage*  
Luz A. Franco Valbuena, Tulia E. Delgado R., Álvaro H. Rincón Numpaqué, Diego Luis Molina L., Jorge Alonso Beltrán Giraldo, Mauricio Mosquera Montoya

## VALOR AGREGADO

---

- 24 Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite  
*Biomass Combustion: Concepts, Technologies and Applications in the Oil Palm Agroindustry*  
Juan Camilo Barrera Hernández, Nidia Elizabeth Ramírez Contreras, Jesús Alberto García Núñez
- 45 Validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en planta de beneficio  
*Assessment of a Methodology for Measuring the Performance of Electric Power Consumption in Palm Oil Mills*  
Anderson E., Guerrero Sánchez, Silvia Liliana Cala Amaya, Mauricio Mosquera Montoya, Juan Camilo Barrera Hernández, Cristhian Camilo Peña Mejía

## SOSTENIBILIDAD

---

- 58 Los mitos ambientales de la palma de aceite  
*Environmental Myths around Oil Palm*  
Yurany Dayanna Rivera Méndez, Hernán Mauricio Romero Angulo

## SALUD Y NUTRICIÓN HUMANA

---

- 69      Uso de aceite de palma, aceite de palmiste y sus fracciones en confitería  
*Usage of Palm Oil, Palm Kernel Oil and their Fractions as Confectionary Fats*  
Norazura Aila Mohd Hassim, Noor Lida Habi Mat Dian

## PUBLICACIONES DE LA FEDERACIÓN EN OTROS MEDIOS

---

- 84      Publicaciones de Fedepalma y Cenipalma en otros medios  
*Publications by Fedepalma and Cenipalma in other Media*

## ÍNDICES

---

- 87      Índice de revista Palmas, volumen 39, 2018

---

Cualquier utilización por terceros, de todo o parte del contenido de la revista Palmas, deberá ir acompañada de su nota bibliográfica y estar claramente referenciada (indicando en cada caso el nombre de la revista, volumen, número y año de edición).  
Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los artículos con fines comerciales.

---

PALMAS es una publicación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) fundada en 1980, de circulación trimestral a nivel nacional e internacional.

PALMAS es una revista de análisis especializada en la agroindustria de la palma de aceite con artículos sobre el desarrollo de nuevas tecnologías para el cultivo, el procesamiento y la extracción de aceite de palma, aspectos nutricionales del consumo de aceites y grasas, análisis de mercados y comercialización, así como el registro de los eventos gremiales de la Federación.

Está dirigida a todo el sector palmicultor, los gerentes, administradores y agrónomos de las plantaciones, a las entidades representativas del sector agropecuario en general, a los diferentes estamentos del gobierno, a las industrias de aceites y grasas, a los alimentos concentrados, a las industrias con aplicaciones no comestibles de los aceites de palma, y a los centros educativos y de investigación nacionales e internacionales. Circula, además, en países de América, Europa y Asia.

Se publican trabajos inéditos, resultados de investigación, artículos preparados con base en tesis de grado, informes o avances técnicos, artículos traducidos de otras publicaciones, ponencias de eventos, artículos de revisión.

Las opiniones expresadas en los artículos reflejan el pensamiento y opinión de los autores y no necesariamente los de Fedepalma.

El Comité Editorial se reserva el derecho de aceptar los artículos que se van a publicar, previa revisión por personal técnico y pares.

Los artículos deben cumplir con las normas editoriales elaboradas por Fedepalma. Todos los artículos serán sometidos a una corrección de estilo realizada por un experto.

## Nota para los autores: normas para la elaboración de artículos en Palmas

### Presentación de artículos

- Enviar un original en Word en medio digital a 12 puntos y doble espacio por medio del portal OJS de la Federación (publicaciones.fedepalma.org). Las tablas y figuras preferiblemente en Excel o su programa original.
- Todos los artículos deben incluir resumen en español y en inglés, y palabras clave en los dos idiomas.
- Los artículos científicos no deben exceder de 25 páginas.
- El nombre del autor debe indicar los dos apellidos cuando los use, y los datos de dirección, cargo y empresa en caso de que los tenga.
- Los títulos de primer orden deben ir en mayúsculas y negritas; los de segundo orden en minúsculas y negritas y los de tercer orden en cursivas.

### Para artículos científicos o técnicos la estructura debe ser la siguiente

- Título: debe ser corto, no debe exceder de 15 palabras, de lo contrario deberá incluirse un subtítulo. Se publica en español e inglés.
- Autores: colocar el primer nombre e inicial del segundo, primer apellido e inicial del segundo. La dependencia a que pertenecen y la dirección postal completa.
- Resumen en español e inglés: no debe superar las 250 palabras.
- Palabras clave: pueden colocarse hasta ocho palabras que faciliten el uso de los sistemas de catalogación y búsqueda de información por computador.
- Introducción: se define el problema por estudiar y se indica la importancia de la investigación. Con citas bibliográficas se sustenta la revisión de literatura sobre el tema.
- Materiales y métodos: se deben describir los detalles y características del sitio, materiales, técnicas, diseño experimental y análisis estadísticos.
- Resultados y discusión: es preferible presentarlos unidos. Los resultados deben describirse en forma concisa y utilizar tablas, figuras y fotografías. En la discusión se hará la evaluación de los resultados obtenidos y se relacionan con los resultados de otras investigaciones, sustentados con citas bibliográficas dentro del texto.
- Conclusiones: deben ser breves y corresponden a las recomendaciones, sugerencias e hipótesis nuevas. No debe repetir los resultados.
- Bibliografía: se debe limitar a la estrictamente necesaria y en relación directa con la investigación realizada. Todas las referencias listadas deben estar citadas en el texto. Se deben colocar en orden alfabético por apellido e incluyen: autor, año, título, número de edición, casa editora, lugar de publicación, número de páginas, siguiendo las normas de citación de la American Psychological Association (APA), sexta edición. En caso de ser publicación periódica se debe citar el nombre de la revista y entre paréntesis el país, volumen, número y páginas, si corresponde a una serie o colección.

---

Advertencia. Los contenidos de los avisos publicitarios de esta revista son atribuibles y responsabilidad exclusiva de los anunciantes o pautantes. Para interponer cualquier reclamación relacionada con los contenidos publicitarios insertados en la revista Palmas, pueden dirigirse a la siguiente dirección de correo electrónico [atencionalafiliado@fedepalma.org](mailto:atencionalafiliado@fedepalma.org) y desde allí se hará el contacto con el pautante.

---

## Editorial Policy for Palmas Journal

PALMAS is a publication of the National Federation of Oil Palm Growers (Fedepalma) founded in 1980, published quarterly with national and international circulation.

PALMAS is an analysis journal specialized in the oil palm agro-industry, with articles on the development of new technologies for cultivation, processing and extraction of palm oil, nutritional aspects of oils and fats consumption, market analysis and marketing, as well as the record of the trade association events of Fedepalma.

The journal is aimed at the entire oil palm sector, plantation managers, directors, and agronomists, the representative bodies of the agricultural sector in general, the different institutions of the government, the oils and fats industries, animal feed industry, industries with non-edible applications of palm oils, and national and international research and educational centers. It also circulates in countries of America, Europe, and Asia.

Unpublished works, research results, articles prepared on the basis of degree thesis, technical reports or advances, articles translated from other publications, papers from events, and review articles are published in this journal.

The opinions expressed in the articles reflect the view and opinion of the authors and not necessarily those of Fedepalma.

The Editorial Committee reserves the right to accept the articles to be published, after review by technical staff or peer review.

The articles must comply with the publishing guidelines established by Fedepalma and submitted to the Office of Publications of Fedepalma in digital form. All articles will be subject to proofreading by an expert.

## Note for the Authors: Guidelines for the Preparation of Articles in Palmas

### Articles Submission

- Submit an original in Word format 12 points and double space; tables and figures preferably in Excel. Submissions should be process via OJS through publicaciones.fedepalma.org
- All articles must have a summary in Spanish, and whenever possible in English, and keywords.
- Scientific articles should not exceed 25 double-spaced pages.
- Authors' name must indicate both surnames if used, and data of address, position and company in case of having them.
- First-order headings must be in upper case and bold; second-order in lower case and bold, and third-order in italics.

### For scientific or technical articles, the structure should be the following:

- Title: should be short, maximum 15 words, otherwise a subtitle should be included.
- Authors: place first name and middle initial, first surname and initial of the second; provide organizational affiliation and full postal address.
- Abstract should not exceed 250 words.
- Keywords: up to eight words can be placed to facilitate the use of modern computer-based systems for cataloguing and retrieval of information.
- Introduction: the problem to be studied is defined and the importance of the research is indicated. Literature review on the topic is supported with bibliographic citations.
- Materials and Methods: details and characteristics of site, materials, techniques, experimental design, and statistical analysis should be described
- Results and Discussion: It is preferable to present them together. Results should be described in a concise manner using tables, figures, and photographs. In the discussion, an evaluation of the results obtained will be done and related to other research results, supported with bibliographic citations within the text.
- Conclusions: they should be brief and correspond to the new recommendations, suggestions, and hypotheses. Do not repeat results.
- References: should be limited to the strictly necessary and directly related to the research done. All listed references should be cited in the text. They should be placed in alphabetical order by surname and include: author, year, title, issue number, publishing house, place of publication, page numbers, following the American Psychological Association (APA), sixth edition, referencing and style system. In the event of being a periodical publication, the name of the journal should be cited and in parenthesis the country, volume, number and pages if it corresponds to a series or collection.

## Desempeño del sector palmero colombiano en 2018: retos y perspectivas en momentos de dificultades

La palmicultura colombiana se ha venido consolidando como un sector líder del agro nacional, no solo por su importante dinámica productiva y su versatilidad comercial, sino también por su creciente compromiso con la sostenibilidad, proyectándose como una actividad con enormes potencialidades para generar prosperidad económica en armonía con el medio ambiente y con profunda responsabilidad social que, sin duda, logra transformar positivamente, con formalidad, inclusión y bienestar, los territorios del país en donde se encuentra.

Es innegable que el sector palmero colombiano ha tenido una dinámica importante, pero el 2018 fue un año difícil (coyuntura que se mantiene), principalmente por la caída en los precios internacionales, una moneda revaluada durante gran parte de 2018, el desorden en la comercialización local de la agroindustria como resultado de disposiciones regulatorias equivocadas y el comportamiento estable de la producción de aceite de palma crudo. Efecto de lo anterior, el valor de la producción del sector palmero (aceite de palma crudo y almendra de palma) registró una contracción de 9 % al pasar de \$ 3,7 billones en 2017 a \$ 3,4 billones en 2018.

La cotización Bursa Malasia (posición 3) para el aceite de palma crudo registró una caída de 9,2 % al pasar de USD 629 por tonelada en 2017 a USD 571 por tonelada en 2018. Este precio internacional de referencia alcanzó su mínimo histórico de los últimos 10 años, al llegar a USD 469 en por tonelada en noviembre de 2018.

En cuanto a la producción, aunque Colombia es el primer productor de aceite de palma de América y alcanzó un récord de 1.630.000 toneladas producidas en 2018, dicha cifra significó un leve incremento de 0,2 %, luego de experimentar un crecimiento histórico superior a 40 % en 2017. Esta estabilidad de la producción nacional se debe, entre otros, a los efectos rezagados del Fenómeno El Niño de 2015.

En el frente comercial, si bien el sector palmicultor mostró alza en sus exportaciones, las cuales representaron más de 53 % del total de la producción, ese aumento obedeció, en buena medida, a la pérdida de participación de la producción nacional en el mercado local como efecto del incremento de las importaciones.

Este fenómeno de aumento tanto de importaciones como de exportaciones de aceite de palma, obedeció, en primer lugar, a las distorsiones regulatorias derivadas de la fijación de precios de biodiésel por parte del Gobierno Nacional, que genera dos señales de precio de venta del aceite de palma en el mercado local; y en segundo lugar, a la crisis sanitaria y de productividad del Ecuador, sumado al hecho de que los precios de venta de aceite de palma en ese mercado no

reflejan su costo de oportunidad, con lo que las condiciones de venta del mercado colombiano se vuelven la mejor opción de colocación para la producción ecuatoriana.

La comercialización entonces se vio distorsionada por cuenta de una regulación pública equivocada, agudizada con la crisis de la palmicultura en Ecuador.

Colombia tiene condiciones naturales para desarrollar el agro, pero para que esto se materialice, no solo se requieren buenas perspectivas internacionales y una visión empresarial y agroindustrial para el desarrollo de las iniciativas productivas; resulta indispensable que reduzca su costo país y ofrezca condiciones adecuadas de competitividad.

En este marco, la Federación ha redoblado esfuerzos de cara a la representación y defensa de los intereses de los palmicultores y de esta importante agroindustria nacional, llevando a cabo, de la mano con su Junta Directiva, gestiones para la puesta en marcha de un paquete de medidas para normalizar la comercialización, fortalecer el mercado local y posicionar la imagen de la palmicultura colombiana en el mundo.

El sector palmero confía que, durante 2019, el Gobierno Nacional ponga punto final al desorden en la comercialización local del aceite de palma en Colombia, con la correcta lectura de la metodología del FEP Palmero dentro de la fórmula del Ministerio de Minas y Energía para el biodiésel de palma. Igualmente, la agroindustria de la palma de aceite espera que se reactive el avance en el Programa Nacional de Biodiésel, camino que le haría mucho bien a grandes ciudades del país que, como Medellín y recientemente Bogotá, vienen enfrentando problemas en calidad del aire.

El fortalecimiento del mercado local es un reto para el sector palmero y para la Federación. Aunque el aceite de palma es el aceite de Colombia, los consumidores nacionales lo conocen muy poco, pues por muchos años ha sido el ingrediente secreto en productos alimenticios y utilizado por su versatilidad en usos no comestibles, como el biodiésel de palma. Es por ello que Fedepalma ha venido desplegando una estrategia de promoción al aceite de palma en el mercado local, de tal manera que los consumidores finales e industriales conozcan las bondades alimenticias, nutricionales y de gran versatilidad que tiene el aceite de palma.

En el panorama internacional, donde el aceite de palma enfrenta grandes retos por cuestionamientos ambientales y sociales, Fedepalma, a partir de su compromiso irrestricto con la sostenibilidad, también viene trabajando en posicionar la palmicultura colombiana como “única y diferenciada” en virtud del carácter especial de su desarrollo, el cual se ha dado con impactos mínimos en deforestación, elevados estándares de formalización laboral e inclusión productiva, que ha generado verdaderas oportunidades de empresarización y emprendimiento para una buena parte de la Colombia rural.

Esfuerzos todos en los que venimos trabajando con el Gobierno Nacional y confiamos en su materialización, pero que sin duda deben complementarse con otros como mejorar la productividad, generar de valor con inclusión y avanzar en la consolidación de la palmicultura colombiana como referente en sostenibilidad a nivel global, tal como ha sido la apuesta con el Programa de Aceite de Palma Sostenible de Colombia.

El puerto al que hemos conducido a la palma de aceite colombiana, gracias al esfuerzo de la comunidad palmera, es prueba contundente de la capacidad permanente de este sector para reinventarse y continuar creciendo en valor. Nuevos horizontes nos esperan y la velocidad a la que podamos avanzar, dependerá de nuestra capacidad para desarrollarnos de forma altamente productiva y sostenible.

Extendemos una invitación a perseverar con el mayor empeño en estos momentos de dificultad y a que redoblemos esfuerzos para consolidar una agroindustria sostenible, productiva y competitiva, que le permita desarrollar las enormes oportunidades de negocio que brinda la cadena de valor de la palma de aceite, de cara a los mercados nacionales e internacionales. No tengan duda de que es posible lograrlo, en nuestra organización y nuestros productores contamos con el conocimiento, la tecnología, la empresarización y la decisión para ello.

## Performance of the Colombian Oil Palm Sector in 2018: Challenges and Perspectives in Times of Hardships

---

Oil palm cultivation has been consolidated as a leading sector of Colombian agriculture, not only for its significant productive dynamics and its commercial versatility but also for its growing commitment to sustainability. This agribusiness is projected as an activity with an enormous potential for creating economic prosperity in harmony with the environment and a profound social responsibility, leading the positive transformation of the territories where oil palm is grown, with formality, inclusion, and wellbeing.

There is no doubt that the Colombian oil palm agroindustry has had significant dynamics, but 2018 was a challenging year (a situation that is maintained), mainly because the fall in the international prices, a revaluated currency during most of 2018, a disorganized local trade of the agribusiness as a result of inappropriate regulatory provisions, and the stable behavior of the crude palm oil production. Due to the foregoing, the value of the production of the oil palm sector (crude palm oil and palm kernel oil) receded by 9%, going from USD 1.3 billion in 2017 to USD 1.1 billion in 2018.

Bursa Malaysia (position 3) quote for crude palm oil dropped by 9.2%, going from USD 629 per ton in 2017 to USD 571 in 2018. This international reference price reached its historical minimum for the last 10 years, USD 469 per ton in November 2018.

Regarding the production, although Colombia is the first producer of palm oil in the Americas and reached a record production of 1,630,000 tons in 2018, this number meant a slight increase of 0.2% after experimenting a historical growth of about 40% in 2017. This stability in the production is due to the lag effect of El Niño in 2015, among others.

From an economic perspective, although the exports of the oil palm sector grew, representing over 53% of the total production, this growth was mainly the result of the loss of participation of the national production in the local market, as a result of the growing imports.

This phenomenon of growing palm oil imports and exports is, chiefly, the result of (i) the regulatory distortions derived from the biodiesel prices fixed by the National Government, which creates two different palm oil sale price indicators for the local market; and (ii) the sanitary and productivity crisis in Ecuador, and the fact that the palm oil sale prices in that market do not reflect the opportunity cost, so the sale conditions of the Colombian market become the best option for placing the Ecuadorian production.

Therefore, the trade was distorted as a result of an inappropriate public regulation, enhanced by the crisis of the oil palm sector in Ecuador.

Colombia has natural conditions for the development of agriculture; however, this not only requires good international perspectives and an entrepreneurial and agro-industrial vision for the development of productive initiatives but also a reduction of its country cost and appropriate competitiveness conditions.

Furthermore, the National Federation of Oil Palm Growers of Colombia, Fedepalma, has doubled its efforts to represent and look after the interests of oil palm producers and this essential national agribusiness by performing, under the guidance of its Board of Directors, actions for the implementation of a set of measures to normalize palm oil products trading, strengthen the local market, and position the image of the Colombian oil palm industry in the world.

The oil palm sector is confident that, during 2019, the National Government will put an end to the disorder in the local trade of palm oil in Colombia with a correct reading of the methodology of the Price Stabilization Fund for Kernel, Palm Oil and their Fractions (FEP Palmero) as part of the formula of the Ministry of Mines and Energy for palm oil biodiesel. Likewise, the oil palm agribusiness expects the progress in the National Biodiesel Program to reactivate, which would benefit large cities such as Medellín and, more recently, Bogotá, which are facing air quality problems.

Strengthening the local market is a challenge for the oil palm sector and the Federation. Although palm oil is the leading oil in Colombia, national consumers barely know this product as it has been the secret ingredient in several food products for years and, thanks to its versatility, has been used for non-edible uses, such as palm biodiesel. Therefore, Fedepalma has been implementing a palm oil promotion strategy for the local market, so that the final and industrial consumers learn of the dietary, nutritional and versatility benefits of the palm oil.

On the international scenario, where palm oil is facing enormous challenges due to environmental and social claims, Fedepalma, based on its unrestricted commitment with sustainability, has also worked to position Colombian oil palm growing as “unique and differentiated” due to the particular characteristics of its development, which has been achieved with minimal impacts in deforestations and high standards of labor formalization and productive inclusion, creating real opportunities for entrepreneurship for a good portion of rural Colombia.

We have been working towards this goal along with the National Government and we expect to achieve its fulfillment in the short run. However, these should be complemented with other goals, such as improving the productivity, creating value with social inclusion, and advance in the consolidation of Colombian oil palm sector as a model in sustainability around the world. In this sense, the Program for Colombian Sustainable Palm Oil has been working towards this objective.

The port to which we have led the Colombian oil palm, thanks to the palm growing community, is overwhelming proof of the permanent capacity of this sector to reinvent itself, and to continue increasing its value. New horizons await for us, and the speed with which we can advance will depend on our capacity to grow in a highly productive and sustainable manner.

We extend an invitation to persevere with the utmost effort during these times of hardships and to redouble our efforts to consolidate a sustainable, productive and competitive agribusiness that allows developing the enormous business opportunities posed by the oil palm value chain in the national and international markets. Do not doubt that we can achieve all this. Our organization and our producers have the knowledge, the technology and the entrepreneurship boost to make it true.



**YKL**  
GRUPO  
DE EMPRESAS

**YKL ENGINEERING SDN. BHD.** (568547-U)  
**YTH AGRI-TECHNOLOGY SDN. BHD.** (820140-D)  
**PT. YKL INDONESIA**

Sede : Lot 663, Batu 10, Kampung Paya Panjang, Bukit Pasir, 84300 Muar, Johor, West Malaysia.

Tel : +606-9859 155 / 9859 076 / 9857 518 Fax : +606-9857 567 / 9857 576 Email : ykl@yklgroup.com.my Página web : www.yklgroup.com.my



Prensa de alta resistencia y alta capacidad para raquis

**Nuevo modelo**  
**KH-777-15**

**Función**  
Para la **recuperación de aceite**

**Capacidad**  
**15-18Mt** de raquis/hora

**Contenido de aceite en fibra**  
**1.2%-1.9%** en la muestra (base húmeda)

**Contenido de humedad**  
**45%-50%** (después de prensa)



Desmenuzadora de alta resistencia para racimos de fruta fresca



Separador de racimos duros y de racimos de dos pisos



Desfibadora de alta resistencia para raquis



Prensa de alta resistencia de la fibra de combustible de la caldera

**Nuevo modelo**  
**YTH-18**

**Mayor capacidad**  
Hasta **35Mt/día** en la primera prensada, **22Mt/día** en segunda presión, o hasta **20Mt/día** en una **sola** prensada !

**Mantenimiento sencillo**  
**Fácil** de desmontar y en **menor** tiempo.

**Mejor entorno de trabajo**  
Con el nuevo diseño, la máquina **produce menos ruido** y **menos vibraciones**

**Ahorro en costes**  
**Menor** consumo de **energía** mayor capacidad de equipo, por lo tanto **disminuye** el uso **mano de obra** y **bajan los costos de mantenimiento**

Máquina automática para prensar la semilla de palmiste



(M) Palmiste inc. - PT. 201-8089022



Máquina automática para prensar nueces



Filtro prensa para aceite crudo de palmiste



Extractor de martillo de alta resistencia / pulverizador



Máquina de pesaje de granos 50 - 200Mt / 200 - 600Mt

Fabricante y proveedor de : maquinaria pesada para molino de aceite de palma / equipo mecánico y repuestos  
Emprender proyectos tales como : planta de recuperación de aceite / planta de preparación de combustible de biomasa / planta para fibras largas / planta de preparación de compostaje / planta de trituración de almendra

## Requerimiento nutricional del híbrido interespecífico OxG en fase de vivero

Nutritional Requirement of Interspecific OxG Hybrid Plants during Nursery Stage

**CITACIÓN:** Franco-Valbuena, L. A., Delgado, T. E., Rincón-Numpaqué, A. H., Molina, D. L., Beltrán-Giraldo, J. A., Mosquera-Montoya, M. (2018). Requerimiento nutricional del híbrido interespecífico OxG en fase vivero. *Palmas*, 39(4), 13-23.

**PALABRAS CLAVE:** nutrición, fertilización, crecimiento vegetativo, *Elaeis oleifera*, *Elaeis guineensis*.

**KEYWORDS:** Nutrition, fertilization, vegetative growth, *Elaeis oleifera*, *Elaeis guineensis*.

**RECIBIDO:** agosto de 2017.

**APROBADO:** septiembre de 2017.

\* Artículo de investigación científica y tecnológica.

**LUZ A. FRANCO VALBUENA**

Auxiliar de investigación. División de Validación de Resultados de Investigación, Cenipalma

**TULIA E. DELGADO R.**

Asistente de investigación. Área de Suelos y Aguas, Cenipalma

**ÁLVARO H. RINCÓN NUMPAQUE**

Asistente de investigación. Área de Suelos y Aguas, Cenipalma

**DIEGO LUIS MOLINA L.**

Asistente de investigación. Área de Suelos y Aguas, Cenipalma

**JORGE ALONSO BELTRÁN GIRALDO**

Director de Extensión, Cenipalma

**MAURICIO MOSQUERA MONTOYA**

Coordinador de la División de Validación, Cenipalma  
mmosquera@cenipalma.org

### Resumen

Se estimó que para 2016 en Colombia había 64.418 hectáreas sembradas con cruzamientos OxG, cifra que corresponde a 13,3 % del área total cultivada con palma aceitera en el país para el mismo año. Algunos de estos cultivares han probado ser resistentes a la Pudrición del cogollo, por lo que se han convertido en una alternativa para resembrar áreas afectadas por esta enfermedad. A pesar de que muchos cultivadores consideran sembrar cruzamientos OxG, debe decirse que existen vacíos en lo que concierne a su manejo nutricional. Con el fin de arrojar luz acerca de su manejo nutricional, Cenipalma, en convenio con el Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI, por sus siglas en inglés), inició en 2011 trabajos orientados a determinar los requerimientos nutricionales en la fase de vivero de estos cruzamientos. Los resultados

de dicho trabajo indicaron que las plántulas de vivero requieren N (30 g), P (10 g), K (10 g) y B (0,5 g). Estos resultados fueron validados en un vivero de la Zona Norte, en el cual se seleccionaron 450 palmas como objeto de estudio. Las palmas se separaron en dos grupos: el primero recibió la dosis de nutrientes que resultó de la investigación de Cenipalma y el IPNI, mientras que el segundo recibió la dosis que las plantaciones suelen utilizar en sus viveros. Durante diez meses se monitorearon las variables de crecimiento vegetativo, contenido de materia seca y contenido nutricional en cuatro tejidos (raíz, bulbo, raquis y foliolos). Se utilizaron pruebas de diferencia de medias para hacer comparaciones estadísticas de las variables crecimiento vegetativo y materia seca. Con respecto al contenido de nutrientes, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis Foliar y de Suelos de Cenipalma, tras lo cual se pudo determinar que no se registraron diferencias significativas en las variables de interés. Sin embargo, los análisis de contenido de nutrientes indicaron una mejor absorción de nutrientes en las palmas tratadas con las dosis sugeridas por Cenipalma y el IPNI. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de costos que permitió identificar un ahorro al utilizar la dosis sugerida por Cenipalma y el IPNI. Dicho ahorro obedece a un menor gasto en fertilizantes como resultado de una reducción de 27 % en el uso de este tipo de productos. Por último, se determinó que el ahorro total de la fase de vivero es de 7 % cuando se utiliza la dosis sugerida por Cenipalma y el IPNI, hecho que resultan de interés para las empresas que desarrollan y comercializan plántulas.

## Abstract

According to estimates, in 2016 Colombia had 64,418 hectares planted with OxG oil palm crossings, which accounted for 13.3% of the total area planted with oil palm trees in the country. Some of these crossings have proven to be resistant to bud rot, thus becoming an alternative to replant oil palm plantations in areas affected by this disease. Even though many oil palm growers are considering OxG crossings for cultivation, there is a lack of knowledge about their nutritional requirements that needs to be addressed. With the aim of shedding some light on the nutritional requirements of OxG crossings, in 2011 Cenipalma and the International Plant Nutrition Institute (IPNI) started doing research on the requirements of these crossings at nursery stage. Their results indicated that nursery palms require N (30 g), P (10 g), K (10 g), and B (0.5 g). These results were validated in an oil palm nursery at the Colombian Northern Zone, where 450 Coari x La Mé plantlets were selected for research purposes. These palms were separated into two groups: the first group was given the nutritional doses resulting from the research by Cenipalma and IPNI; while the second received the doses usually applied by growers at their plantations. Palms from both groups were monitored during ten months to observe their vegetative growth, dry matter, and nutrient content at four tissues (roots, bulb, rachis and leaflet). Statistical comparisons for vegetative growth and dry matter were carried out using mean difference tests. Regarding nutritional content, samples were sent to Cenipalma's Foliar and Soil Analyses Lab. Results indicate there are no statistical differences on the means of the variables of interests; however, greater absorption of nutrients was observed in plantlets treated with the doses suggested by Cenipalma and IPNI. In addition, costs estimations analyses allowed determining savings when using the doses suggested by Cenipalma and IPNI, which come from a lower expense on fertilizers as a result of a 27% reduction in the use of these products. Finally, a 7% economic saving during the whole nursery stage was estimated when the doses recommended by Cenipalma and IPNI are used. This result is of great interest for companies dedicated to grow and sell plantlets.

## Introducción

En la última década se ha venido incrementando la siembra de diferentes cultivares de híbrido interespecífico (*E. Oleifera* x *E. guineensis*) en Colombia. Este fenómeno se ha dado como respuesta a la enfermedad de la Pudrición del cogollo (PC), puesto que algunos cruzamientos del híbrido OxG han mostrado resistencia al ataque de la misma (Martínez, Zúñiga, & Sarria, 2014.). Para 2016 se reportó que en Colombia había sembradas 483.743 hectáreas en palma de aceite (Sispa, 2017), de las cuales se estima que 13,3 % (64.418 hectáreas) corresponde a siembras de híbrido OxG.

Algunos cruzamientos OxG han sido objeto de investigaciones encaminadas a su caracterización morfológica, encontrando que este tipo de cruzamiento presenta mayor proporción de materia seca (35-40 %) y mayor producción de racimos de fruta fresca (RFF) (Meunier, 1991; Torres, Rey, Gelves, & Santacruz, 2004; Zambrano, 2004) que otras especies de palma de aceite. A partir de lo anterior, se dedujo que estos cruzamientos podrían tener un requerimiento nutricional superior al de *E. guineensis*. En efecto, esto suele evidenciarse en plantaciones comerciales, donde comúnmente se utiliza una cantidad 30 % superior de nutrimentos con respecto a las dosis empleadas en plantaciones de *E. guineensis* (Ruíz *et al.*, 2015). Lo anterior se debe, en gran medida, al poco conocimiento en lo que respecta al manejo del híbrido OxG.

Con el fin de establecer si esta práctica es apropiada, desde 2010 el Programa de Agronomía de Cenipalma, en convenio con el Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI, en inglés), ha desarrollado

trabajos orientados a determinar los requerimientos nutricionales de dos cruzamientos de híbrido Coari x La Mé y Oleifera x Mongana en las zonas palmeras Oriental y Suroccidental de Colombia. En estas investigaciones se han evaluado diferentes dosis de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y boro (B) con el objetivo de generar curvas de respuesta a las aplicaciones, así como estimar los efectos de los nutrimentos aplicados y sus interacciones en las diferentes etapas del cultivo (vivero, inmadura y productiva). Como primer resultado, en 2011 Cenipalma entregó los requerimientos en nutrición de los elementos N, P, K y B para la etapa de vivero a 10 meses. Allí se indicó que cada plántula puede nutrirse con 30 g de N, 10 g de P, 10 g de K y 0,5 g de B, dosis que corresponden en 50-75 % a las cantidades comúnmente recomendadas para materiales OxG.

En este artículo se presentarán los resultados obtenidos en el trabajo de validación en un vivero de palma de aceite en el cual se aplicaron las recomendaciones nutricionales sugeridas por el programa de Agronomía de Cenipalma.

## Materiales y métodos

### Ubicación y cruzamiento seleccionado

En la Tabla 1 se detallan las características de la Zona Norte, región donde se estableció el trabajo de validación en el vivero del Campo Experimental Palmar de la Sierra (CEPS). Las evaluaciones se realizaron en un cultivar Coari x La Mé.

**Tabla 1.** Ubicación y características climáticas del Campo Experimental Palmar de la Sierra.

Parámetro	Característica
Región	Zona Norte
Municipio (departamento)	Zona Bananera (Magdalena)
Coordenadas	10°44'48.90" N 74°06'43.20" O
Altitud*	36 m.s.n.m.
Temperatura promedio*	30 °C
Humedad relativa*	79 %
Radiación solar*	284 W/m <sup>2</sup> .s
Precipitación promedio anual*	1.689 m.m.

\* Datos obtenidos de <http://geoportal.cenipalma.org/>

## Trasplante a vivero

Se seleccionaron 450 plántulas de previvero con tres meses de edad, sin anomalías, con un desarrollo morfológico adecuado y sin síntomas de enfermedades. Las palmas seleccionadas fueron trasplantadas a bolsas de vivero de polietileno (45 cm de alto por 28 cm de diámetro) con perforaciones en el tercio inferior para facilitar el proceso de drenaje. Las características del sustrato empleado se detallan en la Tabla 2.

## Tratamientos y aplicación

Las plántulas sembradas en el vivero principal fueron divididas en dos grupos iguales. A partir del segundo mes a cada grupo se le aplicó uno de los siguientes tratamientos: dosis comercial (Tratamiento 1) o dosis Cenipalma (Tratamiento 2), como se muestra en la Tabla 3. Cabe resaltar que la dosis de fertilizantes se fraccionó en aplicaciones quincenales durante 10 meses.

**Tabla 2.** Características del sustrato utilizado para llenado de bolsas en vivero.

Parámetros	Unidades	CEPS
pH del suelo	-	6,40
M.O.	%	27,30
cic	cmol(+)/kg	14,20
S	mg/kg	16,34
B	mg/kg	0,69
Cu	mg/kg	0,49
Fe	mg/kg	16,85
Mn	mg/kg	43,61
Zn	mg/kg	11,80
Saturación de K	%	16,24
Saturación de Ca	%	48,37
Saturación de Mg	%	34,14
Saturación de Na	%	1,24
Saturación de Al	%	0

**Tabla 3.** Dosis de fertilizantes aplicadas por palma en etapa de vivero en el trabajo de validación del plan nutricional de híbridos interespecíficos OxG.

Nutrimentos	Dosis Cenipalma	Dosis Comercial	% Disminución en fertilización
	g/plántula (10 meses)		
N	30	38	21
P	10	17	41
K	15	31	52
B	0,5	1	50

Fuente: Cenipalma (2013).

## Variables de respuesta

Se seleccionaron al azar 20 palmas por tratamiento, las cuales fueron sometidas a un proceso de evaluación al inicio del experimento y cada tres meses, llevando registro de su desarrollo y crecimiento vegetativo de acuerdo con las metodologías ajustadas por el Programa de Biología de Cenipalma, descritas a continuación:

- **Emisión foliar:** al momento del trasplante y cada tres meses se marcó la hoja más joven, la cual se constituye en la hoja de referencia. A partir de esta hoja se contaron las hojas formadas en el respectivo trimestre.
- **Diámetro de bulbo:** se midió la zona ecuatorial del bulbo de la palma utilizando la herramienta *Vernier*, comúnmente conocida como calibrador.
- **Longitud de hoja:** se midió en la hoja tres, tomando la distancia desde el punto de inserción del foliolo rudimentario más bajo hasta el ápice de la hoja.

## Muestreo destructivo

Después de 12 meses de evaluación se realizó un muestreo destructivo de diez palmas por tratamiento, las cuales fueron seleccionadas de manera aleatoria. Las palmas fueron separadas en raíz, bulbo, raquis y foliolos con el objetivo de determinar el contenido de materia seca y de nutrimentos en las diferentes estructuras de la planta. Para la separación de raíces se retiró la bolsa sin perder masa radical. Posteriormente, las raíces fueron cortadas desde la base del bulbo para luego separarlo del resto de la estructura. Las estructuras fueron lavadas con agua destilada para efectos de eliminar residuos de suelo. En las hojas se separaron los foliolos del raquis y la lámina de los foliolos de su nervadura central. La lámina foliar se limpió con agua destilada y un paño limpio para evitar la contaminación de la muestra. Seguido, las estructuras fueron dispuestas en un horno eléctrico durante 72 horas a una temperatura de 80 °C y posteriormente se registró el peso seco de cada una de las partes para determinar el peso seco total por palma.

Las muestras secas fueron enviadas al Laboratorio de Análisis Foliar y de Suelos de Cenipalma (LAFS)

para establecer el contenido nutricional de los tejidos. Mediante los protocolos del LAFS, se determinaron los contenidos de N y P por el método de colorimetría, el contenido de K a través de absorción atómica y el de B por colorimetría (Azometina H). Con los resultados foliares y edáficos obtenidos se determinó la eficiencia de aplicación de cada plan de fertilización, siguiendo lo propuesto por Fernández, Bohórquez, & Rodríguez (2016) y Prabowo *et al.* (2013).

## Análisis estadístico

El análisis de la información obtenida se realizó mediante estadística descriptiva y prueba *T de student*, utilizando el software Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4. Para el análisis estadístico se tuvo en cuenta un margen de error de 5 %.

## Resultados

### Mediciones de crecimiento vegetativo

Se realizó la comparación entre los tratamientos empleados (dosis comercial vs. dosis Cenipalma) con el objetivo de estudiar las variables relacionadas con el crecimiento vegetativo de las palmas. Este análisis comparativo se llevó a cabo a los 10 meses de haber establecido las palmas en el vivero principal.

Para visualizar la distribución de los datos, en las Figuras 1a, 2a y 3a se presentan diagramas de cajas que muestran la media de cada variable entre los tratamientos. Además, para evidenciar que no se presentaron diferencias significativas en las variables de crecimiento vegetativo, se exhibe el valor P " $P(T<=t)$ " de las comparaciones realizadas entre los tratamientos dosis comercial y dosis Cenipalma para cada uno de los tiempos evaluados. En resumen, las dosis de nutrientes aplicadas no generaron diferencias en el desarrollo de las palmas en vivero.

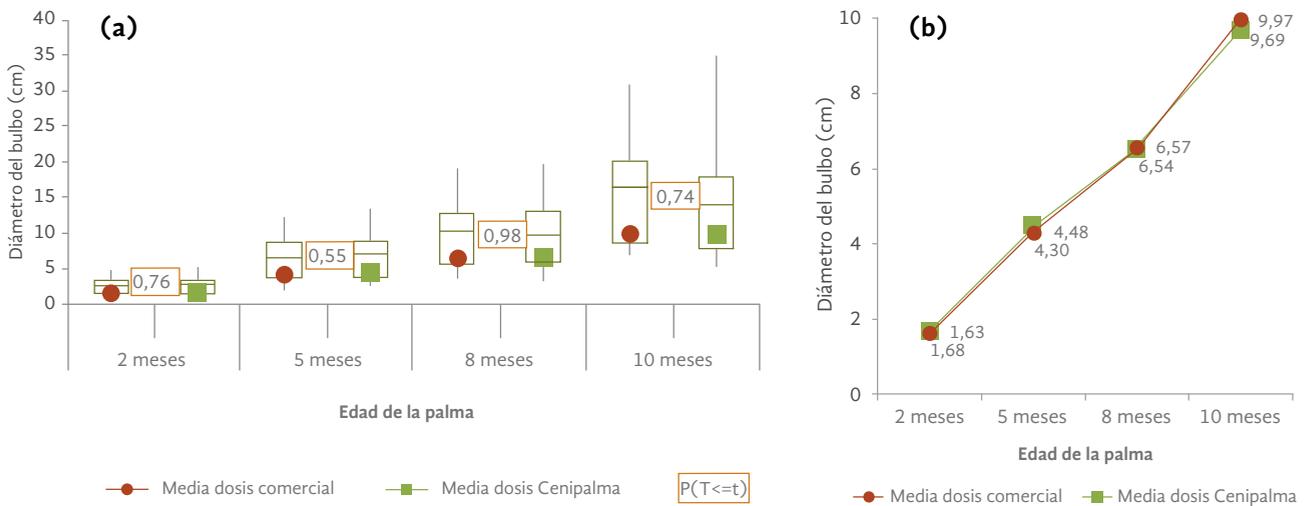
A la edad de 10 meses las palmas tratadas con dosis comercial presentaron un diámetro de bulbo de 9,97 cm, una longitud de la hoja número 3 de 61,14 cm y una emisión total de 21,35 hojas. Por otra parte, las palmas sometidas a la dosis Cenipalma registraron 9,69 cm de diámetro de bulbo, 54,58 cm de longitud de hoja número 3 y un total de 22,15 hojas emitidas al finalizar el trabajo de validación (Figuras 1b, 2b y 3b).

## Materia seca

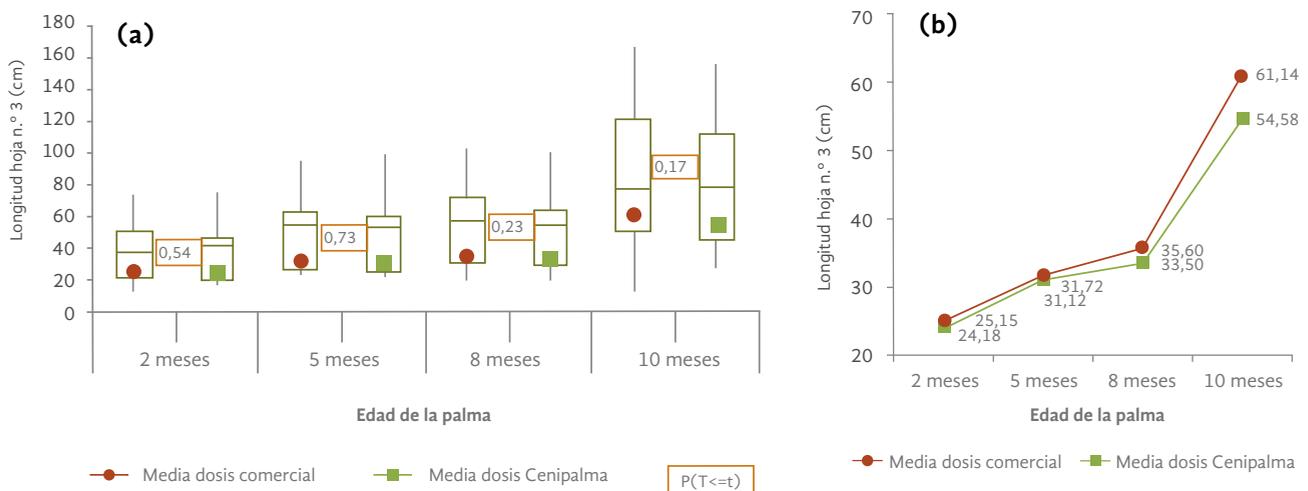
Para el contenido de materia seca por tejido evaluado (Figuras 4-8), la masa seca de las raíces (Figura 6) presentó diferencias significativas entre los tratamientos dosis comercial (326,04 g) y dosis Cenipal-

ma (152,70 g). Sin embargo, la materia seca total (Figura 8) no presentó diferencias significativas entre ambas dosis (1.104 g/palma comercial y 894 g/palma Cenipalma).

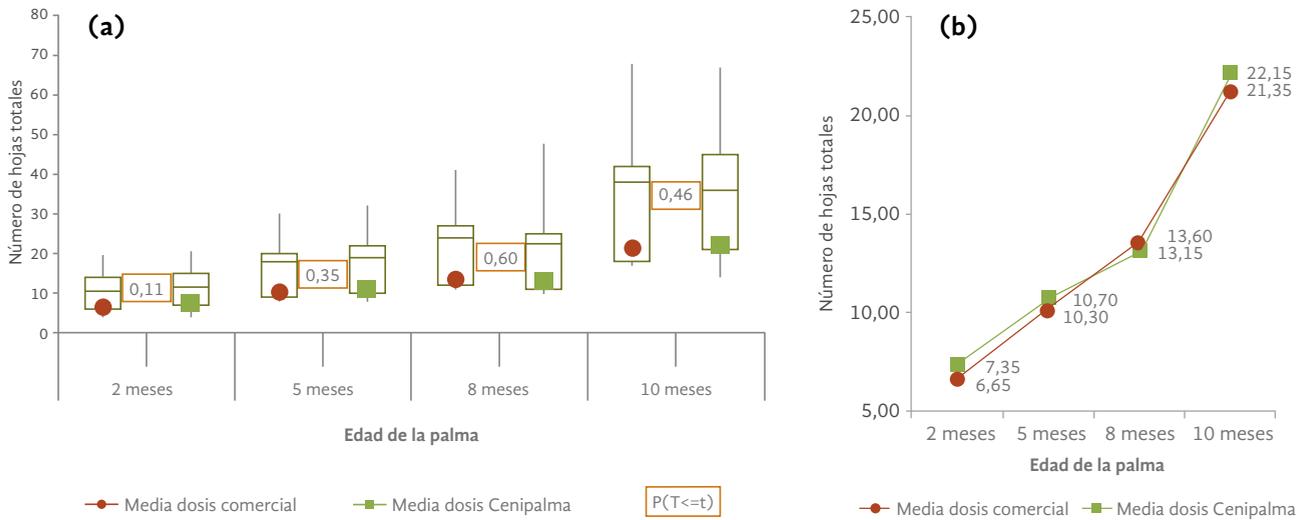
**Figura 1.** Diámetro del bulbo (a); diagrama de cajas (b). Media del crecimiento a través del tiempo.



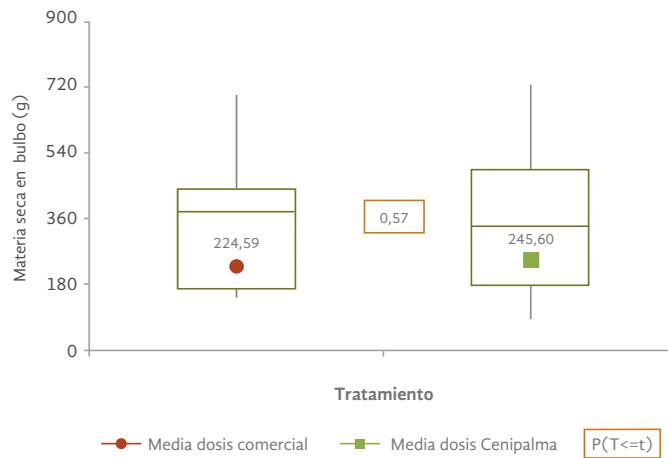
**Figura 2.** Longitud de la hoja número 3 (a); diagrama de cajas (b). Media del crecimiento a través del tiempo.



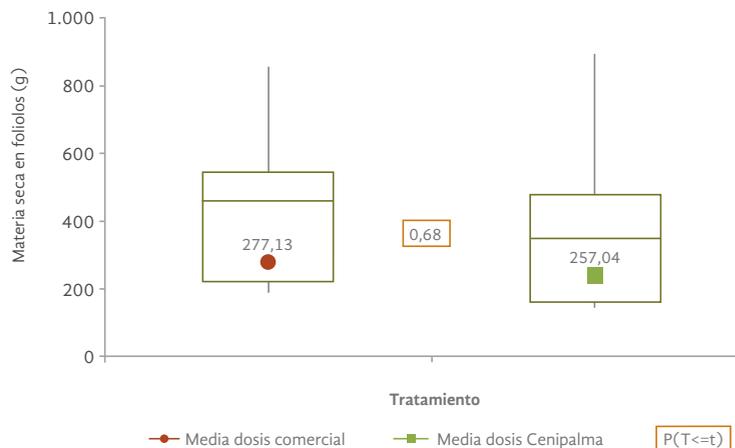
**Figura 3.** Número de hojas totales emitidas (a); diagrama de cajas (b). Media del crecimiento a través del tiempo.



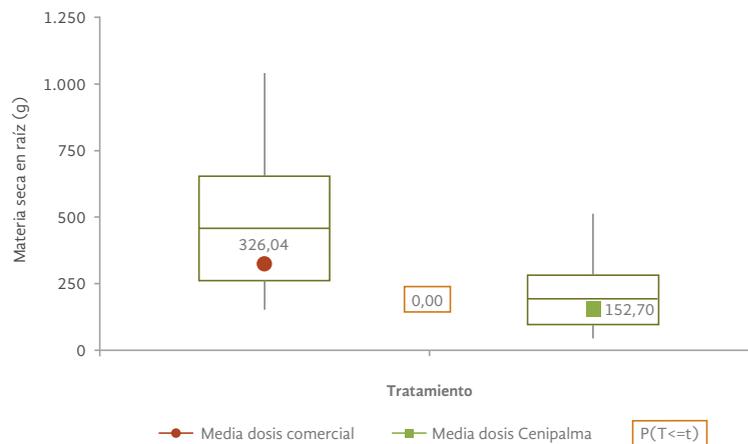
**Figura 4.** Diagrama de cajas del contenido de materia seca en el bulbo.



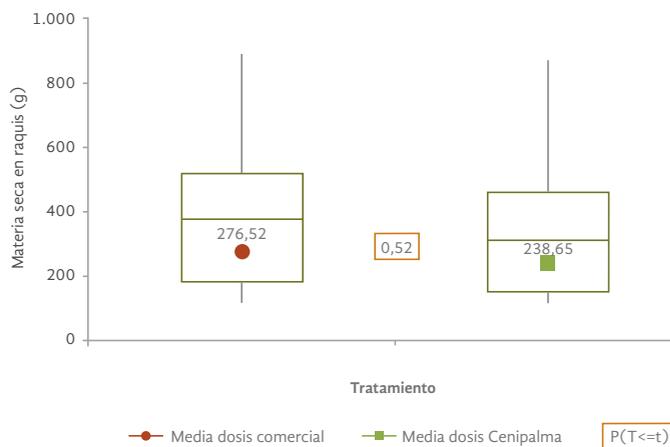
**Figura 5.** Diagrama de cajas del contenido de materia seca en los foliolos.



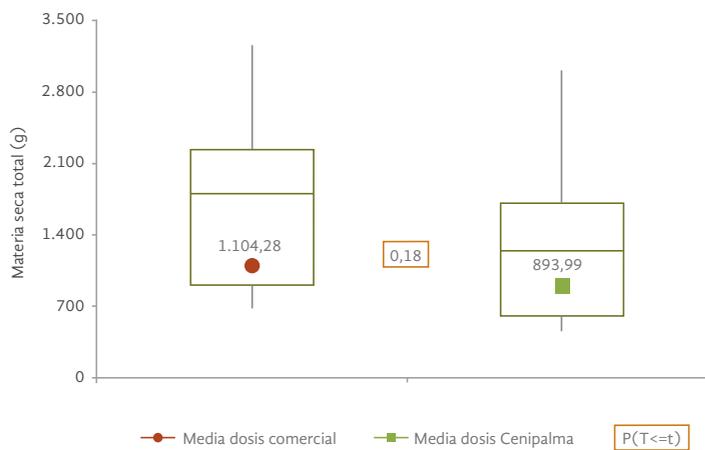
**Figura 6.** Diagrama de cajas del contenido de materia seca en la raíz.



**Figura 7.** Diagrama de cajas del contenido de materia seca en el raquis.



**Figura 8.** Diagrama de cajas del contenido de materia seca total en la palma.



## Análisis nutricionales

Los resultados de los análisis de laboratorio sobre el contenido de nutrimentos, que corresponden a las muestras obtenidas en el muestreo destructivo, indicaron que todos los órganos de las palmas tratadas con la dosis Cenipalma presentaron mayor o igual contenido de nutrimentos que la dosis comercial, a excepción del potasio (K) foliar, el cual fue el único que presentó un menor contenido. Con los resultados del análisis nutricional y el contenido de materia seca se estimó la eficiencia de absorción (EA), la eficiencia fisiológica (EF), la eficiencia de recuperación (ER) y la eficiencia agronómica (EAg) (Fernández *et al.*, 2016; Prabowo *et al.*, 2013).

Los resultados señalan que se obtuvo mayor EA, ER y EAg para los nutrimentos N, P, K y B en las palmas con dosis Cenipalma. Por su parte, la dosis comercial permitió obtener una mayor EF para N, P, K, y B (Tabla 4). Resultados similares se presentaron en investigaciones realizadas por Prabowo *et al.* (2013), quienes argumentan que la EF está ligada a las características de cada cultivar de palma de aceite y a los factores abióticos de su entorno, mientras que la ER depende del manejo agronómico, entre ellos la fertilización, lo cual se ve reflejado en la EAg.

## Costos

La estimación de costos de la fertilización edáfica para cada uno de los tratamientos permitió identificar que con la fertilización recomendada por Cenipalma se reduce el costo de los fertilizantes en 27,7 %. Sin embargo, al considerar la participación de estos

costos dentro del costo total de la labor (fertilizantes + mano de obra), la disminución en el costo de la labor es de tan solo 6 %. Lo anterior se debe a que la compra de fertilizantes solo participa con 20 % del costo total de la labor, mientras que la mayor participación corresponde a mano de obra (80 %). Específicamente, se reduce el costo en \$ 11.500 por las plántulas que se requieren para sembrar una hectárea de palma al considerar un descarte de 30 %.

Si bien esta cifra no representa un ahorro significativo en el análisis a largo plazo del cultivo, en lo relacionado con la etapa de establecimiento sí lo es, puesto que en la fase de vivero este rubro puede llegar a representar un 15 % del costo total. Por lo tanto, este es un resultado importante para aquellas empresas que se dedican al establecimiento de viveros.

## Conclusiones

En este trabajo se validaron los resultados de investigación del Programa de Agronomía de Cenipalma relacionados con la nutrición del híbrido interespecífico OxG en etapa de vivero, obteniendo palmas con un desarrollo vegetativo adecuado a través de la aplicación de las dosis recomendadas (30 g de N, 10 g de P, 15 g de K y 0,5 g de B), como se muestra en la Figura 9. Al no presentarse diferencias estadísticamente significativas para el crecimiento de las palmas se ratificaron los resultados obtenidos por el Programa de Agronomía, los cuales permiten comprobar que la aplicación de dosis más elevadas de fertilizantes no necesariamente conduce a maximizar el rendimiento o la eficiencia del cultivo de palma de aceite.

**Tabla 4.** Eficiencia de la aplicación del plan nutricional.

Eficiencias	N		P		K		B	
	Dosis Cenipalma	Dosis comercial						
De absorción	0,09	0,04	0,02	0,01	0,09	0,04	0,00006	0,00003
Fisiológica	66,71	91,71	320,94	370,94	67,55	80,68	93.204,87	113.186,58
De recuperación	0,45	0,32	0,28	0,18	0,88	0,44	0,02	0,01
Agronómica	29,80	29,06	89,40	64,96	59,60	35,62	1.787,98	1.104,28

Tras el trabajo de validación de esta investigación, se cuenta con una dosis de fertilizantes que se constituye en un punto de referencia para definir el plan nutricional de palmas procedentes del cruzamiento OxG considerando los contenidos nutricionales del sustrato utilizado en este estudio. Adicionalmente, los cambios en las dosis permiten generar un ahorro de 27,7 % en la compra de fertilizantes para la etapa de establecimiento del vivero. En este sentido, los resultados del presente trabajo se constituyen en una herramienta para ajustar las dosis de nutrición a aplicar en los

viveros de palma de aceite OxG teniendo en cuenta las condiciones específicas de cada uno de ellos.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Fondo de Fomento Palmero por la financiación de esta investigación y al personal del Campo Experimental Palmar de la Sierra y del Área de Economía Agrícola y Biometría de Cenipalma por sus valiosos aportes en el desarrollo de este trabajo.

**Figura 9.** Crecimiento vegetativo del cultivar Coari x La Mé con aplicaciones por planta de 30 g de N, 10 g de P, 15 g de K y 0,5 g de B (dosis Cenipalma).



---

## Referencias bibliográficas

- Centro de Investigación en Palma de Aceite [Cenipalma] (2013). *Informe de labores Cenipalma*. Bogotá: Fedepalma.
- Fernández, J. C., Bohórquez, W., & Rodríguez, A. (2016). Dinámica nutricional del cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 367-380.
- Martínez, G., Zúñiga, F., & Sarria, G. A. (2014). La hoja clorótica, un estado avanzado de la PC. *El Palmicultor*, 506, 19-20.
- Meunier, J. (1991). Una posible solución genética para el control de la Pudrición del cogollo en la palma aceitera. Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*. *Palmas*, 12(2), 29-42.
- Prabowo, N., Foster, H., Nelson, S., Sitepu, B., & Nelson, P. (2013). Uso práctico de la eficiencia fisiológica de la palma de aceite con respecto a la recuperación de nutrientes y la eficiencia agronómica en diferentes sitios de Sumatra. *Palmas*, 34(Especial, Tomo I), 221-242.
- Ruíz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D., & Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de la palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. *Palmas*, 36(4), 11-29.
- Sistema de Información Estadística del Sector Palmero [Sispa]. (2015). *Áreas en desarrollo y producción*. Recuperado de <http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/>
- Sistema de Información Estadística del Sector Palmero [Sispa]. 2017. *Áreas en desarrollo y producción*. Recuperado de <http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/>
- Torres, M., Rey, L., Gelves, F., & Santacruz, L. (2004). Evaluación del comportamiento de los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*, en la plantación Guaicaramo S.A. *Palmas*, 25(2), 350-357.
- Zambrano, J. E. (2004). Los híbridos interespecíficos *Elaeis oleifera* H.B.K x *Elaeis guineensis* Jacq. Una alternativa de renovación para la Zona Oriental de Colombia. *Palmas*, 25(2), 339-349.

## Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite\*

Biomass Combustion: Concepts, Technologies and Applications in the Oil Palm Agroindustry

**CITACIÓN:** Barrera, J. C., Ramírez-Contreras, N. E., & Garcia-Nunez, J. A. (2018). Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite. *Palmas*, 39(4), 24-44.

**PALABRAS CLAVE:** combustión, biomasa, palma de aceite, lecho fluidizado, lecho fijo.

**KEYWORDS:** Combustion, biomass, palm oil, fluidized bed, fixed bed.

**RECIBIDO:** agosto de 2018.

**APROBADO:** septiembre de 2018.

\* Artículo de investigación científica y tecnológica.

**JUAN CAMILO BARRERA HERNÁNDEZ**  
Auxiliar de investigación. Programa de  
Procesamiento, Cenipalma

**NIDIA ELIZABETH RAMÍREZ CONTRERAS**  
Asistente de investigación. Programa de  
Procesamiento, Cenipalma

**JESÚS ALBERTO GARCÍA NÚÑEZ**  
Coordinador Programa de  
Procesamiento, Cenipalma  
jgarcia@cenipalma.org

### Resumen

La combustión de la biomasa es un proceso esencial para la generación de la energía térmica demandada por las plantas de beneficio. Por lo tanto, tener claridad sobre los conceptos principales de este importante proceso es indispensable para gestionar un control eficiente en la operación de un sistema de combustión. Este artículo explica la definición de la combustión y la ruta de combustión de biomasa e identifica y describe las propiedades de la combustión: físicas, químicas, térmicas y minerales. Además, se exponen las generalidades de la combustión de lecho fijo, donde se presentan las configuraciones y tecnologías disponibles. Posteriormente, se realiza una revisión de la tecnología de lecho fluidizado, identificando tres referentes: lecho fluidizado circulatorio, lecho fluidizado burbujeante y lecho fluidizado presurizado. Se muestran las generalidades de

la combustión de combustible pulverizado, la cual es una tecnología habitualmente usada en co-combustión (*co-firing*). Se realiza un análisis comparativo entre las tecnologías estudiadas, resaltando las ventajas y desventajas de cada una de estas de acuerdo con sus principios de operación. Por último, se realiza una estimación de las oportunidades de mejora a través de la generación de excedentes de energía térmica, estableciendo eficiencias de combustión para diferentes flujos de fibra y cuesco.

## Abstract

Biomass combustion is an essential process for generating thermal energy required for palm oil mills operation. Therefore, clarity on the main concepts related for such process is essential in order to manage an efficient control in the operation of a combustion system. This paper addresses combustion-related concepts and the pathway for biomass combustion. In addition, properties of the combustion process are identified and described (*i.e.* physical, chemical, thermal, and mineral). Generalities of fixed-bed combustion are explained, where configurations and available technologies are also presented. Subsequently, a review of fluidized bed technology is made, identifying three main referents: circulating fluidized bed, bubbling fluidized bed, and pressurized fluidized bed. Generalities of pulverized fuel combustion, a technology commonly used in co-firing, are presented as well. Moreover, a comparative analysis between the studied technologies is carried out for highlighting their advantages and disadvantages according to their operating principles. Finally, by establishing combustion efficiencies for different fiber and shell flows, we develop an estimation of the improvement opportunities through the generation of thermal energy surpluses.

## Introducción

La biomasa se puede definir como energía solar acumulada en diferentes formas (Carbon Trust, 2008), es decir, materiales vegetales y animales, tales como maderas de bosques, cultivos, algas, materiales sobrantes de origen agroindustrial, procesos forestales y desechos animales y humanos (Carbon Trust, 2008; Hupa, Karlström, & Vainio, 2016; Pongrácz, 2011; Saidur *et al.*, 2011). Históricamente, la humanidad ha utilizado la biomasa como fuente de energía, pasando de la utilización de pequeñas cantidades de madera para la cocción de alimentos a la implementación de la biomasa en su conversión en energía térmica o eléctrica, e incluso en portadores energéticos como combustibles de alto poder calorífico (biocarbón, biogás o biocombustibles), usados principalmente en instalaciones industriales o residenciales (Wolf & Dong, 2013). Precisamente, el método de conversión más antiguo y común usado para el aprovechamiento de la energía fija en la biomasa es por medio del

proceso de combustión, el cual se define como una reacción química en la que se oxida un combustible y se libera una gran cantidad de energía (Cengel & Boles, 2011).

Por décadas, la combustión de la biomasa ha sido la ruta de obtención de la energía requerida por el proceso de extracción de aceite de palma. Actualmente, la generación del vapor utilizado se da por la combustión de la misma biomasa generada durante el proceso de extracción de aceite. Adicional a esto, la energía obtenida de la combustión no solo se limita a la generación de energía térmica, sino que en algunos casos es usada en procesos de cogeneración para la producción de energía eléctrica (Ponce-Arrieta, Silva-Lora, Yañez, & Castillo, 2009).

La utilización del vapor es indispensable en el proceso de extracción de aceite de palma. Por lo tanto, la generación de este recurso es un punto crítico en las plantas de beneficio. De acuerdo con mediciones recientemente realizadas por Cenipalma, las calderas

son los consumidores de mayor demanda de energía eléctrica, ya que pueden llegar a utilizar hasta el 25 % de la energía eléctrica del proceso (Barrera, Ramírez-Contreras, García-Núñez, & Guevara, 2016). Adicionalmente, el 50 % del agua utilizada es destinada a la generación del vapor (Cenipalma, 2014).

El creciente interés por el uso racional y eficiente de la energía, así como la exploración de energías alternativas que contribuyan a reducir el impacto ambiental de los procesos industriales, hacen que la biomasa obtenga un atractivo superior. Además, se crea la necesidad de hacer un uso eficiente de este producto con la intención de utilizar solo lo necesario para el proceso y emplear los excedentes como parte de un modelo de negocio alternativo para la agroindustria de la palma de aceite. Este artículo se enfoca en identificar y analizar conceptos utilizados habitualmente en la generación de vapor a través del proceso de combustión; aunque cabe decir que no se hará un énfasis en el diseño y operación de calderas.

En la primera parte del documento se explica el fenómeno de la combustión de la biomasa, seguido de las propiedades que caracterizan la combustión. En la segunda parte se revisan las diferentes tecnologías de combustión de biomasa (lecho fijo, lecho fluidizado y *co-firing*). Finalmente, se realiza una revisión de las tecnologías usadas actualmente en las plantas de beneficio para generar la energía térmica demandada por el proceso de extracción de aceite. Además, se incluye una estimación de la cantidad de biomasa disponible para diferentes rangos de eficiencia de combustión en la caldera.

## Combustión de biomasa

La combustión de la biomasa involucra varios aspectos que pueden afectar directamente su eficiencia y utilidad, la cual de las propiedades de la biomasa y el tipo de aplicación de la combustión, como en el caso de generación de vapor saturado o sobrecalentado, ya que la tecnología a utilizar interferirá directamente en la eficiencia del proceso.

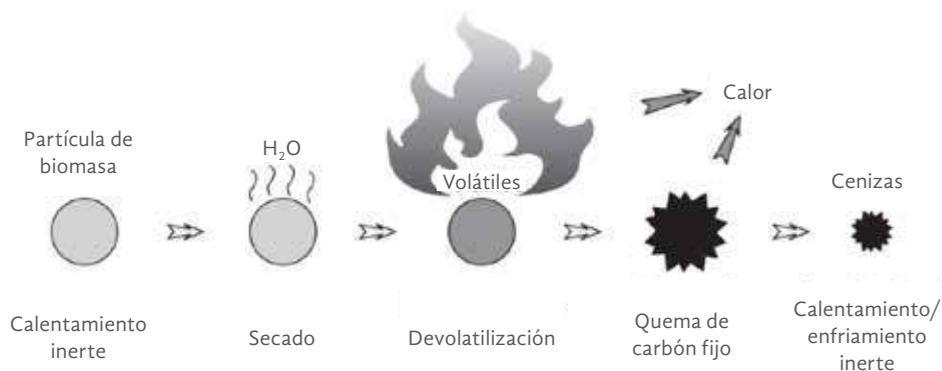
La biomasa, al tratarse de un combustible sólido, posee la misma ruta de combustión que el carbón, por lo que se distinguen las etapas de secado, devolatilización, gasificación, combustión y la oxidación de la fase gaseosa (Nussbaumer, 2003). El tiempo entre los cambios de cada reacción dependerá del tamaño del combustible y sus propiedades, así como de la temperatura y de las condiciones de combustión (Lassi, 2013).

En la Figura 1 el secado corresponde a la etapa en que el contenido de humedad es evaporado. La volatilización es el proceso en el cual se libera una gran variedad de productos gaseosos a través de la descomposición del combustible (Basu, 2006). Los gases volátiles desprendidos son hidrocarburos que son quemados posteriormente. Tras la devolatilización, el carbón fijado en la biomasa es quemado, liberando así el calor hasta quedar reducido en ceniza, la cual está compuesta principalmente por los minerales presentes en la biomasa.

La combustión de biomasa incorpora una serie de reacciones químicas en las que el carbón es oxidado a dióxido de carbono y el hidrógeno es oxidado a agua (Demirbas, 2005). La quema de la biomasa requiere de

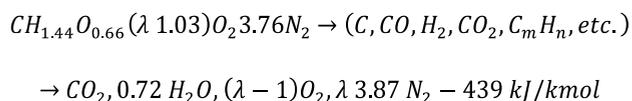
**Figura 1.** Ruta de combustión de una partícula de biomasa.

Fuente: adaptado de Mandø (2013).



un agente oxidante; con mayor frecuencia es usado el oxígeno contenido en el aire debido a su abundancia y su costo nulo. El principal parámetro que se busca controlar en la combustión es el exceso de aire ( $\lambda$ ), el cual describe la tasa de aire en exceso requerida por la cantidad estequiométrica, expresada en términos de aire estequiométrico como el exceso de aire porcentual o aire teórico porcentual (Cengel & Boles, 2011).

La combustión de la biomasa puede ser expresada por una ecuación estequiométrica aproximada, la cual simula los productos derivados de la combustión. Existen métodos analíticos que estiman la cantidad de productos liberados cuando la combustión es incompleta (Jenkins, Baxter, Miles, & Miles, 1998). La siguiente reacción es típica de la biomasa, teniendo en cuenta solamente los contenidos iniciales de los elementos carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), constituyentes primarios de la biomasa. Los componentes del combustible, como sodio (Na), potasio (K), cloro (Cl), etc., no son considerados (Nussbaumer, 2003):



donde  $CH_{1.44}O_{0.66}$  describe la composición promedio de la biomasa usada típicamente para combustión, por ejemplo, madera, paja o similares. Las emisiones causadas por una combustión incompleta son el principal resultado de las siguientes operaciones:

- La mezcla inadecuada del aire de combustión y combustible en la cámara de combustión provocada por las secciones locales ricas en combustión.
- Falta suficiente de oxígeno.
- Temperaturas de combustión muy bajas.
- Tiempos de residencia muy cortos.

De acuerdo con la Tabla 1, las propiedades de la combustión de la biomasa pueden ser compiladas y agrupadas en cuatro grupos: físicas, químicas, térmicas y minerales (Demirbas, 2004). La Tabla 1 presenta algunas de las propiedades de combustión típicas para la biomasa de palma de aceite, mientras que la Tabla 2 muestra los rangos promedio para las propiedades de combustión de la biomasa de palma de aceite.

**Tabla 1.** Propiedades de la combustión de biomasa.

Físicas	Químicas	Térmicas	Minerales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de bulbo</li> <li>• Densidad energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis último</li> <li>• Análisis próximo</li> <li>• Análisis de productos de pirólisis</li> <li>• Poder calorífico</li> <li>• Contenido de humedad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calor específico</li> <li>• Conductividad térmica</li> <li>• Emisividad</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Grado de degradación térmica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cenizas</li> <li>• Compuestos inorgánicos</li> </ul>

Fuente: adaptado de Demirbas (2004).

**Tabla 2.** Propiedades de combustión para biomasa de palma de aceite.

Biomasa	Contenido de humedad (% b.s. <sup>1</sup> )	Contenido de cenizas (% b.s.)	Contenido de materia volátil (% b.s.)	Poder calorífico superior (MJ kg <sup>-1</sup> )
Tusa	67.00 ± 1.41	4.60 ± 0.50	87.04 ± 0.42	18.88 ± 0.74
Fibra	37.09 ± 2.06	6.10 ± 0.94	84.91 ± 0.62	19.06 ± 0.32
Cuesco	12.00 ± 1.08	3.00 ± 1.27	83.45 ± 0.68	20.09 ± 0.43

<sup>1</sup> En base seca.

Fuente: adaptado de Loh (2016).

## Propiedades físicas

La variable física de mayor importancia de la biomasa es su densidad energética, la cual expresa la cantidad de energía contenida en una unidad de volumen. Esta se calcula a partir de la multiplicación de la densidad de bulbo (medida de masa de muchas partículas de una material, dividida sobre el volumen que ocupan) y el poder calorífico de la biomasa (Carbon Trust, 2008). La densidad energética influye en la planeación y el control de los volúmenes de almacenamiento y del control en el suministro del combustible hacia la caldera (Khan, De-Jong, Jansens, & Spliethoff, 2009).

## Propiedades químicas

Las propiedades químicas se centran en el estudio de la caracterización del combustible y los subproductos de la combustión. A continuación se describen los parámetros esenciales para determinar la calidad de la biomasa.

### Análisis último

El análisis último de un combustible es el registro del porcentaje en peso de los elementos que lo componen. Básicamente, es un desglose de los componentes elementales del combustible. Elementos como C, H, O, N y S son proporcionados en este análisis.

### Análisis próximo

El análisis próximo de una biomasa determina los porcentajes de material volátil, carbón fijo y cenizas. La materia volátil corresponde a la porción de combustible que es gasificada por acción pirolítica y es responsable por las flamas de la combustión. El carbón fijo es la porción del combustible no pirolizado, el cual es quemado en forma sólida (Bushnell, 1989).

### Productos de pirólisis

Los productos de pirólisis dependerán de la naturaleza y las condiciones de proceso de la biomasa; estos productos pueden ser adecuados para varias aplicaciones en un proceso netamente pirolítico. Por medio de téc-

nicas como la cromatografía de gases o la espectrometría de gases se han identificado cientos de compuestos orgánicos en los productos de pirólisis (Kanaujia *et al.*, 2014), los cuales han venido siendo investigados como generadores potenciales de combustibles y otros productos de mayor valor agregado (García-Pérez *et al.*, 2008; Hoekstra *et al.*, 2011).

### Poder calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía liberada por un combustible durante una combustión completa. Dependiendo de la humedad del combustible, el poder calorífico recibe el nombre de poder calorífico superior (PCS o HHV, por sus siglas en inglés) cuando el agua producto de la combustión está en estado líquido (Carbon Trust, 2008).

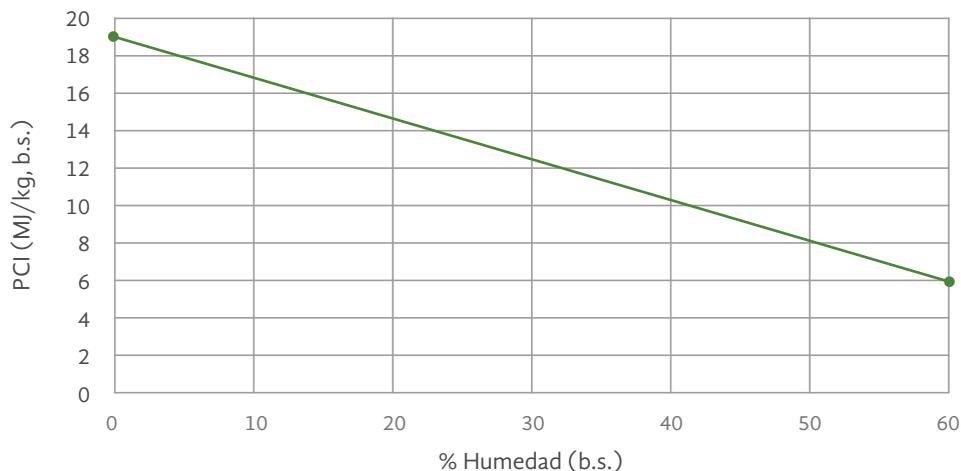
Cuando el agua está en estado gaseoso, el poder calorífico se denomina poder calorífico inferior (PCI o LHV, por su denominación en inglés, *Lower Heating Value*). Los poderes caloríficos para la biomasa usualmente varían entre los 18 y los 22 MJ/Kg en base seca (Van-Loo, 2008). Como se mencionaba anteriormente, el contenido de humedad en la biomasa es una unidad crítica en la combustión, dado que está relacionado directamente con la cantidad de energía que el combustible puede entregar al final de la combustión. La Figura 2 presenta una tendencia en la disminución del PCI para un combustible con diferentes humedades. En términos prácticos, para la liberación de una misma cantidad de energía con una humedad del 10 %, se requeriría más del doble de la biomasa a una humedad del 50 %.

### Contenido de humedad

La humedad contenida en la biomasa varía dependiendo del tipo de biomasa, pretratamiento y almacenamiento. En algunos casos, la biomasa es secada con la finalidad de aumentar la eficiencia de la combustión. El incremento de la humedad reduce la máxima temperatura de combustión posible e incrementa la necesidad del tiempo de residencia en la cámara de combustión, lo que deriva en la reducción del espacio para la prevención de las emisiones resultantes de una combustión incompleta (Saidur *et al.*, 2011).

**Figura 2.** Poder calorífico inferior en función del porcentaje en humedad (b.s.) para un combustible con una composición de 50 % carbono, 6 % hidrógeno y 44 % oxígeno.

Fuente: adaptado de Van-Loo (2008).



## Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de la combustión son los parámetros estudiados para aprovechar el calor liberado por la combustión. Los siguientes son los factores claves para diseñar un equipo:

### Calor específico

El calor específico es la energía necesaria para elevar en un grado la temperatura por unidad de una masa de biomasa. Esta propiedad es importante para cuantificar la energía requerida para alcanzar el punto de ignición de la biomasa (Cengel & Boles, 2011), en sistema internacional se expresa en unidades de  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ .

### Conductividad térmica

Se define como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario de un material (biomasa) por unidad de área, por unidad de diferencia de temperatura.

### Emisividad

La emisividad es una propiedad térmica que representa la razón entre la radiación emitida por una superficie a una temperatura dada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura (Cengel, 2007).

## Degradación térmica

La degradación térmica o devolatilización es el término dado al punto en el que el material sólido del combustible se convierte en gases volátiles, cenizas y alquitranes.

## Propiedades minerales

Las propiedades minerales hacen alusión al contenido de cenizas y materiales inorgánicos de la biomasa. El contenido de ceniza de las diferentes biomásas varía en un amplio rango desde 0,5 % b. s. hasta 12 % b. s (Van-Loo, 2008).

### Cenizas

En la composición de ceniza hay principalmente  $SiO_2$  y  $CaO$ , y, en menor proporción, Mg, Al, K y P. Durante la combustión las cenizas sufren varios cambios químicos y físicos, resultado de los procesos de segregación, evaporación, precipitación, nucleación y coalescencia. La ceniza resultante tiene un amplio espectro de tamaños, formas y composiciones. Estas características dependen de muchos factores, principalmente, de la morfología y composición química del combustible (Demirbas, 2002). Un alto contenido de cenizas promueve efectos corrosivos en las calderas, por lo tanto, el contenido de cenizas en la biomasa se utiliza como parámetro de diseño de la cámara de combustión. Estudios demuestran que el contenido de cloro

tiene un efecto catalítico que conduce a la disociación del acero en tuberías de intercambiadores de calor, incluso cuando las temperaturas de los tubos son bajas (100-150 °C) (Nunes, Matias, & Catalão, 2016).

La cantidad de ceniza incluida en una biomasa altera el poder calorífico de esta; asimismo, puede causar problemas por escoriación<sup>1</sup> (Saidur *et al.*, 2011). Algunas biomazas agroindustriales pueden tener trazas con altos contenidos de ceniza, así como cloruros y compuestos con potasio (sales), los cuales pueden causar altos niveles de corrosión (Wolf & Dong, 2013).

### Compuestos inorgánicos

Como resultado del proceso de combustión de biomasa diferentes tipos de contaminantes pueden ser liberados. Dentro de estos, vale la pena mencionar los contaminantes inquemados como el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (VOC), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), los compuestos orgánicos condensables (COC), el hollín, el carbón, el hidrógeno, los alquitranes contaminantes como el NO<sub>x</sub> y las partículas inorgánicas formadas a partir de los componentes del combustible como N, K, Cl, Ca, Na, Mg, P y S (Nussbaumer, 2010).

1 Fenómeno en el que se forman capas de material particulado sobre superficies, fomentando así la corrosión y bajas eficiencias en la conducción de calor.

## Tecnologías de combustión

En la sección anterior se describieron algunos conceptos y características de la combustión de biomasa. A continuación, se hace una revisión de las tecnologías de combustión existentes para la quema de combustibles sólidos y biomasa.

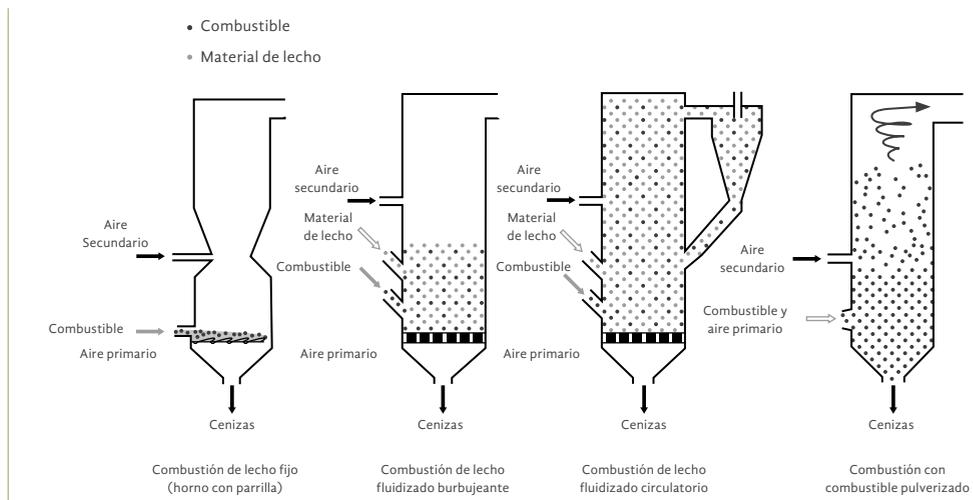
De acuerdo con Wolf & Dong (2013) se pueden distinguir tres tipos de tecnologías para la combustión de biomasa: de lecho fijo, de lecho fluidizado (que puede ser de lecho circulatorio o burbujeante) y de combustible pulverizado. La Figura 3 muestra la configuración básica de cada una de las tecnologías presentadas, mientras que la Tabla 3 presenta sus características específicas.

### Combustión de lecho fijo

La combustión de lecho fijo incluye hornos con parrillas y alimentadores (*stokers*). La biomasa se sitúa en una parrilla y se mueve lentamente a través de la caldera. El aire requerido se suministra a través de hoyos dispuestos a lo largo de la parrilla. Los gases combustibles expedidos por la biomasa son quemados después de la adición de un aire secundario, usualmente en una zona de combustión separada de la cama de combustible (Figura 4). Esta tecnología se adapta a cualquier tipo de biomasa, pero se limita a una capacidad máxima de 150 MW<sub>th</sub>/50MW<sub>e</sub> (Van-Loo, 2008).

**Figura 3.** Tecnologías principales de combustión.

Fuente: adaptada de Van-Loo (2008).



Existen varias tecnologías disponibles para hornos de parrillas: parrillas fijas (Figura 4), movedizas, viajeras, rotatorias y vibratorias. Todas estas tienen ventajas y desventajas, dependiendo de las propiedades del combustible; por lo tanto, la selección y planeación debe ser cuidadosa. Los hornos de parrillas son apropiados para biomásas con altos contenidos de humedad, con tamaños variados de partículas y alto contenido de cenizas. Es fundamental en la concepción en estos equipos un buen diseño y un buen control de la parrilla para garantizar una distribución homogénea del combustible y las brasas sobre su superficie.

Igualmente, es importante garantizar un suministro equitativo del aire primario sobre la parrilla, ya que un suministro heterogéneo de aire puede producir escorificación, alta acumulación de cenizas e incrementar el exceso de oxígeno necesario para una completa combustión, lo que ocasiona pérdidas de calor en la caldera. Además, el transporte del combustible sobre la parrilla debe ser lo más fluido y homogéneo posible en aras de mantener las brasas estables y evitar la formación de "huecos" y liberación de cenizas y partículas de inquemados.

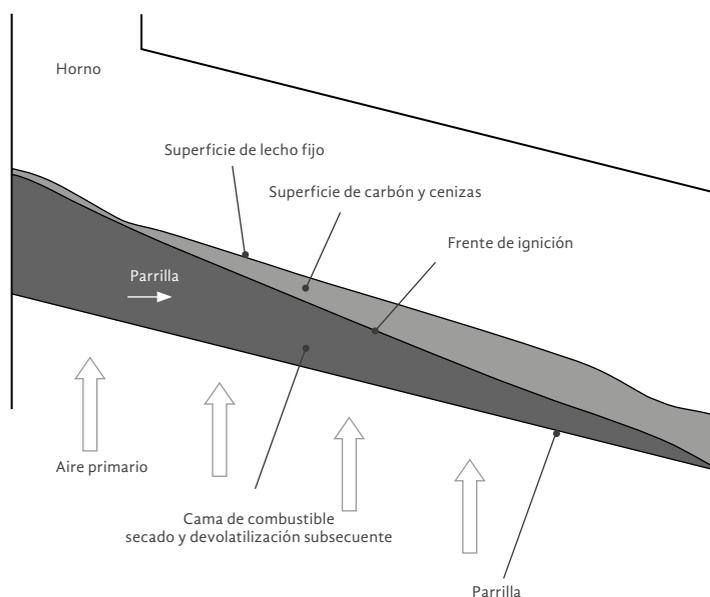
**Tabla 3.** Tecnologías comunes de combustión.

Tipo de instalación	Output (MWe)	Tipo de combustible	Contenido de humedad (wt%)	Contenido de cenizas (wt%, base seca)	Tamaño de partícula (mm)
Parrillas movedizas	0,15-150	Todo tipo de biomasa	5-60	< 50	< 150
Lecho fluidizado burbujeante	5-120	Lodos, cortezas, bagazo, pélets	5-60	< 10	< 100
Lecho fluidizado circulante	15-120	Cortezas, bagazo, pélets	5-60	< 10	< 100
Quemador de madera pulverizada	5-80	Maderas, pélets	<20	< 1	< 5
Co-combustión pulverizada	100-1.000	Madera, aserrín, pélets	<20	< 1	< 2-4

Fuente: Caillat & Vakkilainen (2013).

**Figura 4.** Proceso de combustión en parrillas fijas.

Fuente: adaptada de Van-Loo (2008).



La tecnología necesaria para lograr estos propósitos incluye la implementación de parrillas movilizadas, un sistema de control para la altura de las llamas y control de frecuencia para los ventiladores de aire primario en las diferentes secciones de la parrilla. El suministro de aire primario debe ser dividido en secciones con la intención de permitir el ajuste de los requerimientos específicos para las zonas de secado, gasificación y quemado del combustible. Controlar el suministro de aire separadamente permitirá una operación ligera en las parrillas, y así se logra reducir parcialmente la carga y control del aire primario en un 25 % (Van-Loo, 2008).

Un aspecto importante del horno de parrillas es que las etapas de combustión deben ser obtenidas por la separación de las cámaras de combustión primaria y secundaria, con el objetivo de evitar que se mezclen las corrientes de aire secundario y separar las zonas de gasificación y oxidación.

Cuanto mejor sea la calidad de la mezcla entre los gases de combustión y el aire de combustión secundario menor será la cantidad de oxígeno necesario para lograr una combustión completa, logrando así una mayor eficiencia. De acuerdo con la dirección del flujo del combustible y los gases de combustión, existen tres sistemas de operación para calderas de combustión con parrillas (Figura 5):

1. Flujo en contracorriente (las flamas se encuentran en posición opuesta a la del combustible).

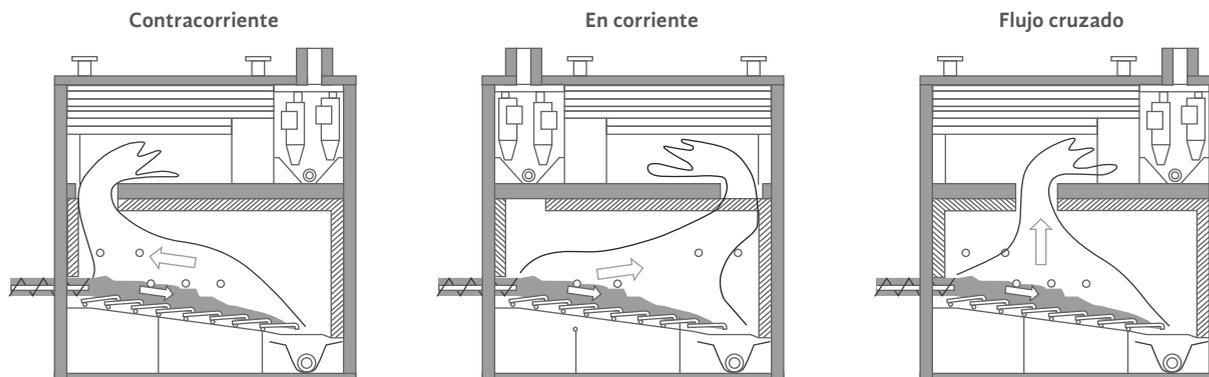
2. Flujo en corriente (las flamas están en la misma dirección que el combustible).
3. Flujo cruzado (la remoción de los gases de combustión en el medio del horno).

El flujo en contra corriente es el más adecuado para combustibles con bajo poder calorífico (LHV). Esto se debe a que la biomasa pasa directamente a través de los gases de combustión, lo que permite el secado y la evaporación del agua. El flujo en corriente se aplica para combustibles secos o en sistemas en los cuales se usa el aire primario recalentado. Este sistema incrementa el tiempo de residencia de los gases liberados por el lecho de combustible, permitiendo reducir la emisión de NO<sub>x</sub>, debido al mejoramiento en el contacto de los gases de combustión con la cama de material carbonizado en la parte posterior de las parrillas (Van-Loo, 2008).

Los sistemas con flujo cruzado son combinaciones de sistemas en corriente y contracorriente utilizados especialmente en plantas de combustión con cámaras verticales de combustión secundarias. Con el fin de lograr una combustión adecuada, se aplica la recirculación de los gases de combustión y cámaras de combustión con agua de enfriamiento. El enfriamiento por agua tiene la ventaja de reducir los volúmenes de gases de combustión, lo que impide el apelmazamiento de las cenizas en las paredes del horno y regularmente extiende el tiempo de vida de los ladrillos de aislamiento.

**Figura 5.** Clasificación de las parrillas de combustión.

Fuente: adaptado de Van-Loo (2008).



Los combustibles de biomasa húmedas requieren de cámaras de combustión con aislamiento de ladrillos que operen como acumuladores de calor y almacenes tanto de contenido de humedad como

de fluctuaciones de temperatura para asegurar una combustión completa. La Tabla 4 describe las configuraciones habitualmente usadas para calderas de lecho fijo.

**Tabla 4.** Tecnologías de lecho fijo.

Tecnología lecho fijo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Parrillas viajeras	Corresponden a los sistemas que incorporan barras paralelas que forman una banda sinfín que se mueve a través de la cámara de combustión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones homogéneas</li> <li>• Baja emisión de hollín</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor cantidad de aire primario</li> <li>• Requieren mecanismos de alimentación</li> </ul>
Parrillas móviles inclinadas	Estos sistemas tienen una parrilla inclinada que consta de barras fijas y móviles, en los cuales se alternan movimientos horizontales hacia adelante y hacia atrás de las secciones móviles, transportando el combustible a lo largo de la parrilla.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiten graduar velocidades para ajustarse a etapas de combustión</li> <li>• Permiten usar una gran variedad de biomasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentan complicaciones en el ajuste de velocidades, lo que genera una alta presencia de inquemados</li> <li>• Se recomiendan para biomasas secas o con bajo nivel de fusión de cenizas</li> </ul>
Parrillas móviles horizontales	Este sistema tiene una cama de combustible completamente horizontal; esto se logra disponiendo de las parrillas de forma diagonal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitan movimientos incontrolados por efecto de la gravedad</li> <li>• Distribuyen de manera homogénea el combustible, lo que evita los puntos calientes</li> <li>• Reducen la altura promedio de una caldera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren precargar de biomasa al inicio de la operación; esto evita que haya un espacio libre entre las barras</li> </ul>
Parrillas vibratorias	Este sistema consiste en una pared de tubos con aletas inclinadas colocados sobre resortes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se inhibe la formación de escorias en la parrilla</li> <li>• Ideales para biomasas con altas concentraciones de cenizas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas emisiones de cenizas causadas por la vibración</li> <li>• Altas emisiones de CO por los disturbios, lo que fomenta la combustión incompleta</li> </ul>
Parrilla rotatoria subalimentada	Se utilizan unas parrillas cónicas que rotan en direcciones opuestas en las cuales se suministra el aire primario por la parte inferior. Como resultado, el combustible quemado y el combustible húmedo son bien mezclados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideal para biomasas muy húmedas (65 % w.t.)</li> <li>• Capacidad entre 3 y 17 MW<sub>t</sub>; en caso de contar con cogeneración, puede estar entre 1-4,5 MW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere un tamaño de partícula promedio por debajo de los 50 mm</li> </ul>
Calderas con subalimentador	La alimentación se da en la parte inferior por medio de tornillos sinfín o bandas transportadoras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguras y de operación económica</li> <li>• Operación flexible y fácil remoción de cenizas</li> <li>• Ideales para biomasas con bajo contenido de ceniza</li> <li>• Requieren un nivel bajo de control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren un tamaño de partícula promedio por debajo de los 50 mm</li> <li>• Apelmazamientos de ceniza pueden causar problemas en la alimentación</li> </ul>

## Combustión de lecho fluidizado

La combustión por lecho fluidizado (FBC, en inglés) es uno de los métodos más eficientes para quemar directamente la biomasa. Además, es una de las tecnologías más versátiles en el manejo de rangos de características de biomasa y contenidos de humedad (Basu, 2006).

La FBC es una tecnología emergente que es altamente viable. Entre las ventajas significativas que tiene sobre un sistema de convencional de combustión se destaca un diseño más compacto, la flexibilidad en el uso de combustible, la alta eficiencia en la combustión y la reducción de contaminantes, como sulfuros  $SO_x$  y  $NO_x$  (Saidur *et al.*, 2011).

El funcionamiento básico de un sistema FBC consiste en una cama (o lecho) de un mineral inerte como la arena o la caliza, en la cual el aire se sopla desde la parte inferior. El aire se bombea a través de la cama con un volumen y presión suficiente para formar una cama del material inerte de manera que se asemeja mucho a un fluido (Rainio *et al.*, 2009).

En un lecho fluidizado, el empuje gravitacional de las partículas fluidizadas es sostenido por la fuerza de arrastre del gas que se distribuye de forma ascendente. Este efecto mantiene las partículas semisuspendidas. De acuerdo con Basu (2006), un lecho fluidizado muestra características similares a la de un fluido, donde:

1. La presión estática a cualquier altura es aproximadamente igual al peso ejercido por el lecho sólido por unidad de área sobre ese nivel.
2. Un objeto más denso que la densidad de la cama se hundirá.
3. Los sólidos del lecho pueden ser drenados como un líquido a través de orificios dispuestos en el fondo o a los lados del recipiente contenedor.
4. El lecho mantiene un nivel horizontal, independientemente del nivel de inclinación de la cama, asumiendo la forma del recipiente contenedor.
5. Las partículas se mezclan muy bien, de manera que se mantiene una temperatura casi uniforme en todo el cuerpo cuando se calienta.

La fluidización depende enteramente del tamaño de la partícula de la cama y de la velocidad del aire. La velocidad media del sólido tiende a incrementarse más lentamente que la del aire. La diferencia entre estas velocidades se le conoce como la velocidad de deslizamiento. En aplicaciones de FBC es deseable tener el máximo deslizamiento posible, de manera que haya una buena transferencia de calor y un íntimo contacto entre los sólidos y el gas; mantener estas condiciones permitirá quemar el combustible rápidamente y mantener una temperatura uniforme (UNEP-DTIE Energy Branch, 2003).

La Figura 6 muestra el comportamiento del material de cama de acuerdo a la manera en que fluye el gas a través del lecho a diferentes velocidades y distintas caídas de presión en función de la velocidad del gas. A medida que la velocidad se incrementa, la cama comienza a fluidizarse. La velocidad en la que ocurre esta transición se llama *velocidad mínima de fluidización*. Cuando se alcanza la velocidad mínima de fluidización, la fuerza de arrastre de las partículas en el lecho fluidizado es igual a la suma de las fuerzas que actúan sobre las partículas. Esta velocidad depende de factores tales como el diámetro de la partícula, la densidad de la partícula y el gas, la forma de la partícula, la viscosidad del aire y la fracción vacía de lecho (Vakkilainen, 2017).

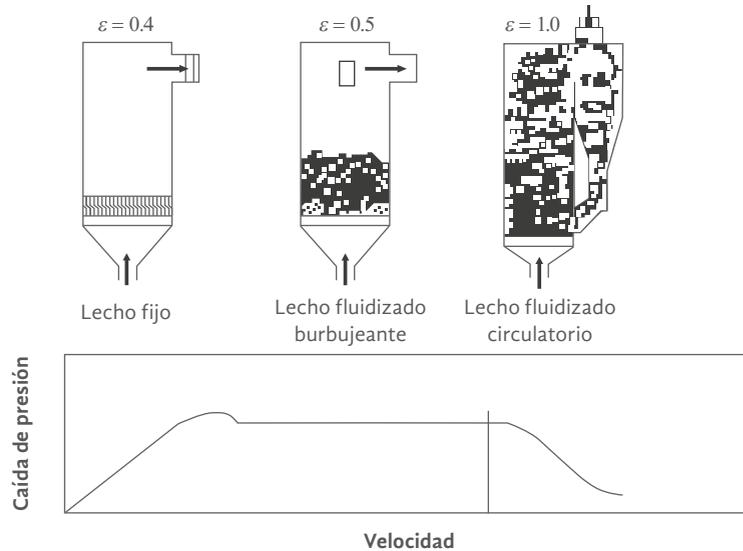
En principio, se pueden distinguir tres tipos de lecho fluidizado dependiendo del régimen de fluidización: el lecho fluidizado burbujeante atmosférico (AFBC), el lecho fluidizado circulatorio (CFBC) y el lecho fluidizado presurizado (PFBC).

### Lecho fluidizado burbujeante

De acuerdo con la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de los Estados Unidos (National Fire Protection Association), un lecho fluidizado burbujeante (BFB, en inglés) es un lecho fluidizado en el cual la velocidad de fluidización es menor que la velocidad terminal de las partículas individuales del lecho en donde parte de los gases fluidizantes pasan a través del lecho como burbujas (Park & Box, 2001) y se alcanzan temperaturas entre 800 y 900 °C, donde la temperatura de cama permanece homogénea. Además, se requiere un bajo exceso de aire, lo que minimiza los gases de combustión (Faaij, 2004).

**Figura 6.** Tipos de fluidización de acuerdo con su régimen: lecho fluidizado burbujeante atmosférico (AFBC), lecho fluidizado circulatorio (CFBC) y lecho fluidizado presurizado (PFBC).

Fuente: adaptado de Vakkilainen (2017).



Para biomasa el sistema BFB opera con velocidades de fluidización entre 1 y 2 m/s con partículas de arena de tamaño 0,5 a 1,5 mm (Widell, 2013). La densidad del material de la cama debe ser alta (aproximadamente 1.000 kg/m<sup>3</sup>) y la altura promedio debe estar normalmente entre 0,5-1,5 m. En lechos fluidizados burbujeantes, las velocidades del aire fluidizante proveen de la mezcla suficiente de material de cama y combustible, pero no son suficientemente altos para levantar mucho material de cama (Grass & Jenkins, 1994).

La combustión por BFB resulta ser una ventaja en la quema de biomasa debido a que no es necesario agregar caliza al sistema para retener compuestos sulfurados a diferencia del carbón. Por otra parte, su alimentación posee la ventaja de ocurrir en el nivel de la superficie del lecho burbujeante, donde, en caso de que cayera al fondo del lecho, esta se levantaría rápidamente durante la devolatilización, lo que libera así la mayoría de gases volátiles fuera del lecho (Leckner, 2013). La mayor ventaja del BFB es la flexibilidad en lo que concierne en tamaños y humedad contenida en las biomásas. También permite realizar diferentes mezclas e incluso realizar co-combustión con otros combustibles (Van-Loo, 2008). La Tabla 5 presenta los parámetros típicos de operación de BFB (Vakkilainen, 2017).

### Lecho fluidizado presurizado

La combustión por lecho fluidizado presurizado (PFBC, por sus siglas en inglés) opera como un FBC a presio-

nes elevadas. Su aplicación se basa en la utilización de los gases de combustión que salen a alta temperatura y presión, conduciéndoles a una turbina de gas para obtener energía mecánica. Se ha desarrollado como una tecnología de alta eficiencia para la generación de energía a través de carbón, logrando potencias comerciales de hasta 360 MW<sub>e</sub> y haciendo uso de ciclos combinados (Shimizu, 2013).

En una caldera PFBC la presión de operación está entre 1,0-1,5 MPa. La temperatura de los gases de combustión está en un rango de 814 a 870 °C, siendo usada en las turbinas (Sarkar, 2015). Por su parte, la eficiencia global de un sistema PFBC es mayor entre 5 y 8 % con respecto de un sistema convencional de cogeneración (UNEP-DTIE Energy Branch, 2003).

### Lecho fluidizado circulatorio

En una caldera de lecho fluidizado circulatorio (CFB, por sus siglas en inglés) la velocidad de fluidización se incrementa pasando del régimen de burbujeo al de transporte (Basu, 2006). En un CFB el material de cama es arrastrado junto con la corriente gaseosa. Posteriormente, es separado y se reintroduce en la cámara de combustión (Grass & Jenkins, 1994).

La CFBC utiliza el principio del lecho fluidizado en el cual el combustible triturado (en el rango de 6-12 mm) y el material de lecho se inyectan al horno. Las partículas son suspendidas por el aire (60-70 % del aire total). Las velocidades de fluidización en estos

sistemas están dentro del rango de 3,7-9 m/s (Saidur *et al.*, 2011). En el CFB el aire primario (cantidad estequiométrica) se inyecta a través de las parrillas, y el

aire secundario, por los lados a una cierta altura sobre el piso del horno. La Tabla 6 presenta los parámetros de operación de la tecnología CFB (Vakkilainen, 2017).

**Tabla 5.** Parámetros típicos de operación para BFB.

Volumen de carga de calor	MW/m <sup>3</sup>	0,1-0,3
Carga de calor de sección cruzada	MW/m <sup>2</sup>	0,7-5
Caída de presión total	kPa	10-15
Tamaño de partículas de material de cama	mm	0,1-0,5
Tamaño de partícula de ceniza liviana	µm	< 100
Tamaño de partícula de ceniza pesada	mm	0,6-10
Velocidad de fluidización	m/s	3-10
Temperatura de aire primario	°C	20-400
Temperatura de aire secundario	°C	20-400
Temperatura de cama	°C	850-900
Temperatura después del ciclón	°C	850-900
Exceso de aire	%	1,1-1,3
Densidad de la cama	Kg/m <sup>3</sup>	10-100
Tasa de recirculación	-	10-100
Carga mínima	%	25-30

**Tabla 6.** Parámetros típicos de operación para CFB.

Volumen de carga de calor	MW/m <sup>3</sup>	0,1-0,5
Carga de calor de sección cruzada	MW/m <sup>2</sup>	0,7-3
Caída de presión total	kPa	6-12
Velocidad de fluidización	m/s	1-3
Altura de la cama	m	0,4-0,8
Tamaño de material de cama	mm	0,5-1,5
Temperatura de aire primario	°C	20-400
Temperatura de aire secundario	°C	20-400
Temperatura de cama	°C	-700-1.000
Temperatura después del ciclón	°C	-700-1.000
Exceso de aire	%	1,1-1,4
Densidad de la cama	Kg/m <sup>3</sup>	1.000-1.500
Carga mínima	%	25-30

El combustible es alimentado en la parte baja del horno, donde se quema para generar el calor. De acuerdo con Nowak & Mirek (2013), dentro de las ventajas del CFBC están:

- La posibilidad de quemar diversos rangos en propiedades de combustibles.
- La posibilidad de quemar múltiples combustibles.
- Las condiciones estables de operación.
- No se necesita preparación de combustible.
- No se requiere de una supervisión, salvo en los periodos de arranque.
- Impacto ambiental bajo respecto a tecnología antigua.
- Altos coeficientes de transferencia de calor entre la cama y la superficie (100-400 W/m<sup>2</sup>K).

### Combustión de combustible pulverizado

La combustión por combustible pulverizado, o por suspensión, utiliza un combustible pulverizado que es transportado neumáticamente y soplado en la caldera junto con el aire primario (Mandø, 2013). Los sistemas de combustible pulverizados fueron diseñados originalmente para la combustión de carbón. Sin embargo, ha sido adaptada para realizar co-combustión, proceso en la que la biomasa se quema junto con combustibles fósiles (Yokoyama & Matsumura, 2008). En el ámbito mundial, la combustión pulverizada es la tecnología más utilizada en para realizar co-combustión, pues cerca del 48 % de las calderas utilizan esta tecnología (Yin, 2013).

La calidad de la biomasa para esta tecnología debe permanecer constante. Se requiere un tamaño de partícula de máximo 20 mm y mantener un contenido de humedad inferior a 20 % (Van-Loo, 2008). Por otra parte, la velocidad de quemado de la biomasa pulverizada es considerablemente más alta que con el carbón. La biomasa pulverizada puede ser quemada en una llama igual que para combustibles no renovables y con la misma potencia (Demirbas, 2004).

## Resumen de tecnologías de combustión

En resumen, las calderas de parrillas son equipos robustos que tienen la capacidad de quemar varios tipos de combustible. Sin embargo, esta tecnología se caracteriza por su baja eficiencia y altas emisiones. El lecho fluidizado es la tecnología más versátil para la quema de diversas biomasa; también se destaca por sus bajas emisiones. La combustión por combustible pulverizado es la tecnología con mayores exigencias en cuanto a la calidad del combustible. La Tabla 7 presenta un resumen detallado de las ventajas y desventajas de las tecnologías mencionadas.

### Aplicaciones para la agroindustria de la palma de aceite

Los sistemas de combustión habitualmente utilizados en las plantas de beneficio comprenden sistemas de lecho fijo que son aprovechados en calderas acuotubulares, piro-tubulares o mixtas. En cuanto al manejo de cenizas, estas presentaron varios inconvenientes en un principio debido a los contenidos alcalinos de la biomasa, lo que genera una escoriación en las parrillas y reduce la eficiencia de los sistemas (Cala-Gaitán & Bernal-Castillo, 2008; Wambeck, 1999). Las calderas modernas utilizan parrillas viajeras para facilitar la distribución del cuesco y la fibra dispuestos en el hogar. Sin embargo, las plantas de beneficio más antiguas poseen lechos fijos en los cuales la evacuación de ceniza debe realizarse manualmente, incurriendo en ineficiencias por combustible inquemado, pérdidas en la conservación de energía y elevación de los contenidos de ceniza liviana en los gases de combustión.

Actualmente, se reportan eficiencias en calderas de biomasa de palma de aceite de entre 60 y 75 % (Husain, Zainal, & Abdullah, 2002; Abdullah & Sulaiman, 2013; Sommart & Pipatmanomai, 2011). Además, en el desarrollo de nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia en la combustión, existe una tendencia a mejorar el control de la humedad de la biomasa.

Altas eficiencias en caldera permiten disponer de una mayor cantidad de biomasa que puede ser utilizada en negocios alternos a la producción de aceite. Los

**Tabla 7.** Resumen de ventajas y desventajas de las tecnologías de combustión

Ventajas	Desventajas
<b>Combustión por parrillas (rango típico: &lt;100MW<sub>fuel</sub>)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robusto y fiable</li> <li>• Baja inversión y costo de operación</li> <li>• Baja erosión y carga de polvo</li> <li>• Puede manejar diversos tipos de combustibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja eficiencia</li> <li>• Altas emisiones</li> <li>• Capacidad limitada de operación multicomcombustible</li> <li>• Adaptabilidad limitada a cambios en calidad de combustible</li> </ul>
<b>Combustión de lecho fluidizado burbujeante (rango típico: 20-300 MW<sub>fuel</sub>)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad para varias biomásas combustibles con variados tamaños de partículas y contenido de humedad.</li> <li>• Eficiencia en combustión</li> <li>• Baja emisión de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub></li> <li>• Sin partes mecánicas en movimiento en la región caliente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgo de aglomeración en cama con combustibles altamente alcalinos</li> <li>• Capacidad de operación limitada a una carga parcial</li> <li>• Erosión</li> </ul>
<b>Combustión por lecho fluidizado circulatorio (rango típico: 50-800 MW)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejor flexibilidad (0-100 % biomasa o carbón)</li> <li>• Alta eficiencia de combustión</li> <li>• Baja emisión de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub></li> <li>• Captura efectiva de azufre por la caliza</li> <li>• Mitigación de corrosión por ciclo cerrado</li> <li>• Sin partes mecánicas en movimiento en el lecho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo de energía eléctrica</li> <li>• Alta inversión y costos de operación</li> <li>• Riesgo de aglomeración en ciclo</li> <li>• Capacidad de operación limitada a una carga parcial</li> <li>• Erosión</li> </ul>
<b>Combustible pulverizado (100-2,000 MW)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficiencia</li> <li>• Grandes tamaños de unidades disponibles</li> <li>• Buena capacidad de carga</li> <li>• Variedad de tecnología para co-combustión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub></li> <li>• Requerimientos de combustible estrictos</li> <li>• Flexibilidad de combustible</li> </ul>

Fuente: adaptado de Hurskainen y Vainikka (2015).

sistemas de combustión actualmente consumen cerca del 70 % de la biomasa generada (fibra y cuesco) por el proceso de extracción de aceite, mientras que la tusa es usada solo en casos excepcionales de combustión (Ramírez-Contreras, Arevalo, & Garcia-Nunez, 2015). La demanda térmica del proceso se encuentra por el orden de 1.343 MJ por tonelada de racimo de fruto fresco (Monroy, 2007), lo cual señala que con estos valores y una eficiencia del 60 % escasamente se logra satisfacer la demanda.

La Tabla 8 presenta un análisis de sensibilidad suponiendo eficiencias en caldera, permitiendo tener una referencia sobre la cantidad de biomasa requerida para satisfacer la demanda térmica en función de la eficiencia del sistema de combustión. Para usar las tablas

se deben ubicar las proporciones de fibra en las filas y las de cuesco en las columnas. Las tablas presentan los valores teóricos de excedentes de energía generados a partir de la combustión de la biomasa una vez es suministrada la demanda térmica del proceso. La energía es calculada a partir del promedio de poderes caloríficos reportados (Gómez, Klose, Rincón, & Wiest, 2004; Garcia-Nunez & Yañez A., 2010; Loh, 2016; Saidur *et al.*, 2011; Tortosa-Masiá, Buhre, Gupta, & Wall, 2007; Yunus, Omar, Abidin, & Biak, 2012).

Las regiones sombreadas en verde indican los excedentes de energía, mientras que los valores negativos refieren a insuficiencia de vapor. A manera de ejemplo, situando la tabla con eficiencia de combustión del 50 %, usando toda la fibra y el cuesco generado

por el proceso, escasamente se lograría suplir toda la demanda, lo que da como excedente únicamente un 103 MJ por cada unidad procesada. En un escenario ideal, con eficiencia de combustión del 80 %, se podría suplir toda la demanda usando solo el 60 % de la fibra generada y dejando aparte el cuesco para otro tipo de aplicación. De la Tabla 8 se puede concluir que no es posible suministrar todo el requerimiento térmico a partir del cuesco, por la baja cantidad de biomasa disponible.

Se han realizado estudios para quemar los racimos de fruto vacíos a través de combustiones de lecho fluidizado usando arena de alúmina, caliza y dolomita, alcanzando preliminarmente eficiencias de 99 % con excesos de aire de 40 % usando arena de alúmina, o de 60 % usando caliza y dolomita empleando caliza y dolomita (Ninduangdee & Kuprianov, 2016).

Otros estudios han determinado que utilizando tecnología FBC en un recipiente cónico para la quema de cuesco y tusa se pueden alcanzar eficiencias de entre 99,4 y 99,7 %, manteniendo un exceso de aire de entre 40 y 50 % y un tamaño de partículas inferior a 5 mm (Ninduangdee & Kuprianov, 2014; Ninduangdee & Kuprianov, 2015).

**Tabla 8.** Sensibilidad de excedentes de energía a diversas eficiencias de caldera (MJ/t RFF)

		Fibra										
		Efi. 50 %	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Cuesco	100 %	103	10	-83	-175	-268	-360	-453	-546	-638	-731	
	90 %	48	-45	-138	-230	-323	-416	-508	-601	-694	-786	
	80 %	-8	-100	-193	-286	-378	-471	-564	-656	-749	-841	
	70 %	-63	-156	-248	-341	-434	-526	-619	-711	-804	-897	
	60 %	-118	-211	-304	-396	-489	-581	-674	-767	-859	-952	
	50 %	-174	-266	-359	-451	-544	-637	-729	-822	-915	-1.007	
	40 %	-229	-321	-414	-507	-599	-692	-785	-877	-970	-1.062	
	30 %	-284	-377	-469	-562	-655	-747	-840	-932	-1.025	-1.118	
	20 %	-339	-432	-525	-617	-710	-802	-895	-988	-1.080	-1.173	
	10 %	-395	-487	-580	-672	-765	-858	-950	-1.043	-1.136	-1.228	

		Fibra										
		Efi. 55 %	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Cuesco	100 %	251	149	47	-55	-157	-259	-361	-463	-564	-666	
	90 %	190	88	-14	-116	-218	-320	-421	-523	-625	-727	
	80 %	129	27	-75	-177	-278	-380	-482	-584	-686	-788	
	70 %	68	-34	-135	-237	-339	-441	-543	-645	-747	-849	
	60 %	8	-94	-196	-298	-400	-502	-604	-706	-808	-909	
	50 %	-53	-155	-257	-359	-461	-563	-665	-766	-868	-970	
	40 %	-114	-216	-318	-420	-522	-623	-725	-827	-929	-1.031	
	30 %	-175	-277	-379	-480	-582	-684	-786	-888	-990	-1.092	
	20 %	-236	-337	-439	-541	-643	-745	-847	-949	-1.051	-1.153	
	10 %	-296	-398	-500	-602	-704	-806	-908	-1.010	-1.111	-1.213	

		Fibra										
		Efi. 60 %	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Cuesco	100 %	399	287	176	65	-46	-157	-268	-380	-491	-602	
	90 %	332	221	110	-1	-112	-224	-335	-446	-557	-668	
	80 %	266	155	44	-68	-179	-290	-401	-512	-623	-734	
	70 %	200	88	-23	-134	-245	-356	-467	-578	-690	-801	
	60 %	133	22	-89	-200	-311	-422	-534	-645	-756	-867	
	50 %	67	-44	-155	-266	-378	-489	-600	-711	-822	-933	
	40 %	1	-110	-222	-333	-444	-555	-666	-777	-889	-1.000	
	30 %	-66	-177	-288	-399	-510	-621	-733	-844	-955	-1.066	
	20 %	-132	-243	-354	-465	-577	-688	-799	-910	-1.021	-1.132	
	10 %	-198	-309	-421	-532	-643	-754	-865	-976	-1.087	-1.199	

		Fibra										
		Efi. 70 %	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Cuesco	100 %	694	565	435	305	176	46	-84	-213	-343	-473	
	90 %	617	487	358	228	98	-31	-161	-291	-421	-550	
	80 %	540	410	280	151	21	-109	-239	-368	-498	-628	
	70 %	462	333	203	73	-57	-186	-316	-446	-575	-705	
	60 %	385	255	126	-4	-134	-264	-393	-523	-653	-782	
	50 %	308	178	48	-82	-211	-341	-471	-600	-730	-860	
	40 %	230	100	-29	-159	-289	-418	-548	-678	-807	-937	
	30 %	153	23	-107	-236	-366	-496	-625	-755	-885	-1.014	
	20 %	75	-54	-184	-314	-443	-573	-703	-832	-962	-1.092	
	10 %	-2	-132	-261	-391	-521	-650	-780	-910	-1.039	-1.169	

		Fibra										
		Efi. 80 %	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Cuesco	100 %	990	842	694	545	397	249	101	-47	-196	-344	
	90 %	902	753	605	457	309	161	12	-136	-284	-432	
	80 %	813	665	517	369	220	72	-76	-224	-372	-521	
	70 %	725	577	428	280	132	-16	-164	-313	-461	-609	
	60 %	636	488	340	192	44	-105	-253	-401	-549	-697	
	50 %	548	400	252	103	-45	-193	-341	-489	-638	-786	
	40 %	460	311	163	15	-133	-281	-430	-578	-726	-874	
	30 %	371	223	75	-73	-222	-370	-518	-666	-814	-963	
	20 %	283	135	-14	-162	-310	-458	-606	-755	-903	-1.051	
	10 %	194	46	-102	-250	-398	-547	-695	-843	-991	-1.139	

		Fibra										
		Efi. 90 %	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Cuesco	100 %	1.286	1.119	952	786	619	452	285	119	-48	-215	
	90 %	1.186	1.020	853	686	519	353	186	19	-148	-314	
	80 %	1.087	920	753	587	420	253	87	-80	-247	-414	
	70 %	987	821	654	487	321	154	-13	-180	-346	-513	
	60 %	888	721	555	388	221	54	-112	-279	-446	-613	
	50 %	789	622	455	288	122	-45	-212	-379	-545	-712	
	40 %	689	522	356	189	22	-145	-311	-478	-645	-811	
	30 %	590	423	256	89	-77	-244	-411	-577	-744	-911	
	20 %	490	323	157	-10	-177	-343	-510	-677	-844	-1.010	
	10 %	391	224	57	-109	-276	-443	-610	-776	-943	-1.110	

## Conclusiones

La combustión es un proceso termoquímico vital para la generación de la energía térmica usada en plantas de beneficio del sector palmero. Los sistemas de combustión de biomasa en la agroindustria de configuración convencional no han sufrido grandes transformaciones en los últimos años; por lo tanto, existe un gran potencial de mejora en términos de eficiencia de combustión.

Variables como la humedad, el contenido de cenizas y el poder calorífico de la biomasa determinan la eficiencia final de la combustión. Dado que la humedad está directamente relacionada con el poder calorífico, mantener un control adecuado de esta variable garantizará mayor entrega de energía en la combustión de la biomasa. Con respecto al contenido de cenizas, se debe tener en cuenta que los sistemas de combustión deben estar diseñados para permitir la correcta evacuación de cenizas, debido a que la acumulación de cenizas fomenta la formación de fenómenos como escorificación y erosión, lo que afecta directamente la eficiencia y la vida útil de las calderas.

La tecnología de combustión de lecho fijo, la más utilizada de la agroindustria de la palma de aceite, ofrece rangos de operación de hasta 100 MW térmicos, equivalentes a 130 t/h. La condición de robustez de la combustión de lecho fijo la convierte en una tecnología que permite aceptar diferentes granulometrías de combustible, lo que evita tener que acondicionar la biomasa (cuesco y fibra) antes de ingresar a la cámara de combustión. Sin embargo, a pesar de tener costos de operación y mantenimiento inferiores a tecnologías como la de lecho fluidizado, la de lecho fijo posee eficiencias inferiores al 60 % y genera altas emisiones, lo

que lleva a utilizar sistemas de remoción de material particulado e incrementa el costo de inversión y operación de la caldera.

Se estudiaron dos tipos de tecnologías de combustión por lecho fluidizado (FBC): la combustión por lecho fluidizado circulatorio (CFB) y burbujeante (BFB). La principal diferencia se basa en la presurización del sistema y recirculación de los gases en la tecnología CFB, lo que permite alcanzar eficiencias superiores al 90 %; sin embargo, requiere de gastos energéticos adicionales en la operación de ciclones, así como el estricto plan de mantenimiento debido al riesgo de aglomeración de cenizas. Tanto para la tecnología CFB como para la BFB se obtienen bajas emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente porque la tecnología reduce la partícula de biomasa a cenizas de forma más homogénea.

La tecnología de combustible pulverizado es ideal para la combustión simultánea de biomasa y carbón, dada la madurez de la tecnología y que es la usada ampliamente por centrales eléctricas que operan con carbón. La generación de energía eléctrica a partir del uso de carbón mineral es un proceso que emite una alta emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>. En un escenario de quema de mezclas carbón y biomasa de palma de aceite podría funcionar como estrategia para reducir la generación de gases de efecto invernadero. No obstante, esta tecnología tiene como restricción el acondicionamiento del combustible, lo que implicaría que en un escenario de aprovechamiento de biomasa esta debería ser secado hasta tener humedades inferiores a 20 % y tamaños de partículas inferiores a 20 mm.

---

## Referencias

- Abdullah, N., & Sulaiman, F. (2013). The Oil Palm Wastes in Malaysia. En *Biomass Now. Sustainable Growth and Use* (Vol. 3, pp. 97-103). doi:10.1016/j.jclepro.2012.04.004
- Barrera, J., Ramírez-Contreras, García-Núñez, J. A., & Guevara, F. (2016). Diagnóstico del desempeño en consumo de energía eléctrica en plantas de beneficio en Colombia. *Palmas*, 37(4), 47-62.

- Basu, P. (2006). *Combustion and Gasification in Fluidized Beds*. Boca Ratón: CRC Press. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Bushnell, D. J. (1989). *Biomass fuel characterization: Testing and evaluating the combustion characteristics of selected biomass fuels*. Department of Mechanical Engineering, Oregon State University.
- Caillat, S., & Vakkilainen, E. (2013). Large-scale biomass combustion plants: an overview. En *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering* (pp. 189-224). Woodhead Publishing Limited. doi:10.1533/9780857097439.3.189
- Cala-Gaitán, G., & Bernal-Castillo, G. (2008). *Procesos modernos de extracción de aceite de palma*. Bogotá: Fedepalma.
- Carbon Trust. (2008). Biomass heating. En *A Practical Guide for a Potential Users* (pp. 19-21). London: Carbon Trust.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Ciudad de México: McGraw Hill Interamericana.
- Cengel, Y., & Boles, M. E. (2011). *Termodinámica*. Ciudad de México: McGraw Hill Interamericana.
- Cenipalma (2014). *Informe de labores 2014*. Bogotá: Fedepalma.
- Demirbas, A. (2002). Relationships Between Heating Value and Lignin, Moisture, Ash and Extractive Contents of Biomass Fuels. *Energy, Exploration & Exploitation*, 20(1), 105-111. doi: 10.1260/014459802760170420
- Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(2), 219-230. doi:10.1016/j.pecs.2003.10.004
- Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(2), 171-192. doi:10.1016/j.pecs.2005.02.002
- Faaij, A. P. (2004). Biomass Combustion. In *Encyclopedia of Energy* (Vol. I, pp. 175-191). doi:10.1016/B0-12-176480-X/00355-7
- García-Núñez, J., & Yañez, A. E. E. (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 31(2), 41-48.
- García-Pérez, M., Wang, S., Shen, J., Rhodes, M., & Lee, W. J. (2008). Effects of temperature on the formation of lignin-derived oligomers during the fast pyrolysis of mallee woody biomass. *Energy & Fuels*, 22(3), 2.022-2.032.
- Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. & Wiest, W. (2004). Transformación termoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma: tecnologías y perspectivas. *Palmas*, 25(II), 388-397.

- Grass, S. W., & Jenkins, B. M. (1994). Biomass fueled fluidized bed combustion: atmospheric emissions, emission control devices and environmental regulations. *Biomass and Bioenergy*, 6(4), 243-260. doi:10.1016/0961-9534(94)90064-7
- Hoekstra, E., Westerhof, R. J. M., Brilman, W., Swaaij, W. P. M. Van, Kersten, S. R. A., Hogendoorn, K. J. A., & Windt, M. (2011). Heterogeneous and Homogeneous Reactions of Pyrolysis Vapors from Pine Wood. *AIChE journal*, 58(9), 2.830-2.842 doi:10.1002/aic.12799
- Hupa, M., Karlström, O., & Vainio, E. (2016). Biomass Combustion Technology Development. It is all about Chemical Details. *Proceedings of the Combustion Institute*, 36(1), 113-134. doi:10.1016/j.proci.2016.06.152
- Hurskainen, M., & Vainikka, P. (2015). Technology options for large-scale solid-fuel combustion. En *Fuel Flexible Energy Generation* (pp. 177-199). Woodhead Publishing.
- Husain, Z., Zainal, Z. A., & Abdullah, M. Z. (2002). Analysis of biomass-residue-based cogeneration system in palm oil mills. *Biomass and Bioenergy*, 24(2), 117-124. doi:10.1016/S0961-9534(02)00101-0
- Jenkins, B., Baxter, L., Miles, T., & Miles, T. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel processing technology*, 54(1-3), 17-46. doi:10.1016/S0378-3820(97)00059-3
- Kanaujia, P. K., Sharma, Y. K., Garg, M. O., Tripathi, D., & Singh, R. (2014). Review of analytical strategies in the production and upgrading of bio-oils derived from lignocellulosic biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 55-74. doi:10.1016/j.jaap.2013.10.004
- Khan, A. A., De-Jong, W., Jansens, P. J., & Spliethoff, H. (2009). Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel processing technology*, 90(1), 21-50. doi:10.1016/j.fuproc.2008.07.012
- Lassi, U. L. H. (2013). *Biomass to energy and chemicals*. Oulu: University of Oulu.
- Leckner, B. (2013). Atmospheric (non-circulating) fluidized bed (FB) combustion. En *Fluidized bed Technologies for near-zero Emission Combustion and Gasification* (pp. 641-668). Woodhead Publishing. doi:10.1533/9780857098801.3.641
- Loh, S. K. (2016). The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source. *Energy Conversion and Management*, 141, 285-298. doi:10.1016/j.enconman.2016.08.081
- Mandø, M. (2013). *Direct combustion of biomass*. *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering*. Woodhead Publishing Limited. doi:10.1533/9780857097439.2.61
- Monroy, E. F. C. (2007). Integración energética en el proceso de extracción de aceite de palma. *Palmas*, 28(especial), 93-104.
- Ramírez-Contreras, N., Arevalo A., & Garcia-Nunez, J. (2015). Inventario de la biomasa disponible en plantas de beneficio para su aprovechamiento y caracterización fisicoquímica de la tusa en Colombia. *Palmas*, 36(4), 41-54.

- Ninduangdee, P., & Kuprianov, V. I. (2014). Combustion of palm kernel shell in a fluidized bed: Optimization of biomass particle size and operating conditions. *Energy Conversion and Management*, 85, 800-808. doi:10.1016/j.enconman.2014.01.054
- Ninduangdee, P., & Kuprianov, V. I. (2015). Combustion of an oil palm residue with elevated potassium content in a fluidized-bed combustor using alternative bed materials for preventing bed agglomeration. *Bioresource Technology*, 182, 272-281. doi:10.1016/j.biortech.2015.01.128
- Ninduangdee, P., & Kuprianov, V. I. (2016). A study on combustion of oil palm empty fruit bunch in a fluidized bed using alternative bed materials: Performance, emissions, and time-domain changes in the bed condition. *Applied Energy*, 176, 34-48. doi:10.1016/j.apenergy.2016.05.063
- Nowak, W., & Mirek, P. (2013). Circulating fluidized bed combustion (CFBC). En *Fluidized bed technologies for near-zero emission combustion and gasification* (pp. 701-764). Woodhead Publishing. doi:10.1533/9780857098801.3.701
- Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O., & Catalão, J. P. S. (2016). Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 235-242. doi: 10.1016/j.rser.2015.08.053
- Nussbaumer, T. (2003). Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy and Fuels*, 17(6), 1.510-1.521. doi: 10.1021/ef030031q
- Nussbaumer, T. (2010). *Overview on technologies for biomass combustion and emission levels of particulate matter*. Zürich.
- Park, B., & Box, P. O. (2001). NFPA 85 Boiler and Combustion Systems Hazards Code, 2001 Edition. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.
- Ponce-Arrieta, F., Silva-Lora, E., Yañez, E., & Castillo, E. (2009). Potencial de cogeneración de energía eléctrica en la agroindustria colombiana de aceite de palma : tres estudios de casos Introducción. *Palmas*, 29(4), 59-72.
- Pongrácz, E. [Ed.] (2011). *Biomass and Waste To Energy Technologies : Environmental Impact Assessment* (Vol. 3). Oulu: University of Oulu.
- Rainio, A., Sharma, V., Bolhàr-Nordenkampf, M., Brunner, C., Lind, J., & Crosher, J. (2009). Fluidized Bed Technologies for Biomass Combustion. *ASME 2009 Power Conference*, (May), 97-105. doi:10.1115/POWER2009-81052
- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2.262-2.289. doi:10.1016/j.rser.2011.02.015
- Sarkar, D. K. (2015). Fluidized-Bed Combustion Boilers. En *Thermal Power Plant*. doi: 10.1016/B978-0-12-801575-9.00001-9

- Shimizu, T. (2013). Pressurized fluidized bed combustion (PFBC). En *Fluidized Bed Technologies for Near-Zero Emission Combustion and Gasification* (pp. 669-700). Elsevier. doi:10.1533/9780857098801.3.669
- Sommart, K., & Pipatmanomai, S. (2011). Assessment and improvement of energy utilization in crude palm oil mill. *2011 International conference on chemistry and chemical process IPCBEE* (Vol. 10, pp. 161-166).
- Tortosa-Masiá, A. A., Buhre, B. J. P., Gupta, R. P., & Wall, T. F. (2007). Characterising ash of biomass and waste. *Fuel Processing Technology*, 88(11-12), 1.071-1.081. <http://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.06.011>
- UNEP-DTIE Energy Branch. (2003). Fluidized Bed Combustion Boiler Technology For Cogeneration. *Energy*, 1-68.
- Vakkilainen, E. K. (2017). Fluidized Bed Boilers for Biomass. *Steam Generation from Biomass*, 211-236. doi:10.1016/B978-0-12-804389-9.00010-1
- Van-Loo, S. (2008). *The Handbook of Biomass Combustion and Cofiring*. Routledge.
- Wambeck, N. (1999). *Sinopsis del proceso de la palma de aceite*. Kuala Lumpur.
- Widell, H. (2013). Industrial-scale biomass combustion plants: engineering issues and operation. En *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering* (pp. 225-277). Woodhead Publishing. doi:10.1533/9780857097439.3.225
- Wolf, J. P., & Dong. (2013). Biomass combustion for power generation: an introduction. En *Biomass combustion science, technology and engineering* (pp. 3-8). Woodhead Publishing. doi:10.1533/9780857097439.1.3
- Yin, C. (2013). Biomass co-firing. En *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering* (pp. 84-105). doi:10.1533/9780857097439.2.84
- Yokoyama, S., & Matsumura, Y. (2008). *The Asian Biomass Handbook. A Guide for Biomass Production and Utilization Support*. Tokyo: The Japan Institute of Energy.
- Yunus, R., Omar, R., Abidin, Z. Z., & Biak, D. R. A. (2012). Oil Palm as Bioenergy Feedstock. *Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses, 2010*, 653-692. doi:10.1016/B978-0-9818936-9-3.50025-3

# Validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en planta de beneficio\*

Assessment of a Methodology for Measuring the Performance of Electric Power Consumption in Palm Oil Mills

**CITACIÓN:** Guerrero-Sánchez, A. E., Cala-Amaya, S., Mosquera-Montoya, M., Barrera-Hernández, J. C., & Peña-Mejía, C. (2018). Validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en planta de beneficio. *Palmas*, 39(4), 45-57.

**PALABRAS CLAVE:** módulo de producción, calidad de energía, uso eficiente de energía, factor demanda.

**KEYWORDS:** production section, quality of electric power, efficient use of electric power, demand factor.

**RECIBIDO:** agosto de 2018.

**APROBADO:** septiembre de 2018.

\* Artículo de investigación científica y tecnológica.

**ANDERSON E.**

**GUERRERO SÁNCHEZ**

Extensionista, Cenipalma

**SILVIA LILIANA CALA AMAYA**

Extensionista, Cenipalma

**MAURICIO MOSQUERA MONTOYA**

Coordinador de la División de

Validación, Cenipalma

mmosquera@cenipalma.org

**JUAN CAMILO BARRERA HERNÁNDEZ**

Auxiliar de investigación, Cenipalma

**CRISTHIAN CAMILO PEÑA MEJÍA**

Extensionista, Cenipalma

## Resumen

Este artículo presenta los resultados obtenidos en la validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en una planta de beneficio de la Zona Norte del país. Para las mediciones se utilizó un analizador de redes Fluke 434 Series II y se registraron parámetros asociados a la energía eléctrica como tensión, intensidad, potencia, factor de potencia, energía activa, energía reactiva, energía aparente y pérdidas asociadas a calidad de la energía eléctrica. Luego de reunir la información, se analizó el desempeño actual del uso de la energía eléctrica desde cuatro puntos de vista: generación o suministro, demanda, consumo y calidad. En el análisis de generación o suministro, se identificó que 62,8 % de la electricidad es proporcionada por sistema de cogeneración, 35,5 % por la red externa y 1,7 % por medio de plantas diésel.

A partir de la información histórica de precios, generación o consumos, se estimó un costo ponderado de energía de 218 \$/kWh. En el análisis de demanda, se encontró que la planta de beneficio cuenta con 2.357 kW de fuerza motriz instalada, de la cual solo utiliza, en promedio, el 41 %. En cuanto al consumo, se determinaron los valores de kWh con respecto a las toneladas de fruto procesado para cada área que integra la planta de beneficio. El resultado arrojó que el consumo de energía eléctrica para la planta estudiada es de 25,04 kWh/t RFF. El análisis de calidad de la energía determinó que las principales pérdidas son generadas por la energía activa y reactiva. Por último, se concluye que la metodología propuesta es de fácil implementación y permite medir el desempeño del consumo de energía, así como estimar oportunidades de ahorro al mejorar la calidad.

## Abstract

This paper presents the results of a research work aimed at validating a methodology proposed by Cenipalma for measuring the performance of electric power consumption in a palm oil mill (POM). We carried out this research at a POM located in the Colombian Northern Zone, whose milling capacity is 40 t of fresh fruit bunches per hour. We gathered the data with an energy analyzer (Fluke 434 Series II) at the control room of the mill, where the power system is constantly monitored by staff. We considered parameters associated with electric power, such as voltage, current, power, power factor, active energy, reactive energy, apparent energy, and losses associated to power quality. The data related to the use of electric power was analyzed based on four points of view: source of electric power generation, demand of electric power, consumption of electric power, and quality of electric power. The analysis of the source of power showed that 62.8% of the electric power is provided by the co-generation system, 35.5% comes from local generation, and 1.7% is supplied through diesel generators. By using the price of electric power according to the type of source, we estimated a weighted cost of 218 COP/kWh. The analysis on the demand of electric power allowed identifying that the palm oil mill under study has 2,357 kW of installed power, although it only uses 41% of this capacity (*i.e.* 966 kW). The analysis on consumption of electric power yielded an indicator of 25.04 kWh/t FFB. Regarding the power quality analysis, we determined that major losses are due to active energy and reactive energy. Finally, it is concluded that the proposed methodology is quite easy to implement at palm oil mills and that it allows estimating savings opportunities. Our study also provides indication on actions to be taken in order to using electric power more efficiently.

□

## Introducción

La estrecha relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico siempre ha estado enmarcada dentro de la productividad de las industrias. La energía eléctrica juega un rol clave para obtener la mayor rentabilidad, puesto que su alto costo o derroche afectan directamente los costos de producción. Así mismo, debe considerarse que los sistemas eléctricos son los más grandes emisores de gases de efecto invernadero (GEI). Para el 2010, todo el sector de energía a nivel mundial era el responsable del 35 % de las emisiones de GEI antropogénicas (Yacob *et al.*, 2014). Ante tal escenario, implementar estrategias para reducir el

consumo de energía no solo mejorará el rendimiento económico, sino que ayudará a reducir algunas causas del cambio climático.

Para las plantas de beneficio de fruto de palma, la implementación de fuentes renovables de energía, así como el monitoreo y control del sistema eléctrico, son estrategias necesarias para reducir la generación de gases de efecto invernadero, además de reflejarse en beneficio económico. Proyectos y actividades encaminadas al uso eficiente de la energía eléctrica en el proceso de extracción de aceite pueden reducir hasta en 12 % los costos asociados a consumo de energía (Barrera-Hernández, Ramírez-Contreras, Garcia-Nunez, & Guevara Trujillo, 2016).

Para lograr ahorros de energía, es necesario generar indicadores sobre el desempeño de consumo de energía confiables y de fácil medición que permitan la toma de decisiones en pro de optimizar el uso de la energía. Con el fin de establecer los indicadores apropiados para el sector, el programa de procesamiento de Cenipalma desarrolló una metodología para la medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en plantas de beneficio (Barrera-Hernández *et al.*, 2016). Posteriormente, se realizó un ejercicio de validación de esta metodología en una planta de beneficio de la Zona Norte, cuyo resultado se presenta en este documento.

## Metodología

La metodología del uso eficiente de energía eléctrica está concebida como un ciclo de mejoramiento continuo y se ajusta a la norma ISO 50001. El presente trabajo es un diagnóstico del desempeño en consumo de energía (ISO, 2011) para una planta de beneficio de la Zona Norte, ubicada en el municipio de El Copey (Cesar), con una capacidad instalada de 40 t RFF/h, 2 t almendra/h y un sistema de cogeneración de 1 MW.

Como actividad preliminar, se identificaron las condiciones de la red de distribución de energía eléctrica en las instalaciones de la planta de estudio. En este caso particular, se excluyeron del análisis los consumos correspondientes a las áreas no asociadas a la producción (administrativas y de servicios).

Se identificaron nueve puntos de medición correspondientes a cada área de proceso (generación de vapor, esterilización, recepción de RFF y prensado de tusa, digestión y prensado, clarificación, desfibración, palmistería, extracción de aceite de palmiste y planta de tratamiento de agua). Utilizando un analizador de redes Fluke 434 Serie II se hicieron mediciones de las variables asociadas al consumo de la energía eléctrica: tensión (voltaje), intensidad eléctrica (corriente), potencia eléctrica (potencia activa, reactiva y aparente), factor de potencia, frecuencia, energía eléctrica (activa, reactiva y aparente) y pérdidas por calidad de energía (activa, reactiva, desequilibrios, armónicos y neutro). Adicionalmente, durante el tiempo de estudio se tomaron diariamente los datos de producción necesarios para el cálculo de los indicadores de

consumo específico y de calidad de la energía. Posterior a la recolección de los datos, se realizó el análisis considerando cuatro enfoques, a saber:

## Análisis de generación, fuente o suministro

Se identificó la relación y cantidad de energía utilizada por la planta de beneficio durante los tres años anteriores al estudio. El costo de la energía eléctrica está asociado a la fuente de donde proviene (planta diésel, red pública y cogeneración) y a la proporción en que esta se utiliza dentro del proceso. Por tanto, se hace necesario establecer la tendencia de consumo en la planta de beneficio (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

## Análisis de demanda eléctrica

Para este análisis se caracterizó la fuerza motriz instalada en la planta de beneficio. A partir de un censo de carga realizado se clasificó la fuerza motriz por áreas de producción (generación de vapor, esterilización, recepción de fruta y prensado de tusa, digestión y prensado, desfibración, clarificación, planta de tratamiento de agua, palmistería, palmiste) y por módulos de producción (APC<sup>1</sup>, RAPC<sup>2</sup>, RAP<sup>3</sup>, EAPL<sup>4</sup> y GVA<sup>5</sup>) (Montero-Vega *et al.*, 2013). Posteriormente, se calculó el factor de carga, factor demanda y la distribución promedio de la potencia instantánea utilizada (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

## Potencia instalada o fuerza motriz

La potencia instalada varía dependiendo de la tecnología utilizada y de la disponibilidad de dos o más líneas de producción en paralelo. Con el fin de realizar ejercicios de referenciación tecnológica (*benchmarking*), la potencia instalada se suma de acuerdo a los módulos de producción.

- 1 Aceite de palma crudo.
- 2 Recuperación de aceite de palma.
- 3 Recuperación de almendra de palma.
- 4 Extracción de aceite de palmiste.
- 5 Generación de vapor.

## Factor de carga

El factor de carga es la relación entre la carga promedio utilizada y la carga máxima del sistema. A partir de los valores de potencia instantánea medida y la potencia instalada, se procede a calcular el factor de carga para cada uno de los módulos de producción que componen la planta de beneficio. Para calcular el factor de carga se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{carga promedio}}{\text{carga máxima}} = \frac{\text{energía consumida durante un periodo}}{(\text{demanda máxima}) \times (\text{tiempo bajo consideración})} \quad (\text{Ec. 1})$$

El factor de carga es un indicador que relaciona, en la planta de beneficio, el consumo de energía real con el proyectado, bajo un escenario de operación continua durante un periodo de tiempo determinado. El factor de carga puede variar entre 0 y 100 %, siendo preferible un valor cercano al 100 %, para garantizar un aprovechamiento eficiente de la capacidad productiva de la planta.

## El factor demanda

El factor de demanda corresponde la relación entre la demanda promedio del sistema y la demanda máxima posible. Su cálculo se hace a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Factor demanda} = \frac{\text{potencia promedio (kW)}}{\text{potencia nominal (kW)}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Se calcula a partir de la potencia instantánea promedio medida en las instalaciones y se compara con la potencia instalada. Esta variable tiene como objetivo identificar la relación de potencia que realmente está siendo utilizada en la planta de beneficio. Se busca que el factor de demanda se encuentre cerca del 75 % de carga, ya que en este punto los motores eléctricos son más eficientes. A partir de un factor de carga del 90 %, los módulos de producción se exponen a sobrecargas.

## Análisis de consumo específico de energía eléctrica

Se determinó el consumo de energía promedio en una jornada laboral de 16 a 24 horas. La energía es

agrupada según áreas de producción donde se conoce la distribución de la planta de beneficio. En este análisis se determinan los indicadores de consumo específico de energía eléctrica (ICEE), los cuales permiten conocer el desempeño de la planta de beneficio. El indicador consiste en la relación de energía utilizada con respecto a la materia prima procesada (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

## Análisis de calidad de energía eléctrica

En este análisis se discriminan las pérdidas asociadas a la calidad de la energía eléctrica:

- Pérdidas por energía activa: asociadas al calor disipado por los conductores a causa del transporte de energía.
- Pérdidas por energía reactiva: relacionadas con el exceso de corriente para compensar el bajo factor de potencia.
- Pérdidas por desequilibrios: corresponden a desbalances de la red trifásica por magnetización de la fase y disipación de calor.
- Pérdidas por armónicos: se generan por superposición de frecuencias parásitas que generan oscilaciones en las redes.
- Pérdidas por neutro: se producen por falta de conexión a polo a tierra.

Las causas más comunes de las pérdidas de energía eléctrica asociadas a la calidad, generalmente corresponden a conductores deteriorados o subdimensionados, fallas en la compensación del factor de potencia, fallas en la distribución y aislamiento de la red eléctrica y, para el caso de pérdidas por presencia de armónicos, fallas causadas por la presencia de variadores de frecuencia (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

## Resultados

### Análisis de generación, fuente o suministro

En la Figura 1 se ilustra el consumo mensual de la planta estudiada para el periodo 2014-2016. En 2014 la planta de beneficio registró un consumo de 4.983 MWh, en 2015 de 4.974 MWh y en 2016 de 3.447

MWh. Es decir, hubo una disminución de 30,75 % en 2016 con relación al promedio de los años anteriores. El menor consumo de energía eléctrica durante 2016 está asociado a la disminución de la fruta procesada (35 % con relación a los dos años anteriores), como consecuencia de la reducción en la producción de fruta, atribuida al fenómeno El Niño que azotó la región y a la renovación de algunos lotes por parte de la plantación. En la Figura 1 se puede apreciar el aumento del consumo de energía frente al promedio de consumo mensual (372 MWh) durante el primer semestre de 2014 y 2015. Estos aumentos están asociados a picos de producción.

En la planta extractora estudiada, la energía eléctrica utilizada en el proceso es suministrada por tres fuentes:

- Sistema de cogeneración con turbina, el cual suministra entre 60 y 80 % de la energía necesaria para el proceso de extracción de aceite.
- Red eléctrica local, la cual suministra lo restante, entre 20 y 40 % de la energía requerida para el proceso de extracción de aceite.

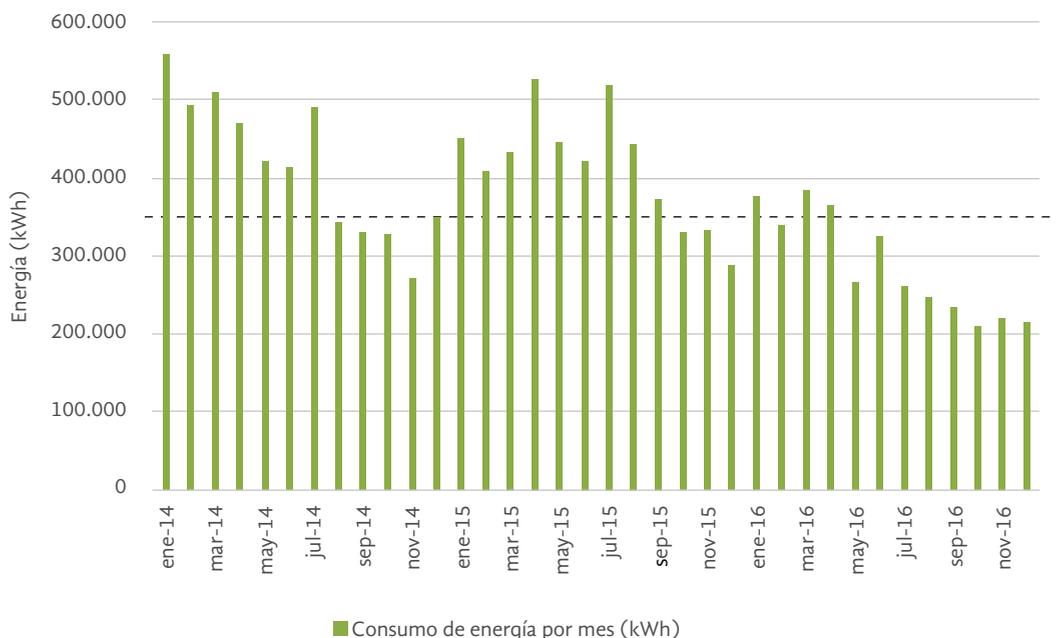
- Plantas diésel que solo entran en funcionamiento para subsanar cortes inesperados o programados en el suministro de energía por la red local y cuando se realiza mantenimiento al sistema de cogeneración.

## Distribución de energía consumida según fuente

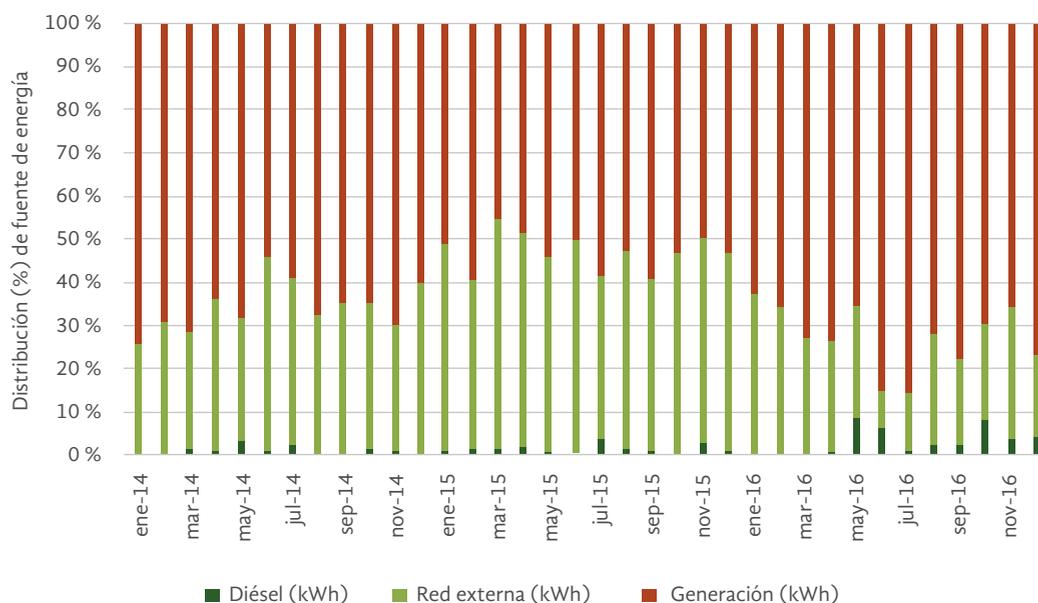
La Figura 2 representa la evolución de la proporción en el suministro mensual de la energía eléctrica según la fuente utilizada. Esta información permite proyectar metas de consumo. El cálculo del valor de la energía consumida (\$/kWh) es una herramienta necesaria para determinar oportunidades de mejora y tiempos de recuperación de la inversión.

Para el periodo 2014-2016, el 62,8 % del consumo de energía en la planta de estudio provino de la cogeneración, siendo esta la de menor costo con respecto al total ponderado para el mismo periodo, con un valor de 88 \$/kWh (Tabla 1).

**Figura 1.** Energía eléctrica histórica consumida por la planta estudiada (2014-2016).



**Figura 2.** Relación de energía eléctrica consumida según fuente.



**Tabla 1.** Costo ponderado de la energía eléctrica para el periodo 2014-2016.

Fuente	Precio (\$/kWh)	Proporción (%)	Precio ponderado por fuente (\$/kWh)	Precio ponderado (\$/kWh)
Cogeneración	140	62,8	88	
Red externa	336	35,5	120	218
Generación diésel	585	1,7	10	

En este orden de ideas, es importante destacar que en el 2016 la planta de estudio instaló un sistema de sincronismo para realizar transferencias automáticas e igualar la frecuencia y el voltaje de las diferentes fuentes de suministro de energía mediante controladores. Durante ese periodo, el 73 % de la energía consumida por el proceso provino de la cogeneración. Esta acción de mejora contribuyó al aumento del factor de carga de la turbina y evitó problemas de contrapresión (menores fallas por operación) y la optimización de los turbogeneradores (mejor administración de la potencia generada).

## Análisis de demanda eléctrica

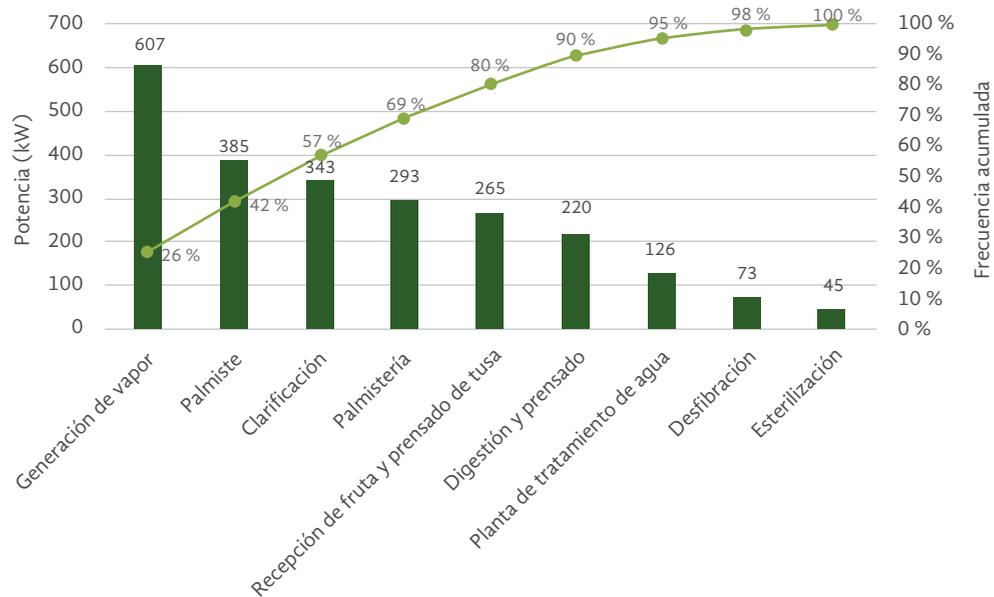
### Potencia instalada

A partir de información suministrada por la planta, se agruparon cada uno de los equipos por áreas de proceso mediante un diagrama de Pareto. En total se cuenta con 2.357 kW de fuerza motriz instalada. Se encontró que 80 % de la demanda eléctrica está concentrada en las áreas de generación de vapor, extracción de aceite de palmiste, clarificación, palmistería y recepción de fruta (Figura 3).

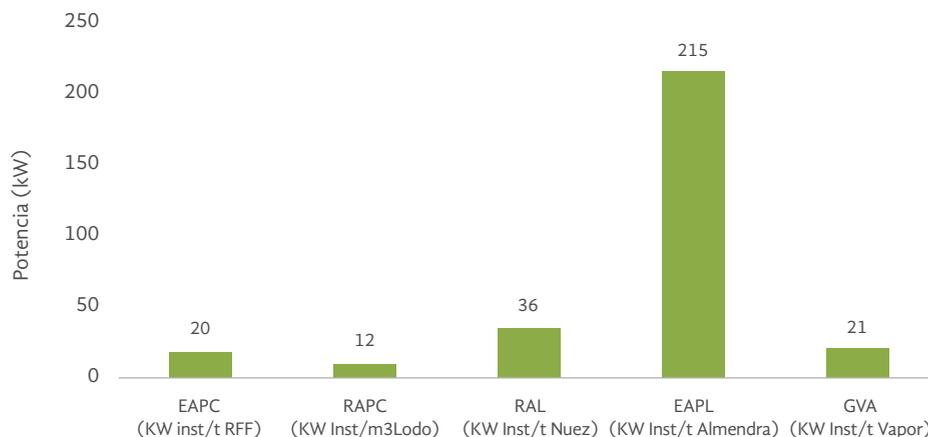
En el caso de planta extractora estudiada, se calculó la potencia instalada para cada uno de los módulos anteriormente mencionados. La Figura 4 presenta la fuerza motriz necesaria para el proceso de extracción de aceite, la cual va a depender de la existencia de

equipos en paralelo (*stand by*) y del nivel de tecnología. El objetivo principal del cálculo por módulos de producción es conocer si existen excedentes de fuerza motriz instalada para el procesar una tonelada de fruta.

**Figura 3.** Diagrama de Pareto de potencia instalada por áreas de producción en la planta estudiada.



**Figura 4.** Relación de fuerza motriz instalada por módulos de producción en la planta estudiada.



El módulo de mayor potencia instalada es el de EAPL<sup>6</sup> como consecuencia del uso de un sistema de doble prensado para extracción de aceite de palmiste. Este tipo de tecnología conlleva a tener una línea de prensas tipo *expeller* de igual capacidad para prensar torta. En módulo de RAPC<sup>7</sup> es el de menor potencia instalada, debido a que la planta en estudio aumenta la capacidad de las centrifugas con el cambio del rotor, manteniendo la misma potencia instalada (Monte-ro-Vega *et al.*, 2013).

## Factor de carga

La Figura 5 indica que solo se presentó una etapa (desfibración) con un factor de carga por encima de 60 %, indicando ineficiencia en la utilización de los equipos. En las etapas de generación de vapor y clarificación se presenta un bajo factor de carga debido a que se tienen varios equipos en paralelo (*stand by*). Para otras etapas del proceso como tratamiento de agua, recepción de

fruto o esterilización, la baja utilización se debe a que trabaja por baches o de manera intermitente. El factor de carga no debe ser confundido con el factor demanda, el cual se calcula más adelante.

Con el objetivo de validar la metodología se hicieron mediciones en cada una de las etapas del proceso durante una semana. Sin embargo, se recomienda hacer el cálculo con información mínima de un año. Para obtener un factor de carga más preciso, se sugiere que la planta de beneficio realice individualmente las pruebas de carga en cada motor de la planta o repetir el ejercicio realizado en cada etapa de proceso.

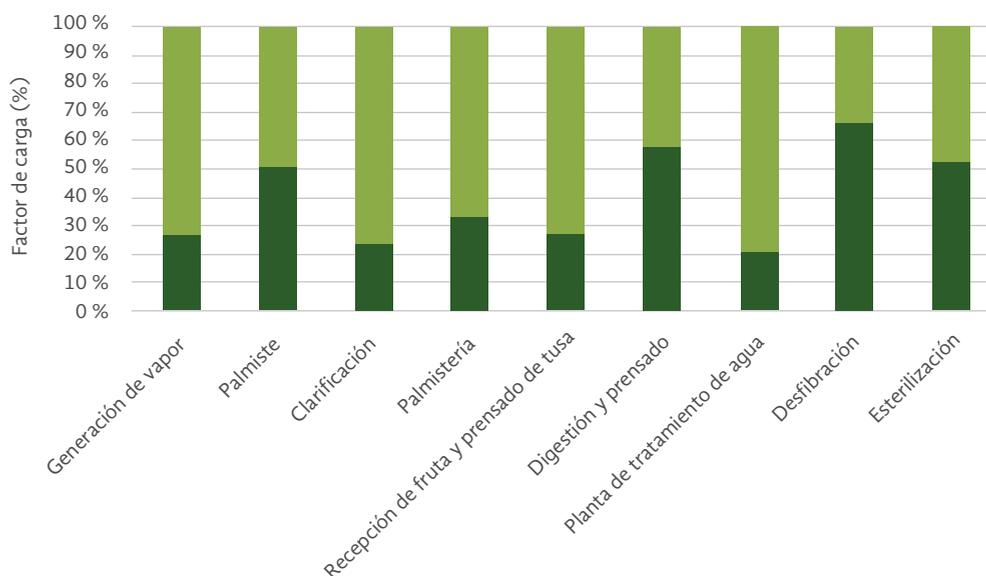
## Factor demanda

La planta de beneficio tiene un factor demanda de 41 %. Es decir, solo se utiliza 604 kW de potencia promedio, con respecto a una potencia instalada de 1.472 kW (Figura 6), lo cual indica que existen áreas del proceso en las que se presenta sobredimensionamiento de equipos (como la esterilización) y otras en donde hay equipos en *stand by* (generación de vapor y clarificación).

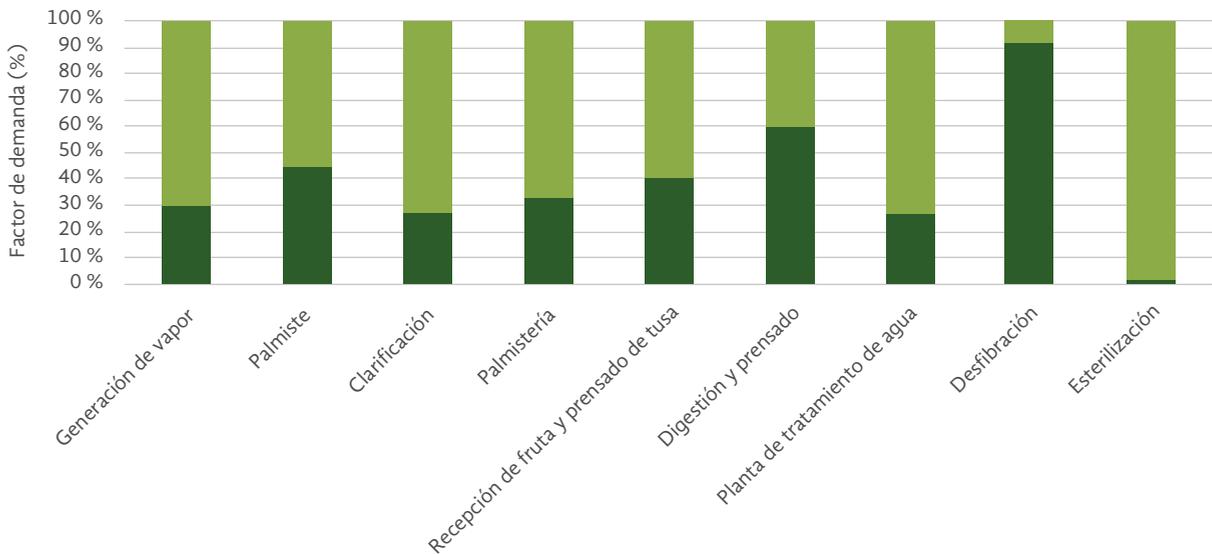
6 EAPL: extracción de aceite de palmiste.

7 RAPC: recuperación de aceite de palma crudo.

**Figura 5.** Factor de carga por módulos de producción.



**Figura 6.** Factor demanda por módulos de producción.



Dado que existe un exceso de fuerza motriz instalada, es necesario aclarar que muchos de los equipos en *stand by* son necesarios debido a la criticidad en el proceso, al uso para mantenimiento de equipos y, en algunos casos, para garantizar la disponibilidad de la planta de beneficio.

## Análisis de consumo específico de energía eléctrica

### Energía global promedio consumida

La planta extractora de estudio consumió 14.560 kWh por día de producción durante el periodo de evaluación, siendo las áreas de extracción de aceite de palmiste y de generación de vapor las de mayor consumo de energía con 3.697 y 2.561 kWh, respectivamente.

La Tabla 2 presenta la distribución de la energía por cada área de producción de estudio. Adicionalmente, se adjunta el consumo de energía reactiva y el factor de potencia para cada una de las áreas con el objetivo de identificar necesidades de compensación de bajo factor de potencia con banco de condensadores. Es necesario tener en cuenta que se debe mantener un factor de potencia superior a 0,85 con el fin

de reducir al máximo el consumo de energía reactiva. Los bajos factores de potencia en las diferentes áreas de proceso (excepto digestión y prensado) se pueden corregir realizando compensación con banco de condensadores (individuales, por grupos o centralizada). Con la compensación, se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante; es decir, mejora el factor de potencia.

### Indicadores de consumo específico por área de proceso

A partir del ejercicio realizado en la planta de estudio, se determinó un consumo promedio de energía eléctrica de 25,04 kWh/t RFF. El indicador calculado cuantifica la energía utilizada por la planta de beneficio para el proceso, incluyendo la extracción de aceite de palmiste.

La Tabla 3 presenta los valores mínimos, promedios y máximos registrados durante la etapa de medición de consumo de energía eléctrica en la planta de beneficio, de acuerdo con cada área de producción y servicio. Por su parte, la Figura 7 muestra que el área extracción de aceite de palmiste requiere la mayor cantidad de energía para procesar una tonelada de

RFF, con un indicador promedio de 5,24 kWh/t RFF, representando el 20,93 % de la energía consumida por la planta de beneficio. La generación de vapor tiene un indicador promedio de 5,19 kWh/t RFF equivalente a

20,71 %, mientras que la digestión y prensado requieren en promedio 3,35 kWh/t RFF, correspondiente a 13,39 %. Estas tres áreas consumen el 55,03 % de la energía total del proceso.

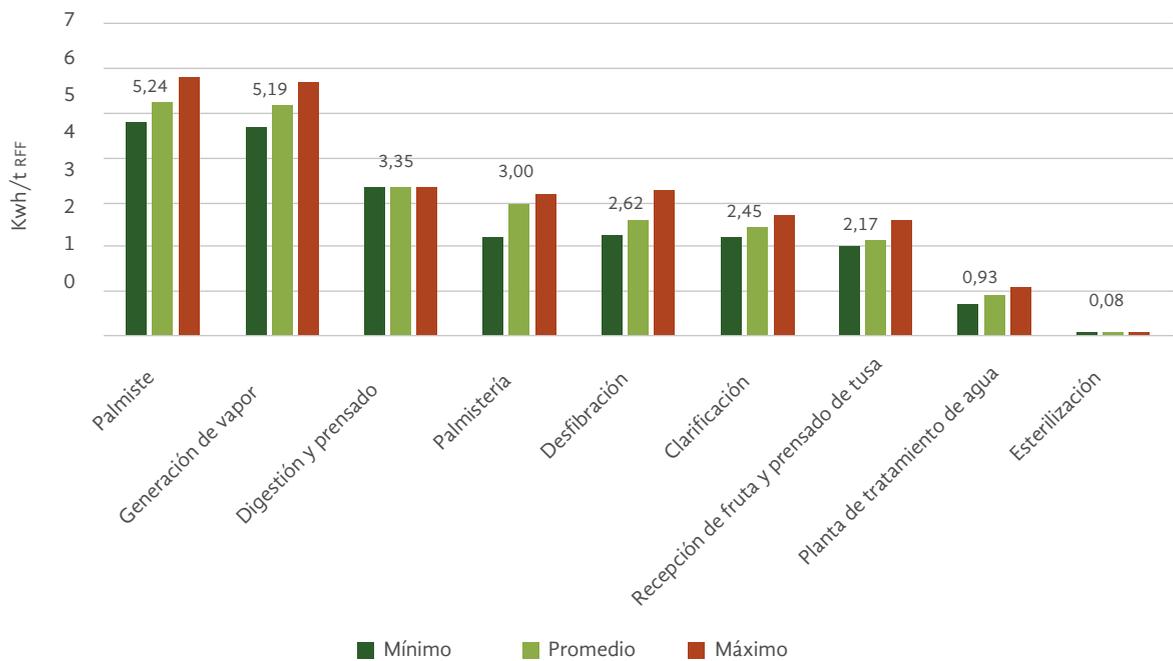
**Tabla 2.** Energía promedio consumida en la planta de beneficio estudiada.

Áreas de proceso	Energía activa (kWh)	Energía aparente (kVAh)	Energía reactiva (kVARh)	Factor de potencia
Extracción de aceite de palmiste	3.696,61	4.778,85	3.051,09	0,77
Generación de vapor	2.561,21	2.980,94	1.509,40	0,63
Digestión y prensado	1.035,08	1.201,38	601,92	0,87
Palmistería	1.529,90	2.038,73	1.956,59	0,57
Desfibración	901,11	767,12	479,45	0,75
Clarificación	889,44	929,46	876,80	0,71
Recepción de RFF y prensado de tusa	1.754,47	2.731,25	2.045,71	0,72
Planta de tratamiento de agua	564,84	890,81	545,32	0,63
Esterilización	22,27	44,80	34,49	0,26
<b>Total</b>	<b>12.954,92</b>	<b>16.363,34</b>	<b>11.100,78</b>	<b>0,67</b>

**Tabla 3.** Indicadores de consumo específico de energía eléctrica por módulos de producción.

Energía (kWh/t RFF)	Mínimo		Promedio		Máximo	
	ICEE	Pérdida	ICEE	Pérdida	ICEE	Pérdida
Extracción de aceite de palmiste	4,78	1,13	5,24	1,38	5,82	1,65
Generación de vapor	4,67	1,07	5,19	1,22	5,71	1,37
Digestión y prensado	3,35	0,51	3,35	0,51	3,35	0,51
Palmistería	2,20	0,01	3,0	0,57	3,17	0,68
Desfibración	2,27	0,37	2,62	0,60	3,28	0,83
Clarificación	2,20	0,01	2,45	0,27	2,72	0,44
Recepción RFF y prensado de tusa	2,01	0,30	2,17	0,32	2,59	0,36
Planta de tratamiento de agua	0,73	0,07	0,93	0,07	1,13	0,08
Esterilización	0,04	0,00	0,08	0,00	0,12	0,00
<b>Total</b>	<b>22,26</b>	<b>3,45</b>	<b>25,04</b>	<b>4,94</b>	<b>27,88</b>	<b>5,91</b>

**Figura 7.** Indicador de consumo específico por módulo de producción.



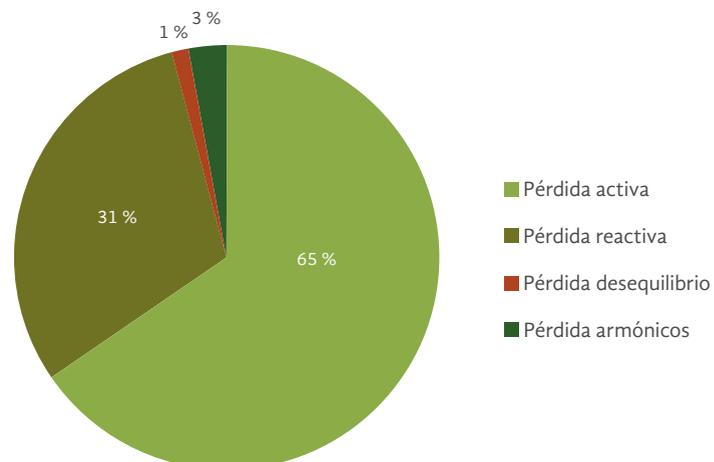
## Análisis de calidad de energía eléctrica

### Distribución de pérdidas de energía eléctrica asociadas a calidad

La distribución de pérdidas de energía eléctrica permite conocer la relación de cada uno de los componentes de las pérdidas asociadas a la calidad de la energía, de

acuerdo con las condiciones de la planta extractora. La presencia de cada una de las pérdidas mencionadas anteriormente cambia en la medida que mejore la eficiencia de la red. Para el caso de planta extractora de estudio, la Figura 8 presenta la distribución promedio de las pérdidas de energía eléctrica asociada a calidad de la energía eléctrica para el módulo de APC (aceite de palma crudo).

**Figura 8.** Distribución de pérdidas de energía eléctrica asociadas a la calidad.



Para el caso estudiado, las pérdidas por energía activa y reactiva son las más relevantes. De acuerdo con este resultado, se sugiere la revisión de los conductores de la red de distribución, de modo que se logre reducir al máximo las pérdidas por energía activa. Las pérdidas generadas a causa de energía reactiva deben ser compensadas individualmente en cada uno de los tableros por medio de condensadores. Los tableros de condensadores que actualmente tiene la planta de beneficio solo resuelven los problemas de pérdidas por energía reactiva antes de la red de distribución a las áreas de proceso.

### Distribución de pérdidas en indicadores de producción por módulos

La Figura 9 presenta la distribución de las pérdidas por calidad de energía en cada uno de los módulos de producción. Las áreas de prensado, tratamiento de agua, desfibrado y extracción de aceite de palmiste presentan pérdidas promedio por energía activa mayores a 50 % causadas por el nivel de tensión al que operan los equipos (220 V), el estado del cableado y la distancia hasta cuarto de control.

Al respecto, existe una oportunidad de ahorro mejorando las pérdidas por energía reactiva en las áreas de proceso como las de generación de vapor, de esterilización y de palmistería, realizando una compensación del factor de potencia con banco de condensadores.

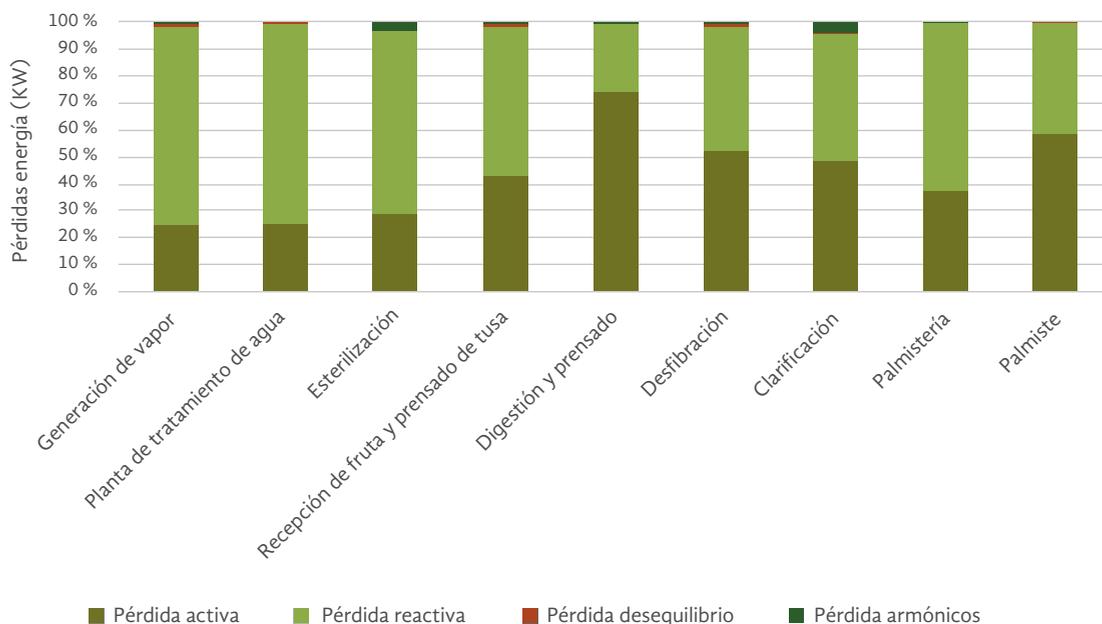
### Conclusiones

La metodología de diagnóstico del desempeño en el consumo de energía eléctrica es una herramienta de fácil adopción por parte de las plantas de beneficio, debido a la configuración del sistema energético instalado y a que cuentan con la información necesaria para realizar análisis de generación, fuente de suministro y demanda.

La metodología es una herramienta que permite la identificación de oportunidades de ahorro en el consumo de energía, optimización en el manejo y aprovechamiento de la fuerza motriz instalada. Adicionalmente, discrimina las pérdidas asociadas a la calidad de la energía eléctrica.

La planta de estudio puede disminuir hasta en 16 % el costo ponderado del kW de energía eléctrica, man-

Figura 9. Distribución de pérdidas por áreas.



teniendo el consumo de energía generada por el sistema de cogeneración en un 80 % como en los meses de mayo y junio de 2016.

El potencial de ahorro de pérdidas de energía activa y reactiva de la planta en estudio es de 2 kWh/t RFF. Este ahorro se puede lograr aumentando factor de potencia de 0,67 a 0,90 y subiendo la tensión a 440 V, lo que resulta en un ahorro equivalente al 8 % del costo de la energía eléctrica.

El factor demanda de una planta de beneficio puede verse afectado por un exceso en la fuerza motriz instalada. Sin embargo, en muchos casos, los equipos en *stand by* son usados para asegurar la disponibilidad de la misma. En efecto, su función es la de mantener la capacidad de procesamiento de

la planta, ya que entran en operación cuando hay fallas no programadas. Luego, es necesario hacer un balance entre la criticidad del equipo y su impacto sobre el factor demanda.

Una planta de beneficio que busque ser eficiente debe realizar medición de todas las variables asociadas al proceso productivo, incluyendo la energía eléctrica. Por tal motivo, es necesario implementar indicadores que permita observar las tendencias en el consumo del recurso, tales como el factor de carga, el factor demanda y la relación entre potencia instalada y el consumo de energía específico por áreas de proceso. La cuantificación periódica de estos indicadores permitirá hacer seguimiento al uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

---

## Referencias bibliográficas

- Applus. (2011). *Guía metodológica para el uso eficiente de la energía en el sector de los alimentos*. Bogotá.
- Barrera Hernández, J. C., Ramirez Contreras, N. E., Garcia-Nunez, J. A., & Guevara Trujillo, F. E. (2016). Diagnóstico del desempeño en consumo de energía eléctrica en plantas de beneficio en Colombia. *Palmas*, 37(4), 1-15.
- Edomalt, N. (2013). Optimizing Energy Consumption in Industrial Plants through Effective Energy Monitoring & Targeting. *International Journal of Engineering and Technology*, 2013(7), 1-4.
- EOI Escuela de Negocios & Gas Natural Fenosa. (2008). *Manual de eficiencia energética*. Madrid: Gas Natural Fenosa.
- Grupo de gestión eficiente de energía; Grupo de investigación de energías. (s.f.). *Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética*. Bogotá, Colombia: UPME.
- ISO. (2011). *Sistemas de gestión de la energía ISO/FDIS 50.001*. Geneva: ISO.
- Montero-Vega, J. C., Díaz-Rangel, C. A., Guevara-Trujillo, F. E., Cepeda-Rugeles, A. H., & Barrera-Hernández, J. C. (2013). *Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en planta de beneficio*. Bogotá: Cenipalma.
- Yacob, M., Edgar, H., Keywan, R., Thomas, G., & Karsten, N. (2014). *Energy Systems. Mitigation of Climate Change*. New York: Cambridge University Press.

## Los mitos ambientales de la palma de aceite

### Environmental Myths around Oil Palm

**CITACIÓN:** Rivera-Méndez, Y. D., & Romero, H. M. (2018). Los mitos ambientales de la palma de aceite. *Palmas*, 39(4), 58-68.

**PALABRAS CLAVE:** agroecosistema, balance de carbono, biodiversidad, huella hídrica, sostenibilidad.

**KEYWORDS:** Agroecosystem, carbon balance, biodiversity, water footprint, sustainability.

**RECIBIDO:** agosto de 2018.

**APROBADO:** septiembre de 2018.

\* Artículo de revisión de literatura.

**YURANY DAYANNA RIVERA MÉNDEZ**  
Investigadora asociada. Programa de  
Biología y Mejoramiento de la Palma,  
Cenipalma

**HERNÁN MAURICIO ROMERO ÁNGULO**  
Director de investigación, Cenipalma  
Departamento de Biología, Universidad  
Nacional de Colombia  
hromero@cenipalma.org

### Resumen

La palma de aceite es un *commodity* entre los cultivos oleaginosos que provee el aceite vegetal más utilizado en el mundo. Sin embargo, este cultivo ha estado en el centro de la controversia ambiental debido a los efectos de su reciente expansión. En Colombia, a diferencia del Sudeste Asiático, la expansión del cultivo de palma de aceite se ha producido en tierras previamente transformadas o utilizadas bajo otro sistema productivo, por lo que sus consecuencias ambientales son considerablemente menores. Para confirmarlo, se describió el sistema productivo colombiano a través de la compilación de diversos estudios relacionados con el balance de carbono, la huella hídrica y la conservación de la biodiversidad. Los resultados de este análisis señalan que el agroecosistema de la palma de aceite en Colombia es similar a un bosque, no solo por su

naturaleza perenne, sino también por su respuesta ecofisiológica a escala de ecosistema, sobrepasando incluso los niveles de fotosíntesis, producción de oxígeno, acumulación de biomasa y carbono. Adicionalmente, la evidencia muestra que la palma de aceite en Colombia no reemplaza (ni reemplazó) bosques tropicales, tiene un impacto reducido sobre el agua y el aire y no agota la biodiversidad. Por el contrario, este cultivo es muy eficiente en el uso y consumo de agua, por lo que su huella hídrica es menor con respecto a otros cultivos. Además, cuando ocurre en conjunto con áreas de bosque natural u otras con alto valor de conservación mantiene el flujo de aves y protege la biodiversidad. Este panorama positivo constituye un sistema de apoyo para la construcción de indicadores agroambientales que permitan tomar decisiones respecto a los impactos y la sostenibilidad de prácticas adoptadas bajo esquemas de certificación como la RSPO.

## Abstract

Oil palm is a commodity within oilseed crops that provides the most used vegetable oil in the world. However, its cultivation has been at the center of the environmental controversy due to the effects of its recent expansion. Unlike Southeast Asia, the expansion of this crop in Colombia has occurred in lands that were previously occupied by other production systems; therefore, the environmental impacts of oil palm in this country are significantly lower. To confirm this, the Colombian productive system was described through the compilation of various studies related to carbon balance, water footprint and biodiversity conservation in this oilseed crop. Results show that the oil palm agro-ecosystem in Colombia is similar to a forest, not only because of its perennial nature, but also due to its ecophysiological response at the ecosystem level, exceeding the levels of photosynthesis, oxygen production, and biomass and carbon accumulation. In addition, oil palm cultivation in Colombia has not replaced tropical forests, reports a minimal impact on water and air, and does not deplete biodiversity. On the contrary, this crop is very efficient in water use and consumption, showing a low water footprint compared to other crops. Besides, when oil palm cultivation occurs in conjunction with natural forests or areas with high conservation value, it maintains a natural flow of birds and protects biodiversity. This positive scenario constitutes a support system for the construction of agri-environmental indicators that allow decision-making processes regarding the impacts and the sustainability of the practices under certification schemes such as the RSPO.

## Introducción

A escala global, la palma de aceite es un cultivo importante tanto para la producción de aceite de palma para consumo humano como para su uso a escala industrial (cosméticos, detergentes, lubricantes y biocombustibles), especialmente para la producción de biodiésel, por lo que el aceite vegetal extraído de su fruto es el más utilizado en el mundo, con alrededor del 30 % de la producción mundial de aceites y grasas. Esto convierte al cultivo de palma de aceite en un *commodity* entre los cultivos oleaginosos (Vijay, Pimm, Jenkins, & Smith, 2016).

La palma de aceite es una planta perenne de crecimiento prolongado, alta producción de biomasa y un ciclo económico que puede durar hasta 30 años (Rivera, Rodríguez, & Romero, 2017). No obstante, este cultivo ha estado en el centro de una controversia ambiental ocasionada por los efectos de su expansión desde finales del siglo xx tanto en el Sudeste Asiático como en Colombia. En el primer caso, dicha controversia se origina en la contaminación resultante de la tala indiscriminada y la quema de aproximadamente 2,8 millones de hectáreas de bosques primarios

y secundarios en Indonesia y Malasia. En el caso de Colombia, el debate guarda relación con hechos infortunados producto de la ocupación violenta de agentes ilegales a menos del 1 % de las tierras pertenecientes a las comunidades étnicas del Urabá chocoano, que dieron lugar a la destrucción de bosques naturales en esta región del país.

A pesar de este último caso, y a que el país cuenta con una gran proporción de bosques vulnerables (Furumo & Mitchell, 2017), la expansión del cultivo en Colombia se ha llevado a cabo en tierras previamente transformadas; contrario a lo que ocurrió en otros países de Suramérica (Ecuador, Perú y Brasil) y Asia (Indonesia, Malasia y Papúa Nueva Guinea) (Vijay *et al.*, 2016). Específicamente, desde 1990, solo el 9 % de la reciente expansión reemplazó fragmentos forestales y bosques en regeneración, en lugar de bosques primarios (Castiblanco, Etter, & Aide, 2013). En otras palabras, el 91 % de la expansión de la palma de aceite en Colombia se produjo en tierras previamente intervenidas o bajo alguna forma de sistema de producción, principalmente, vegetación herbácea o pastizales (no de sabanas inundables) para ganadería (59 %), cultivos de ciclo corto (30 %) y banano (2 %) en los departamentos de Norte de Santander (35 %), Santander (18 %), Cesar (18 %) y Bolívar (20 %) (Furumo & Mitchell, 2017).

El cultivo de palma de aceite cuenta con un gran potencial para reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y conservar la biodiversidad (Hashim, Muhamad, Subramaniam, & Yuen, 2011). De hecho, las más de 500.000 hectáreas de palma de aceite sembradas en Colombia forman actualmente una cubierta verde que absorbe CO<sub>2</sub>, devuelve oxígeno a la atmósfera y alberga gran riqueza de especies de fauna, flora y microorganismos. Por ello, la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), como ente administrador del gremio, y la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), como entidad líder en investigación del sistema productivo, tienen a disposición resultados agroindustriales que no solo permiten una mayor productividad, sino también una serie de directrices que disminuyen sus impactos ambientales y permiten una producción enmarcada en la justicia social y la sostenibilidad ambiental.

Lo anterior, aunado a diversos estudios de fuentes externas relacionados con el balance de carbono, el consumo de agua y la conservación de la biodiversidad, permiten describir y diferenciar al sistema productivo de la palma de aceite en Colombia de otros sistemas, como se muestra a continuación, específicamente desde aspectos ambientales.

## Balance de carbono del cultivo en Colombia

Las plantaciones forestales y las plantaciones de palma de aceite son ecosistemas clave que contribuyen al balance de carbono por ser (al menos para las zonas tropicales) los principales sumideros netos de este compuesto, al absorber el dióxido de carbono y fijarlo en forma de biomasa (Hashim *et al.*, 2011). Al respecto, varios estudios reportan que la palma de aceite es similar a un bosque no solo por su naturaleza perenne, sino además por su respuesta ecofisiológica a escala de ecosistema (Henson, 1999, 2005; Lamade & Bouillet, 2005). De esta manera, al comparar a la palma de aceite con un bosque húmedo, que representa la vegetación clímax (estado de equilibrio de un ecosistema local establecido en ausencia de acciones antrópicas) de las zonas tropicales húmedas, este cultivo oleaginoso resulta no ser inferior, sino que incluso puede sobrepasar los niveles de fotosíntesis, producción de oxígeno, acumulación de biomasa y acumulación de carbono de un bosque natural, como se muestra en la Tabla 1.

Lo anterior es respaldado por Henson *et al.* (2012), quienes señalan que durante los años de historia de la agroindustria del aceite de palma en Colombia el balance neto de carbono ha sido favorable, pues el secuestro de carbono ha excedido las emisiones de gases efecto invernadero en aproximadamente 12,8·10<sup>3</sup> ton C<sub>eq</sub>·año<sup>-1</sup>, siendo el cultivo el principal sumidero y el cambio en el uso del suelo la fuente primaria de emisión. Frente a esto último, es pertinente mencionar que la expansión de las plantaciones de palma de aceite en Colombia se dio mayormente en sabanas y no en tierras con grandes reservas de carbono como bosques primarios y suelos de turba, como ocurrió en el Sudeste Asiático. Por ello, las emisiones de GEI del biodiésel de aceite de palma producido en

**Tabla 1.** Parámetros fisiológicos de un bosque húmedo tropical y un cultivo de palma de aceite.

Parámetro	Bosque tropical	Cultivo de palma de aceite	Referencias
Radiación absorbida ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\text{ año}^{-1}$ )	51,4	82,9	Lamade & Bouillet (2005)
Eficiencia fotosintética (%)*	1,73	3,18	Henson (1999)
Eficiencia en la conversión de la radiación ( $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ )**	0,86	1,68	Henson (1999)
Asimilación de $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ )	13-19	13-19	Lamade & Bouillet (2005)/datos propios***
Asimilación bruta ( $\text{t CO}_2\cdot\text{ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ )	163,5	161	Henson (1999)/datos propios***
Respiración total ( $\text{t CO}_2\cdot\text{ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ )	121,1	76,5-96,5	Lamade & Bouillet (2005)/Datos propios***
Asimilación neta ( $\text{t CO}_2\cdot\text{ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ )	42,5	64,5-84,5	Henson (2005)/datos propios***
Producción de $\text{O}_2$ ( $\text{t O}_2\cdot\text{ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ )	7	18,7	Lamade & Bouillet (2005)
Producción de masa seca ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ )	22,9	36,5	Lamade & Bouillet (2005)
Captura de carbono ( $\text{t C}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	65-118	80-120	Nebojsa & Swart (2000)

\* Proporción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada (estrictamente absorbida) que es convertida en energía química en la producción anual de materia seca.

\*\* Indica la relación entre la producción de materia seca y la RFA interceptada.

\*\*\* Datos propios del grupo de Biología y Mejoramiento de Cenipalma obtenidos en diferentes ensayos de investigación en palma adulta.

Colombia son 83 % inferiores con respecto a su equivalente fósil y cumplen con los parámetros establecidos por la Comunidad Europea y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Yáñez, Martínez, & Gualdrón, 2011). En este mismo contexto, la huella de carbono para la producción de racimos de fruta fresca (RFF) es favorable, puesto que por cada tonelada de RFF se fijan 606 kg de  $\text{CO}_2$ ; cantidad que puede incrementar si a nivel de plantación se aumenta el uso de fertilizantes orgánicos, se efectúan renovaciones o nuevas siembras en tierras degradadas o marginales, se emplea biodiésel como sustituto de los combustibles fósiles, se adoptan las mejores prácticas agrícolas y se aprovechan los residuos producto de la renovación (Rivera *et al.*, 2017).

## Biodiversidad del cultivo en Colombia

Dado que desde 1989 el porcentaje del área cultivada con palma de aceite en Colombia incrementó en 69,5 % sin ocasionar deforestación de zonas naturales, el impacto de este cultivo sobre la biodiversidad ha sido mínimo (Vijay *et al.*, 2016). Dentro de las 25 principales actividades agropecuarias del país, la palma de aceite es uno de los cinco cultivos con mayor favorabilidad potencial con la biodiversidad, no solo por ser un agroecosistema perenne, sino por presentar una estructura y funcionalidad similar a la de un bosque plantado, con los beneficios que ello genera para el paisaje y la riqueza de especies de fauna y flora en el suelo, agua y aire (León-Sicard *et al.*, 2003). Esto quiere

decir que la palma de aceite no es un monocultivo sino un sistema agroforestal complejo entre la palma, las coberturas leguminosas que mejoran las características físicoquímicas del suelo y las plantas nectaríferas que alimentan a los insectos benéficos y polinizadores (Ruiz & Molina, 2014). De hecho, al comparar la diversidad de hormigas, escarabajos, aves y anfibios presentes en las plantaciones de palma de aceite, los pastizales mejorados y los bosques naturales circundantes, se encuentra que las plantaciones de palma reportan una riqueza superior a la de los pastos mejorados en los cuatro grupos taxonómicos, así como una diversidad mayor en especies de escarabajos en comparación con los bosques (Castiblanco *et al.*, 2013; Gilroy *et al.*, 2014). Así mismo, los modelos de ocupación de las especies señalan que las plantaciones de palma de aceite soportan una mayor proporción de especies características de bosques naturales y sus coberturas forestales circundantes (en un radio de 250 m), influenciando positivamente las comunidades de aves. Por ende, resulta importante preservar los bosques remanentes dentro de las plantaciones, como ocurre en los Llanos Orientales (Gilroy *et al.*, 2014).

Por otra parte, un estudio realizado por el grupo de Biología y Mejoramiento de Cenipalma acerca del efecto del establecimiento de un cultivo de palma de aceite sobre variables de micorrización arbuscular en un suelo de la Zona Central palmera, llevado a cabo a través de la toma de muestras de un suelo rizosférico en un lote de *E. guineensis* de 8 años de siembra y en un bosque secundario aledaño, determinó la abundancia y diversidad de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA), señalando que el cultivo de palma de aceite tuvo un efecto directo sobre la abundancia de HFMA, al presentar aproximadamente la tercera parte de la densidad total de esporas que registró el bosque, aunque la diversidad de HFMA (expresada en número de morfotipos) no presentó diferencias significativas entre el bosque y el lote cultivado con palma, pese a que las especies de HFMA fueron diferentes en cada tipo de suelo: *Glomus flavisporum* y *Glomus macrocarpum* prevalecieron en el bosque, mientras que *Kuklospora colombiana* y *Paraglomus occultum* fueron abundantes en el lote cultivado con palma (datos no publicados). Esto significa que, si bien cualquier transformación de un ecosistema natural por un sis-

tema productivo involucra cambios en el paisaje y en el número y composición de las especies presentes en la zona (Pardo, Laurance, Clements, & Edwards, 2015), el desarrollo de la palma de aceite no representa un consumo significativo de la biodiversidad; por el contrario, cuando ocurre en conjunto con áreas de bosque natural u otras con alto valor de conservación, este cultivo contribuye a la protección de la biodiversidad (Gilroy *et al.*, 2014).

En este escenario, Fedepalma y Cenipalma, con el acompañamiento del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF-Colombia) y el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial de las Naciones Unidas (GEF, por sus siglas en inglés), vienen trabajando en la implementación de un proyecto denominado “Conservación de la Biodiversidad en las Plantaciones de Palma de Aceite (GEF-BID)”, el cual busca fortalecer la biodiversidad en los agroecosistemas de palma de aceite a través de la caracterización y conservación de áreas protegidas, corredores biológicos y servicios ecosistémicos relacionados con el desarrollo de este cultivo (Pardo *et al.*, 2015). Dicho proyecto ha abarcado gran parte de las zonas palmeras de la Orinoquía y del norte del país (principalmente en el departamento del Magdalena), permitiendo generar lineamientos, herramientas y experiencias exitosas para la planificación, el diseño y la implementación de proyectos palmeros con un impacto ambiental mínimo, la identificación y el manejo de áreas de alto valor de conservación en regiones palmeras, y la adopción de prácticas de manejo más eficientes, competitivas y sostenibles.

## Huella hídrica del cultivo

En diferentes medios de comunicación se ha afirmado que la palma de aceite se siembra en las zonas bajas de humedales o en las orillas de los cuerpos de agua sin respetar las zonas de preservación aledañas. Igualmente, se ha dicho que esta planta consume una cantidad exagerada de agua y agroquímicos (fertilizantes y pesticidas) en comparación con otros sistemas productivos, ocasionando con ello que se desvíen, se agoten y se contaminen las fuentes de agua potable disponibles para las comunidades. Sin embargo, de acuerdo con el indicador de huella hídrica,

o volumen total de agua dulce usado (*consumido, evaporado y contaminado*) para producir un *bien o servicio* (Hashim *et al.*, 2014), se evidencia que la realidad es otra. Así, la huella hídrica de la producción agrícola mundial en el periodo 1996-2005 fue de 7.404 Gm<sup>3</sup>·año<sup>-1</sup>, de los cuales 90 % corresponden a agua consumible (78 % verde o agua de precipitación y 12 % azul o agua dulce extraída de un cuerpo de agua superficial o subterránea) y solo 10 % a agua requerida para diluir contaminantes hasta el punto en que la calidad de esta se encuentre dentro de los estándares aceptados (Mekonnen & Hoekstra, 2010). Con base en estas cifras, se tiene que el trigo consumió la mayor parte de ese volumen de agua (1087 Gm<sup>3</sup>·año<sup>-1</sup>), seguido por el arroz (992 Gm<sup>3</sup>·año<sup>-1</sup>) y el maíz (770 Gm<sup>3</sup>·año<sup>-1</sup>), mientras que la palma de aceite fue de los cultivos con menor consumo (148 Gm<sup>3</sup>·año<sup>-1</sup>), superado únicamente por algunas hortalizas y la colza (74 Gm<sup>3</sup>·año<sup>-1</sup>), los cuales presentaron los menores niveles de consumo de agua a nivel mundial (Figura 1).

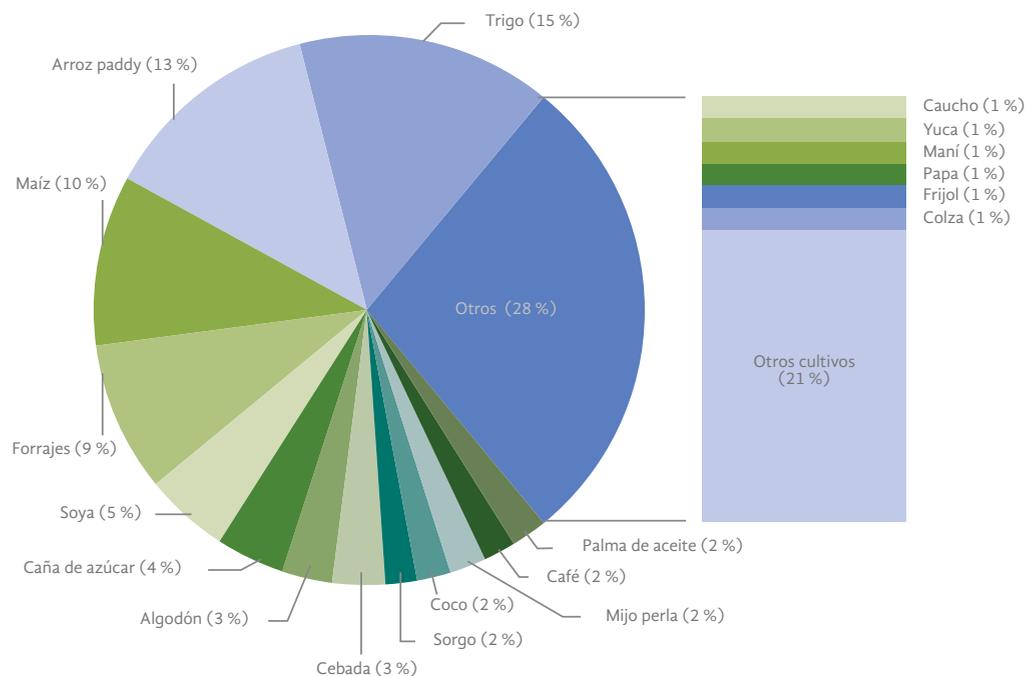
De la misma forma, entre los cultivos que proveen biocombustibles –aunque generalmente el biodiésel

tiene una huella hídrica superior por unidad de energía obtenida que el bioetanol–, la palma de aceite es el más eficiente, con una huella de 5.900 litros de agua por litro de biodiésel (equivalente a 156 m<sup>3</sup>·GJ<sup>-1</sup>) (Mekonnen & Hoekstra, 2010). Por su parte, la remolacha azucarera tiene la menor huella entre los cultivos que proveen bioetanol, con 1.200 litros de agua por litro de bioetanol (equivalente a 50 m<sup>3</sup>·GJ<sup>-1</sup>). A partir de esta información, al efectuar la correspondencia por tonelada de producto cosechado, la palma de aceite usa menos agua que otros cultivos que proveen biodiésel, superando ampliamente a los cultivos que permiten la producción de bioetanol, como el trigo, el arroz, la cebada, el maíz, el centeno y el sorgo (Tabla 2).

Lo anterior fue corroborado por Hashim *et al.* (2014), quienes al cuantificar la huella hídrica de la producción de RFF, teniendo en cuenta una vida útil del cultivo de 25 años, un rendimiento promedio de 20,7 t RFF/ha/año y una evapotranspiración del cultivo (ETc) de 5,5 mm por día, encontraron que el consumo de agua fue de 1.166 m<sup>3</sup>·t<sup>-1</sup> (90 % agua verde, 1 % agua azul y 9 % gris) para un cultivo que usualmente no

**Figura 1.** Contribución de algunos cultivos a la huella hídrica global (1996-2005).

Fuente: Mekonnen & Hoekstra (2010).



requiere riego. Este valor podría disminuir, teniendo en cuenta que a través de la tecnología *Eddy Covariance* se pudo establecer que la transpiración del cultivo en el caso colombiano (específicamente en la Zona Central) representa entre 25 y 30 % del consumo total del sistema productivo, con apenas 1,15 mm H<sub>2</sub>O·día<sup>-1</sup>, equivalentes a 11,5 m<sup>3</sup> de agua por hectárea al día (Bayona & Romero, 2016), lo que implicaría un menor uso de agua; siempre y cuando la vegetación asociada (coberturas leguminosas y plantas nectaríferas) y el suelo acompañante hagan uso eficiente del tal recurso.

Esto último también es respaldado por el coeficiente del cultivo (Kc), el cual es una relación adimensional

entre la evapotranspiración real de cada cultivo (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo) bajo las mismas condiciones edafoclimáticas. De este modo, al comparar la máxima evapotranspiración posible de un cultivo, correspondiente a la etapa de mayor desarrollo (Kc de la etapa media-Kc med), se tiene que las pérdidas por evaporación y transpiración de la palma de aceite son inferiores a la de varios cultivos (Tabla 3), incluyendo las leguminosas, los cereales, los cultivos oleaginosos (algodón, colza girasol, sorgo) y otros cultivos tropicales (café, cacao, caña, caucho, banano), por lo que la cantidad de agua que necesitaría (demanda hídrica) el cultivo de palma, bien sea a través de la lluvia o de la aplicación de riego, es menor.

**Tabla 2.** Promedio global de la huella hídrica de los principales cultivos empleados para la producción de biocombustibles (1996-2005).

Biocombustible	Cultivo	Por unidad de energía (m <sup>3</sup> /GJ biocombustible)				Por litro de biocombustible (L agua/L biocombustible)				Por tonelada de producto (m <sup>3</sup> agua/t producto)			
		Verde	Azul	Gris	Total	Verde	Azul	Gris	Total	Verde	Azul	Gris	Total
Etanol	Cebada	119	8	13	140	2.796	182	302	3.280	1.213	79	131	1.423
	Yuca	106	-	3	109	2.477	1	60	2.538	550	-	13	563
	Maíz	94	8	19	121	2.212	190	453	2.855	947	81	194	1.222
	Papa	62	11	21	94	1.458	251	483	2.192	191	33	63	287
	Arroz paddy	113	34	18	165	2.640	785	430	3.855	1.146	341	187	1.674
	Centeno	140	2	10	152	3.271	58	229	3.558	1.419	25	99	1.543
	Sorgo	281	10	9	300	6.585	237	201	7.023	2.857	103	87	3.047
	Remolacha azucarera	31	10	10	51	736	229	223	1.188	82	26	25	133
	Caña de azúcar	60	25	6	91	1.400	575	132	2.107	139	57	13	209
	Trigo	126	34	20	180	2.943	789	478	4.210	1.277	342	207	1.826
Biodiésel	Coco	4.720	3	2	4.725	156.585	97	935	157.617	2.669	2	16	2.687
	Maní	177	11	12	200	5.863	356	388	6.607	2.469	150	163	2.782
	Palma de aceite	150	-	6	156	4.971	1	190	5.162	1.057	-	40	1.097
	Colza	145	20	29	194	4.823	655	961	6.439	1.703	231	336	2.270
	Algodón	310	177	60	547	10.274	5.879	1.981	18.134	2.282	1.306	440	4.028
	Soya	326	11	6	343	10.825	374	198	11.397	2.037	70	37	2.144
	Girasol	426	21	28	475	14.200	696	945	15.841	3.017	148	201	3.366

Fuente: Mekonnen & Hoekstra (2010).

**Tabla 3.** Valores del coeficiente del cultivo (Kc) correspondientes a la etapa inicial (Kc ini), media (Kc med) y final (Kc fin) para cultivos sin estrés hídrico y bien manejados

Cultivo		Kc <sub>ini</sub>	Kc <sub>med</sub>	Kc <sub>fin</sub>
Hortalizas pequeñas	Zanahoria, col, repollo, lechuga, cebolla, espinaca, rábano	0,7	1,05	0,95
Raíces y tubérculos	Remolacha, yuca, papa, batata, nabos	0,5	1,10	0,95
Cucurbitáceas	Melón, pepino, calabacín, sandía	0,5	1,0	0,80
Hortalizas-solanáceas	Tomate, berenjena	0,6	1,15	0,80
Leguminosas	Frijol, garbanzo, maní, habas, lentejas, arveja	0,4	1,15	0,55
Oleaginosas	Algodón	0,35	1,15-1,20	0,5-0,7
	Colza, girasol	-	1,0-1,15	0,35
	Sorgo	-	1,0-1,1	0,55
	Soya	0,4	1,15	0,5
Cereales	Arroz	1,05	1,20	0,6-0,9
	Maíz	-	1,20	0,35-0,6
	Cebada, trigo, avena	0,3	1,15	0,4
Forrajes	Forrajes	0,4	0,95	0,9
Cultivos tropicales	Caña de azúcar	0,4	1,25	0,75
	Banano	0,5 - 1,0	1,1-1,2	1,0-1,1
	Cacao	1,0	1,05	1,05
	Café	0,90 – 1,05	0,95-1,10	0,95-1,10
	Piña	0,3 – 0,5	0,3-0,5	0,3-0,5
	<b>Palma de aceite</b>	<b>0,90</b>	<b>0,9-1,0</b>	<b>0,9-1,0</b>
	Cítricos	0,70 – 0,75	0,65-0,70	0,70
	Caucho	0,95	1,0	1,0

Fuente: Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006).

## Consideraciones finales

A pesar de la existencia de amplias diferencias locativas en cuanto a producción, la palma de aceite es altamente eficiente en términos de rendimiento, estabilidad del producto y comportamiento ambiental en comparación con otros cultivos oleaginosos (Fedepalma, 2016). De hecho, los impactos ambientales de este cultivo son menores a los de otros empleados para la producción

de biocombustibles (colza o soya) u otros sustitutos agrícolas, como en el caso de varios cultivos transitorios. Además, la evidencia muestra que este cultivo requiere menos tierra, pesticidas, fertilizantes y energía para producir más aceite (Tabla 4), generando así un menor impacto en el ambiente y contribuyendo a la conservación de la biodiversidad (Hashim *et al.*, 2011).

**Tabla 4.** Rendimiento productivo y de insumos de la palma de aceite en comparación con otros cultivos oleaginosos.

Aspecto	Palma de aceite	Soya	Colza
Productividad (t aceite/ha)	3,82	0,3	0,79
Fertilizantes (kg/t aceite)	47	315	99
Pesticidas (kg/t aceite)	2	29	11
Energía (GJ/t aceite)	0,5	2,9	0,7

Fuente: adaptado de Fedepalma (2016).

Por otra parte, al evaluar su impacto sobre el agua, la biodiversidad y el balance de carbono, el modelo de producción adoptado para este cultivo en Colombia desde hace más de 57 años difiere ampliamente del desarrollado en el Sudeste Asiático. Este hecho se debe principalmente a dos aspectos: *i*) gran parte del área sembrada con este cultivo en nuestro país no reemplazó bosque virgen u otras reservas naturales, sino que se ha establecido en tierras degradadas previamente destinadas a otras actividades productivas; y *ii*) el modelo de producción en Colombia involucra prácticas de manejo con intención sostenible en aspectos relacionados con el cultivo (manejo y preparación de tierras, riego, fertilización, sanidad) y el procesamiento (uso de energía, cadena de valor, etc.). Adicionalmente, es pertinente mencionar que actualmente existen incentivos estatales para que diferentes agentes inversores adquieran tierras marginales (principalmente pastizales) para continuar su expansión (Furumo & Mitchell, 2017). Lo anterior significa que el cultivo de palma de aceite en Colombia no fue ni es un monocultivo, no reemplazó bosques tropicales, no agotó la biodiversidad del país, ni causó contaminación del agua o el aire (Castiblanco *et al.*, 2013; Furumo & Mitchell, 2017; Gilroy *et al.*, 2014; León-Sicard *et al.*, 2003; Vijay *et al.*, 2016).

Este panorama no solo muestra una imagen positiva y responsable de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia, sino que representa una herramienta para documentar y comunicar el desempeño

ambiental de una manera científica, simple y comprensible para todos los agentes involucrados (desde los productores hasta los consumidores). Además, esta información constituye un sistema de apoyo para la construcción de indicadores agroambientales o variables específicas de evaluación y monitoreo directo o indirecto del impacto de una práctica de producción en el ambiente (Caliman, 2016), contribuyendo a la toma de decisiones respecto a la gestión de tales impactos y la sostenibilidad de las prácticas.

Pese a que el desarrollo presente y futuro de la palma de aceite en Colombia es único y diferenciado, porque se ha gestionado para reducir los impactos negativos sobre diversos componentes ambientales, se anima a continuar la investigación en torno a los indicadores relacionados con la ecología del paisaje, la biodiversidad, el análisis del ciclo de vida y las variables socioeconómicas y culturales de este agroecosistema, lo cual reforzaría la adopción de estrategias que promuevan la producción y el uso de aceite de palma sostenible, como los estándares de Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por sus siglas en inglés), un aspecto prioritario dentro de la política actual de la Federación.

## Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Fondo de Fomento Palmero (FFP) administrado por Fedepalma.

## Referencias

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Bayona, C., & Romero, H. M. (2016). Estimation of transpiration in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) with the heat ratio method. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 172-178.
- Caliman, J. (2016). Indicadores agroambientales para la producción de palma de aceite sostenible. *Palmas*, 37(Especial Tomo I), 203-213.
- Castiblanco, C., Etter, A., & Aide, T. M. (2013). Oil palm plantations in Colombia: a model of future expansion. *Environmental Science & Policy*, 27, 172-83
- Federación Nacional de Cultivadores de palma de aceite – Fedepalma. (2016) *Anuario estadístico 2016: La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2011-2015*. Bogotá: Fedepalma.
- Furumo, P., & Mitchell, T. (2017). Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. *Environmental Research Letters*, 12(2), 024008. doi:10.1088/1748-9326/aa5892
- Gilroy, J., Prescott, G., Cárdenas, J., González-Del-Pliego, P., Sánchez, A., Rojas-Murcia, L., Medina, C. A., Torbjørn, H., & Edwards, D. P. (2014). Minimizing the biodiversity impact of Neotropical oil palm development. *Global Change Biology*, 21(4), 1531-1540. doi: 10.1111/gcb.12696
- Hashim, Z., Muhamad, H., Kook, C., Basri, M., & Yuen, C. (2011). Life cycle assessment for production of fresh fruit bunches (upstream). En Basri, M., Yen, C., May, K., & Kook, C. (Eds.). *Further advances in oil palm research (2000-2010)* (pp. 962-986). Kuala Lumpur: Malaysian Palm Oil Board (MPOB).
- Hashim, Z., Muhamad, H., Subramaniam, V., & Yuen, C. (2014). Water footprint: Part 2. FFB production for oil palm planted in Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*, 26(4), 282-291
- Henson, I. E. (1999). Comparative ecophysiology of oil palm and tropical rain forest. EN Gurmit, S., Lim, K., Teo, L., & Lee, K. (Eds.). *Oil palm and the environment* (pp. 9-39). Kuala Lumpur: Malaysian Palm Oil Council.
- Henson, I. E. (2005). An assessment of changes in biomass carbon stocks in tree crops and forests in Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*, 17(2), 279-296.
- Henson, I. E., Ruiz, R., & Romero, H. (2012). The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia: a preliminary analysis. II. Greenhouse gas emissions and the carbon budget. *Agronomía Colombiana*, 30(3), 370-378.

- Lamade, E., & Bouillet, B. (2005). Carbon storage and global change: the role of oil palm. *OCL Journal*, 12(2), 154-160. doi: <https://doi.org/10.1051/ocl.2005.0154>
- León-Sicard, T., Sánchez, J., Cruz, M., Poveda, A., Díaz, A., Rubio, R., Silva, A., & Valenzuela, E. (2003). *Incorporación de consideraciones de biodiversidad en la política sectorial agropecuaria*. Bogotá: Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia (IDEA) & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Mekonnen M., & Hoekstra, A. (2010). *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products*. Value of water research report series No. 47. UNESCO-IHE, Delft. The Netherlands. 42 p.
- Nebojsa, N., & Swart, R. (Eds.) (2000). *Special report on emissions scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Disponible en <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>. Consultado en agosto de 2017.
- Pardo, L., Laurance, W., Clements, R., & Edwards, W. (2015). The impacts of oil palm agriculture on Colombia's biodiversity: what we know and still need to know. *Tropical Conservation Science*, 8(3), 828-845.
- Rivera, Y. D., Rodríguez, T., & Romero, H. M. (2017). Carbon footprint of the production of oil palm (*Elaeis guineensis*) fresh fruit bunches in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 149, 743-750.
- Ruíz, E., & Molina, D. (2014). Beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes: una revisión de literatura. *Palmas*, 35(1), 53-64.
- Vijay, V., Pimm, S., Jenkins, C., & Smith, S. (2016). The impacts of oil palm on recent deforestation and biodiversity loss. *PLoS ONE*, 11(7): e0159668. doi:10.1371/journal.pone.0159668.
- Yáñez, E., Martínez, L. P., & Gualdrón, M. A. (2011). *Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero, en la producción de biodiesel a partir de aceite de palma, utilizando como herramienta el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)*. Informe Final, Análisis del Ciclo de Vida - Promedio Nacional de Colombia. Documento interno Cenipalma. Bogotá.

## Uso de aceite de palma, aceite de palmiste y sus fracciones en confitería\*

Usage of Palm Oil, Palm Kernel Oil and their Fractions as Confectionary Fats

**CITACIÓN:** Mohd-Hassim, N. A., & Mat-Dian, N. L. H. (2018). Uso de aceite de palma, aceite de palmiste y sus fracciones en confitería (Carlos Arenas, trad.). *Palmas*, 39(4), 69-83.

**PALABRAS CLAVE:** fracciones de aceite de palma, equivalentes de la manteca de cacao, reemplazantes de la manteca de cacao, sustitutos de la manteca de cacao, grasas de confitería.

**KEYWORDS:** Palm fractions, cocoa butter equivalent, cocoa butter replacer, cocoa butter substitutes, confectionery fats.

\* Artículo traducido del original *Usage of Palm Oil, Palm Kernel Oil and their Fractions as Confectionary Fats*, publicado en la revista *Journal of Oil Palm Research*, volumen 29, número 3 de 2017. Se publica con autorización de las autoras y la revista *Journal of Oil Palm Research*.

**NORAZURA AILA MOHD HASSIM**

División de Desarrollo de Productos  
y Servicios, Malaysian Palm Oil Board  
(MPOB)  
azuraaila@mpob.gov.my

**NOOR LIDA HABI MAT DIAN**

División de Desarrollo de Productos  
y Servicios, Malaysian Palm Oil Board  
(MPOB)

### Resumen

Gracias a su versatilidad y eficiencia económica, el aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones son ampliamente utilizados alrededor del mundo para la elaboración de productos alimenticios. Estos aceites y sus fracciones tienen varias aplicaciones en la industria de los alimentos para la elaboración de aceites de cocina, margarinas, shortening y vanaspati. Así mismo, estas materias primas son ampliamente utilizadas en la industria de los productos de confitería, especialmente en la industria del chocolate. Debido al alto precio y el suministro inconsistente de la manteca de cacao, el aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones han sido empleados para la fabricación de diferentes alternativas a la manteca de cacao (AMC), a saber: equivalente de manteca de cacao (EMC), reemplazante de manteca de cacao (RMC) y sustituto de manteca de cacao (SMC),

cada uno de los cuales cuentan con ventajas para su uso en la industria de la confitería. Los desarrollos tecnológicos en torno al fraccionamiento, la interesterificación y la hidrogenación de aceites han hecho que el aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones tengan mayores posibilidades de uso en la industria de la confitería y los chocolates. Una serie de estudios ha mostrado que los AMC pueden ser producidos a partir de diversos procesos tecnológicos, buscando así obtener las propiedades deseadas en los productos que los incorporan. Adicionalmente, el aceite de palma y sus fracciones son apropiados para la elaboración de otros productos de confitería, tales como el chocolate suave, el jarabe de chocolate, las coberturas de helado y los rellenos de confitería.

## Abstract

Palm oil, palm kernel oil and their fractions are currently being used globally in food products because of their versatility and cost-effectiveness. They are widely used in various food applications such as cooking oils, margarines, shortenings and vanaspati. In addition, they are vastly utilized in the confectionery industry, especially in chocolate confectionery. Due to the high price and inconsistent supply of cocoa butter, palm oil, palm kernel oil and their fractions have been used to produce cocoa butter alternatives (CBA), namely: cocoa butter equivalent (CBE), cocoa butter replacer (CBR), and cocoa butter substitutes (CBS), in which each one has its own strength for different confectionery applications. Technological developments in fractionation, interesterification and hydrogenation have brought palm oil, palm kernel oil and their fractions to a higher level of usage in the chocolate confectionery industry. A compilation of studies have shown that CBE, CBR and CBS can be produced from various technological paths to obtain the desired requirements. In addition, palm oil and its fractions are also suitable for other confectionery applications such as soft chocolate, chocolate syrup, ice cream coating and confectionery filling.

## Introducción

El chocolate es un producto de confitería popular gracias a su sabor, aroma, textura y atributos nutricionales. Este producto es reconocido como una alimento que brinda placer, bastante apetecido por las personas cuando se encuentran bajo condiciones de estrés o ánimo reducido (Macdiarmid & Hetherington, 1995). En América, el chocolate se ha convertido en uno de los alimentos preferidos por la población (Firmin, Gillette, Hobbs, & Wu, 2016; Jáuregui-Lobera, Bolaños-Ríos, Valero, & Prieto, 2012). La composición del chocolate es una suspensión de sólidos de cacao y azúcar en una fase grasa continua. En general, el contenido típico de grasas en los productos de chocolate corresponde entre 26 y 35 % a la composición total de la fórmula. Las grasas de la confitería de chocolate deben ser separables a 20 °C, lo cual se puede lograr contando con la cantidad suficiente de grasa cristalina. Además, este tipo de grasas

se caracterizan por su fuerte perfil de fusión, el cual se obtiene entre 30 y 35 °C, haciendo posible que el chocolate se derrita por completo en la boca (Timms, 2003).

Tradicionalmente, el chocolate se ha producido a partir de manteca de cacao (MC), una materia prima costosa y escasa, dado que los cultivos de cacao se desarrollan en pocos países, entre estos, Costa de Marfil, Ghana, Indonesia y Brasil. Por ello, teniendo en cuenta criterios económicos y tecnológicos, se han emprendido varias iniciativas para encontrar alternativas viables al uso de MC y reemplazar la composición de este insumo en la fabricación de productos de chocolate (Borhan, Said, & Matsahri, 2011; Idris & Mat Dian, 2005; Lipp & Anklam, 1998; Samsudin & Rahim, 1996). En ese contexto, algunos fabricantes se encuentran en la tarea de hallar grasas alternativas y menos costosas que no deriven de grasas sintéticas o animales, que además cuenten con propiedades similares a las de la MC, lo cual ha permitido identificar que el aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones pueden ser utilizados

como grasas vegetales alternativas en la elaboración de “chocolate compuesto”, un producto cuyo contenido de grasas vegetales en la fórmula total es superior a 5 %. Esto muestra que el aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones se han convertido en la opción preferida de los fabricantes de alimentos en cuanto al uso de grasas y aceites comestibles, debido, principalmente, a la versatilidad, rentabilidad y beneficios nutricionales de este producto (Ong & Goh, 2002).

Las grasas vegetales alternativas o alternativas a la manteca de cacao (AMC) pueden categorizarse en tres grupos: el equivalente a la manteca de cacao (EMC), el reemplazante de la manteca de cacao (RMC) y el sustituto de la manteca de cacao (SMC). Además de estos, para la producción de chocolate suave también pueden ser empleados otros aceites vegetales, como el aceite de palma, la oleína de palma y la oleína roja de palma. La Figura 1 muestra el cuadro de flujo del proceso de refinación y fraccionamiento del aceite de palma y el aceite de palmiste como materias primas para la

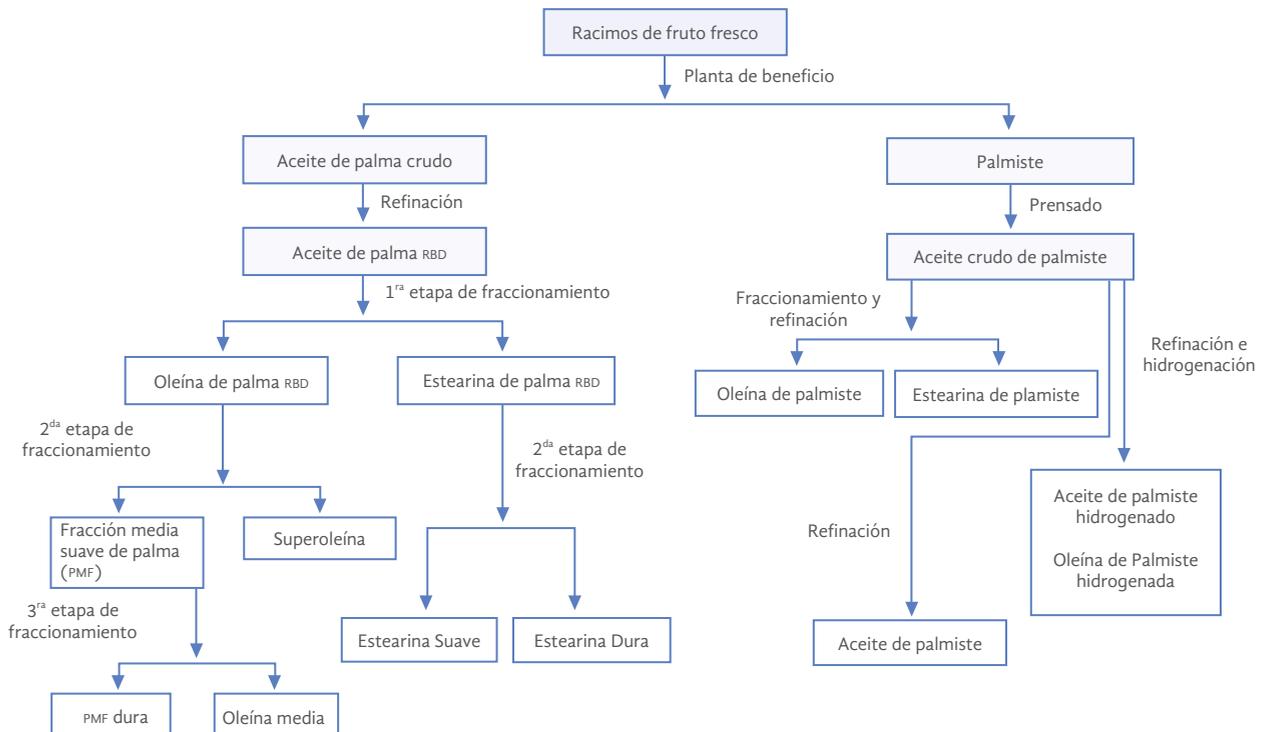
producción de EMC, RMC y SMC y de chocolate suave. Por su parte, la Figura 2 muestra los tipos de grasas de confitería comúnmente empleadas para la producción de EMC, RMC y SMC.

## Equivalente de manteca de cacao

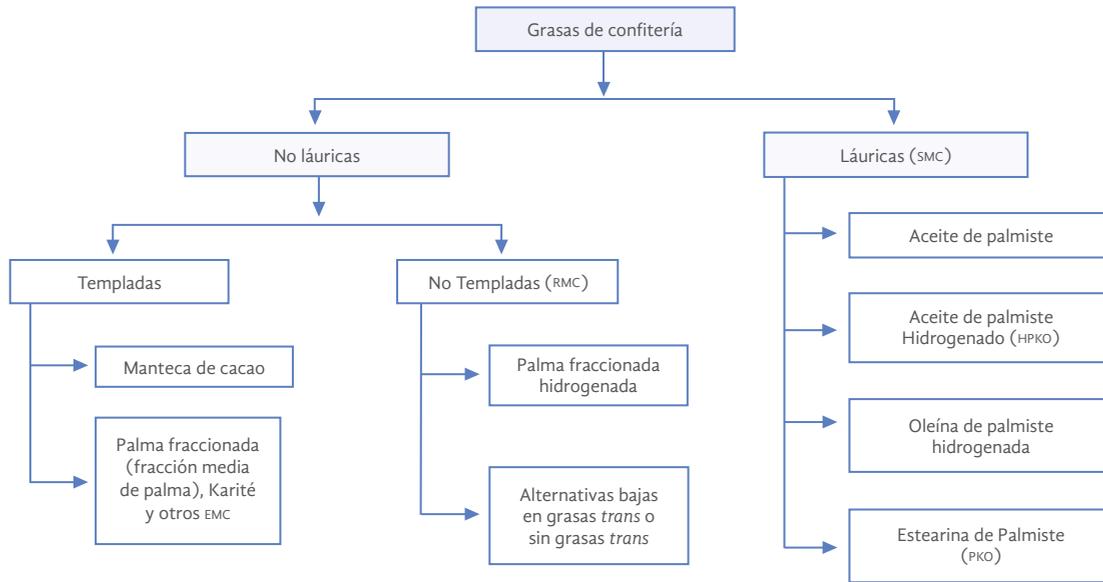
El equivalente de manteca de cacao (EMC) es una grasa vegetal con propiedades físicas y químicas similares a la manteca de cacao (MC) (Smith, 2001). El EMC puede formularse a partir de fuentes de aceite vegetal con un contenido de triglicéridos similar a la MC. Los principales ácidos grasos presentes en el EMC son el ácido palmítico, el ácido esteárico y el ácido oleico. La composición primaria de triacilglicerol (TAG) en el EMC es 1,3-dipalmitoil-2-oleoil glicerol (POP), 1(3)-estearoil-2-oleoil-3(1)-palmitoil glicerol (POST) y 1,3-distearoil-2-oleoil glicerol insaturado (StOSt). Cerca del 70 % de los TAG totales en el EMC provienen de POP, post y StOSt (Gunstone, Harwood, & Padley, 1992).

**Figura 1.** Procesamiento del aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones para la elaboración de grasas de confitería

Fuente: Kellens *et al.* (2007); MPOB (2009).



**Figura 2.** Grupo típico de grasas de confitería.



En vista de que POP, post y StOst son los principales TAG en el EMC, estos afectan la textura y el sabor del chocolate debido a su cristalización y polimorfismo (Afoakwa, 2016).

El EMC presenta una compatibilidad total con la MC, ya que cuenta con propiedades químicas y físicas similares (Minifie, 2012). Además, el EMC se caracteriza por una gran liberación de sabor, agradable sensación en la boca y una excelente textura al morder. Este también cuenta con una buena estabilidad oxidativa (Pease, 1985). Sin embargo, en la Unión Europea (U. E.) existe un límite a la cantidad de EMC permitida en las fórmulas de chocolate, pues solo se permite un máximo de 5 % para los productos etiquetados como chocolate, aunque reemplazar totalmente la MC con EMC es posible en varios países, incluyendo la U. E., siempre y cuando se incluyan etiquetas apropiadas en los productos con esta información (Tallbot, 2007).

La fracción media de palma (PMF, por sus siglas en inglés), la cual es rica en POP, ha sido utilizada en mezclas con otras grasas vegetales ricas en SOS y POS de TAG, tales como el illipe, el karité, la sala, la semilla de mango y el kokum, para la producción de EMC (Boottello *et al.*, 2012; Talbot, 2007). Además, varios estudios han demostrado que las mezclas de PMF con aceite de la semilla son aptas para la producción de EMC (Elham, Nazanin, & Ramli, 2013; Jun *et al.*, 2016; Sonwai

*et al.*, 2014). Al respecto, Sonwai *et al.* (2014) encontraron que la mezcla de aceite de PMF con aceite de semilla de mango en proporción 20/80 suministra una mejor cristalización, punto de fusión y comportamiento de fusión con la MC. Adicionalmente, Nesaretnam & Mohd-Ali (1992) encontraron que las especies de illipe *Shorea macrophylla* presentaron la mejor compatibilidad con PMF para la producción de EMC. La Tabla 1 muestra la composición de TAG de la mayoría de las grasas utilizadas en la formulación de EMC. La Tabla 2 compara la composición de TAG de la MC y el EMC.

La PMF es una grasa de rápida fusión producida mediante un proceso de fraccionamiento adicional de la oleína de palma (Gee, 2007). Este tipo de grasa puede ser producida también a través de un proceso de fraccionamiento con solventes (hexano o acetona) o fraccionamiento en seco. Para la producción de EMC existen pocos tipos de PMF disponibles, como se muestra en la Figura 1, los cuales se clasifican con base en su índice de yodo; entre más duro sea la PMF, mayor contenido de POP. Este compuesto es adecuado para la elaboración de productos alimenticios, puesto que genera un sabor agradable y muestra buena estabilidad oxidativa gracias a su bajo contenido de ácido linoleico y ácidos grasos trans (Samsudin, Affandi, & Burhanuddin, 1996). Las Tablas 3 y 4 muestran las características de PMF dura y suave.

**Tabla 1.** Composición de triacilglicerol (TAG) de la fracción media de palma (PMF), la manteca de illipe, la fracción de karité, la fracción de aceite de sal (especie originaria de la india), aceite de kokum y de aceite de semilla de mango.

Grasas	POP	POSt	StOSt
PMF	66	12	3
Illipe	7	34	45
Fracción de aceite de karité	1	7	74
Fracción de aceite de sala	Rastros	10	60
Aceite de kokum	Rastros	6	72
Fracción de aceite de semilla de mango	1	16	59

Nota: POP - 1,3-dipalmitoil-2-oleoil glicerol.

POSt - 1(3)-estearoil-2-oleoil-3(1)-palmitoil glicerol.

StOSt- 1,3-distearoil-2-oleoil glicerol insaturado.

Fuente: Talbot (2007).

**Tabla 2.** Composición de triacilglicerol (TAG) en la manteca de cacao y el equivalente de manteca de cacao (EMC).

Grasas	POP	POSt	StOSt
Manteca de cacao <sup>a</sup> (Malasia)	15,0	35,0	25,0
Manteca de cacao <sup>b</sup> (Malasia)	15,1	40,4	31,0
Manteca de cacao <sup>b</sup> (Costa de Marfil)	15,2	39,0	27,1
Manteca de cacao <sup>b</sup> (Ghana)	15,3	40,1	27,5
Manteca de cacao <sup>b</sup> (Nigeria)	15,5	40,5	28,8
Manteca de cacao <sup>b</sup> (Brasil)	13,6	33,7	23,8
EMC <sup>a</sup>	30,0	20,0	25,0

Nota: POP - 1,3-dipalmitoil-2-oleoil glicerol.

POSt - 1(3)-estearoil-2-oleoil-3(1)-palmitoil glicerol.

StOSt- 1,3-distearoil-2-oleoil glicerol insaturado.

Fuente: <sup>a</sup> Idris *et al.* (1995); <sup>b</sup> Shukla (2005).

**Tabla 3.** Características de la fracción media dura de palma (HPMF) para la producción de equivalente de manteca de cacao (EMC).

Tipo de HPMF	Índice de yodo	Contenido POP (%)	Contenido de grasas solidas (% máx.) a 35 °C
HPMF 1	28-30	>80	6
HPMF 2	32-35	>70	3-6
HPMF 3	35-37	>60	2-5
HPMF 4	37-40	>50	1-4

Nota: pop: 1,3-dipalmitoil-2-oleoil glicerol.

Fuente: Kellens *et al.* (2007).

**Tabla 4.** Características de las fracciones medias de palma suaves y duras (PMF).

Parámetro	PMF 1 (suave)	PMF 2 (dura)
Índice de yodo	42-46	32-56
<b>Contenido de grasas sólidas (%)</b>		
Temperatura de 10 °C	75	95
Temperatura de 20 °C	45	90
Temperatura de 30 °C	0	47,0
Temperatura de 35 °C	-	6
Temperatura de 40 °C	-	0

Fuente: Deffence (1995).

Debido al suministro inconsistente de manteca de illipe y karité (ambas provenientes de cultivos categorizadas como de tipo silvestre) en el mercado, Samsudin & Rahim (1996) emprendieron una investigación para estudiar el uso de PMF para producir chocolate blanco y pasta de chocolate sin mezcla de otras grasas vegetales. El estudio encontró que el chocolate hecho 100 % con PMF es altamente resistente a la fragmentación, lo cual es comparable con el chocolate formulado a partir de MC. Adicionalmente, este trabajo encontró que la PMF tiene menor temperatura de templado en comparación con la MC. Por su parte, Bootello *et al.* (2012, 2013) estudiaron una mezcla de PMF con estearinas duras de girasol con alto contenido oleico y una mezcla de PMF con estearina dura de girasol. Ambos estudios encontraron que la PMF mezclada con ambas fracciones del aceite de girasol cumplía con todos los requisitos para ser considerado un EMC. Además de PMF, un estudio llevado a cabo por Kang *et al.* (2003) encontró que la fracción sólida de la estearina producida mediante fraccionamiento con acetona no presentó contenido alguno de ácido palmítico, pero sí grandes cantidades de ácidos grasos monoinsaturados. Adicionalmente, Kellens *et al.* (2007) reportaron que la estearina media de palma puede ser utilizada como extensor de la MC, con limitaciones en algunas aplicaciones, lo cual, sin embargo, hace que el aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones sean un excelente ingrediente para la elaboración de equivalentes de la manteca de cacao.

En los últimos años, la modificación enzimática de aceites y grasas ha sido el centro de atención en la producción de TAG específicos para la fabricación de EMC. La interesterificación del aceite de palma ha sido el enfoque de varios estudios sobre el tema, considerando que este aceite es reconocido como un insumo importante para la producción de EMC (Abigor *et al.*, 2003; Undurraga, Markovitz, & Erazo, 2001). Así mismo, Mohamed (2013) confirmó que es posible producir EMC mediante la restructuración de los TAG de PMF, a través de la refinación de PMF con mezclas de ácidos grasos palmíticos y esteáricos. Otro ejemplo adicional es la producción de EMC por medio de la interesterificación de lipasa de aceite de palma refinado, blanqueado y desodorizado (aceite RBD) con aceite de soya hidrogenado (HSO) (Abigor *et al.*, 2003). Por su parte, Undurraga *et al.* (2001) desarrollaron un estudio sobre la producción de EMC mediante la interesterificación enzimática de PMF con ácido esteárico en un sistema libre de solventes, en el cual se utilizó lipasa Lipozima™ de Novo como catalizador.

La Tabla 5 muestra la composición de TAG de la oleína de palma interesterificada a través de tres procedimientos de fraccionamiento. Por otra parte, la Tabla 6 muestra la formulación característica de chocolate a base de PMF y EMC. Todos los ingredientes son mezclados, refinados, templados, moldeados y enfriados para producir leche de chocolate antes de almacenar el producto.

**Tabla 5.** Composición de triacilgliceroles (TAG) de oleína de palma interesterificada (IE Poo) a través de tres procedimientos (a, b y c) de fraccionamiento con solventes.

Fracción	Tag (%)			
	TAG/IE Poo	POP	Post	StOSt
F2 (A)	15,3	44,1	29,6	
F2 (B)	16,0	38,7	23,1	
F2 (C)	13,7	38,5	24,8	
Manteca de cacao	18,9	41,3	29,7	

Nota: POP - 1,3-dipalmitoil-2-oleoil glicerol.

POSt - 1(3)-estearoil-2-oleoil-3(1)-palmitoil glicerol.

StOSt- 1,3-distearoil-2-oleoil glicerol insaturado.

Fuente: Idris *et al.* (2005).

**Tabla 6.** Formulación general compuesta de leche de chocolate con PMF o EMC.

Ingredientes	PMF dura (%)	EMC (%)
Masa de cacao	15	12
PMF dura	22	-
EMC	-	22
Polvo de leche entera	17	20
Azúcar	46	46
Lecitina	0,4	0,4
Sal	-	0,03
Vanilina	0,03	0,015
Contenido de grasa	34	33-34

Fuente: Hashimoto *et al.* (2001); Wong (1991).

## Reemplazante de manteca de cacao

El reemplazante de la manteca de cacao (RMC) es otra alternativa al uso de MC. Este es producido a través de la hidrogenación parcial de aceites líquidos (por ejemplo, oleína de palma, aceite de soya, aceite de algodón y aceite de canola), utilizando únicamente catalizadores de níquel con agentes promotores (por ejemplo, sulfuros) o por medio de un proceso de fraccionamiento. La oleína de palma con un nivel de yodo igual o superior a 68 es apta para la elaboración de

RMC de buena calidad. El RMC parcialmente hidrogenado presenta una liberación de sabor, sensación en boca y textura crujiente reducida. Sin embargo, le da brillo a los productos, buena estabilidad oxidativa y no es un insumo económico. Considerando estas cualidades, el RMC hidrogenado es categorizado de baja calidad. Por el contrario, el RMC parcialmente hidrogenado y fraccionado tiene una mayor liberación de sabor, brillo y estabilidad oxidativa. No obstante, sus propiedades organolépticas son de calidad media (Pease, 1985).

Dado que el RMC cuenta con propiedades físicas similares pero un TAG diferente a la MC, este es menos compatible con la MC, por lo que no resulta ser la mejor opción, razón por la cual es comúnmente empleado para la elaboración de coberturas de chocolate. Adicionalmente, el RMC parcialmente hidrogenado que suele encontrarse en el mercado tiene un contenido de ácidos grasos trans de hasta 46 % (Tabla 7). En consecuencia, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA) han solicitado la eliminación de las grasas trans en la fabricación de productos alimenticios, tras lo cual, muchos países han seguido sus recomendaciones, restringiendo el uso de este tipo de grasas e implementando la obligatoriedad en el etiquetado de los productos que las contienen (Downs *et al.*, 2013; Usau *et al.*, 2009). Debido a estas normativas, actualmente los fabricantes están obligados a producir RMC libre de ácidos grasos trans o con un contenido muy bajo de ellos. Al respecto, vale la pena mencionar que muchas compañías de la industria de la confitería han logrado fabricar RMC con estas especificaciones gracias al uso de algunas fracciones del aceite de palma (Smith, 2012).

Kellens *et al.* (2007) estudiaron a profundidad las aplicaciones de la estearina de palma en la fabricación de productos de confitería, reportando que esta materia prima es apropiada para la elaboración de coberturas duras. Por su parte, Ramli *et al.* (2014) analizaron las propiedades fisicoquímicas de la PMF, la estearina de palma y una mezcla de aceite de oliva, identificando que la mezcla tiene una mayor estabilidad oxidativa y es adecuada para su uso como alternativa de la MC. Además, un estudio realizado por Zaidul *et al.*

(2007) encontró que el aceite de palmiste es altamente apto para la elaboración de RMC al ser fraccionado con dióxido de carbono supercrítico y mezclado con otros aceites, como el aceite de palma, generando así un producto con ácidos láuricos y mirísticos más bajos de mayor calidad.

## Sustitutos de la manteca de cacao

Los sustitutos de la manteca de cacao (SMC) son grasas vegetales alternativas con propiedades físicas similares a la MC. Sin embargo, estas contienen grandes cantidades de ácido láurico y, por lo tanto, presentan menor compatibilidad con la MC. Estos SMC también son conocidos como SMC láuricos, cuyas principales fuentes son el aceite de palmiste y el aceite de coco, se utilizan principalmente como ingrediente en la preparación de productos moldeados y coberturas de chocolate gracias a sus propiedades físicas (Timms, 2003; Minifie, 2012).

Los SMC láuricos pueden ser producidos a partir de técnicas de modificación mediante el proceso de fraccionamiento e interesterificación. Los SMC más simples son la estearina de palmiste y el aceite de palmiste hidrogenado, cuyo perfil de ácidos grasos se muestra en la Figura 3. Los SMC fraccionado también otorgan a los productos de confitería una excelente liberación de sabor, sensación agradable en la boca, textura “crujiente” y estabilidad oxidativa adecuada. Además, este compuesto proporciona buen brillo y un aspecto llamativo a los productos que los contienen (Shukla, 2005). La tabla 8 muestra las características de varios sustitutos de manteca de cacao.

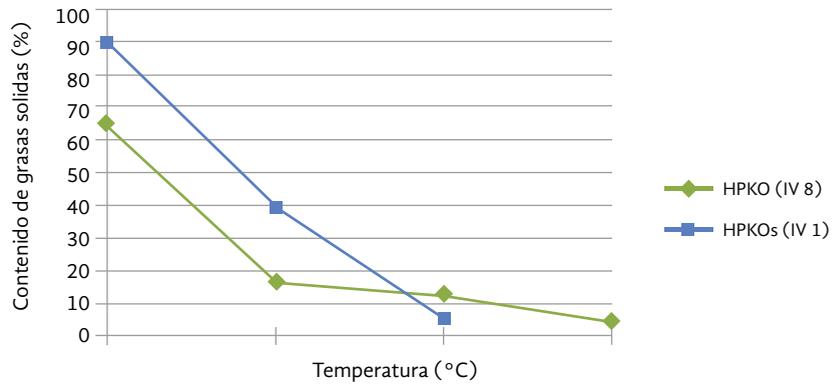
**Tabla 7:** Comparación de ácidos grasos en la manteca de cacao y en el reemplazante de manteca de cacao (RMC) alto en grasas trans.

Ácido graso	Manteca de cacao (%)	RMC alto en grasas trans (%)
C16:0	26	23
C18:0	32	12
C18:1 <i>cis</i>	34	16
C18:1 <i>trans</i>	0	46

Fuente: Hossain (2013).

**Figura 3.** Contenido de grasas sólidas del aceite de palmiste hidrogenado (HPKO) y la estearina de palmiste hidrogenada (HKPO).

Fuente: МРОВ (2012).



**Tabla 8.** Características de varios sustitutos de manteca de cacao.

Características	A	B	C	D	E
Punto de fusión (°C)	34,5	33,5	32,0	34,5	35,5
Índice de yodo (IV)	0,4	0,8	7,4	0,8	0,8
<b>Contenido de grasas sólidas (%)</b>					
Temperatura de 20 °C	94,4	94,6	80,3	93,3	83,7
Temperatura de 25 °C	87,0	86,7	64,9	83,7	84,2
Temperatura de 30 °C	48,9	48,5	33,2	48,9	48,4
Temperatura de 35 °C	4,8	4,5	-	6,5	6,4
Temperatura de 37,5 °C	1,2	1,8	-	2,8	2,3
Temperatura de 40 °C	-	-	-	1,3	0,3

Nota: Las muestras A y B son originarias de Malasia y las muestras C, D y E corresponden a productos importados.

Fuente: Nesaretnam *et al.* (1990).

Un estudio realizado por Norizzah *et al.* (2004) mostró que la interesterificación química de la estearina de palma y la oleína de palmiste podría ser utilizada para producir grasas de confitería de tipo no templado, puesto que dicho proceso químico permite la formación de polimorfos tendientes a  $\beta'$  con una red de cristales esferolíticos muy finos. A partir de este proceso, los SMC interesterificados presentan una buena liberación de sabor, agradable sensación en la boca, textura crujiente y buen brillo. También presentan una excelente estabilidad oxidativa (Pease, 1985). Además de esto, Borhan *et al.* (2011) llevaron a cabo un estudio para producir un SMC bajo en calorías mediante la interesterificación

de PMF, estearina de palmiste y triglicéridos de cadena media (MCT). Esta investigación encontró que la grasa interesterificada del aceite de palma es comparable con la MC en cuanto a su punto de fusión y contenido de grasas sólidas, lo cual la convierte en un excelente sustituto.

Actualmente, existe una tendencia emergente a limitar el consumo de grasas trans y grasas saturadas en los alimentos debido al posible riesgo que estas suponen para el padecimiento de enfermedades cardiovasculares. Sobre el tema, una patente de Cruz (2015) mostraba la posibilidad de producir SMC con menores contenidos de ácidos grasos trans y ácidos grasos saturados. Esta patente utiliza varios aceites

vegetales, entre los que se incluyen los siguientes: girasol, cártamo, canola de bajo contenido erúxico, canola, soja, girasol de alto contenido oleico, cártamo de alto contenido oleico, canola de alto contenido oleico, soya de alto contenido oleico, coco (hidrogenado e interesterificado), fracciones de palma (grasa única, totalmente hidrogenada y/o interesterificada) e híbrido de palma y oliva. La Tabla 9 muestra la formulación típica del compuesto de chocolate elaborado a partir de SMC.

## Otras aplicaciones en confitería

Además de productos alternativos a la manteca de cacao, el aceite de palma y sus fracciones pueden ser utilizados en otras aplicaciones para la elaboración de productos de confitería tales como esparcibles de chocolate, jarabe de chocolate y coberturas para helados. Tradicionalmente, los esparcibles de chocolate fueron formulados utilizando aceite suave parcialmente hidrogenado con un contenido de grasas trans entre 0,7 y 11,1 % (Shamsudin, 2004). El esparcible de chocolate puede formularse utilizando ya sea aceite de palma, oleína de palma u oleína de palma roja con otros aceites suaves (El-kalyoubi *et al.* 2011; El-Hadad *et al.*, 2011).

El esparcible de chocolate puede dividirse en dos categorías: emulsión de aceite o emulsión de agua en aceite (MPOB, 2009), los cuales son mezclados junto con los otros ingredientes, tales como leche en polvo entera o desnatada, polvo de cacao, azúcar, sal, emulsionante y sabor, para la elaboración de una gran varie-

dad de productos comestibles. Así mismo, la oleína de palma roja ha sido utilizada como grasa de confitería (El-Hadad *et al.*, 2011) gracias a su contenido de  $\beta$ -caroteno, el cual tiene una funcionalidad de provitamina A. Además, un experimento realizado por Shamsudin *et al.* (2015) añadió tocotrienoles de aceite palma en la formulación de esparcibles de chocolate con el objetivo de reducir el proceso de oxidación de los lípidos presentes en este producto. El resultado de esta investigación permitió obtener un incremento considerable en el tiempo de almacenamiento del producto conservando sus propiedades nutricionales y organolépticas.

Por otra parte, Ramli & Foo (2011) utilizaron oleína de palma en la formulación de jarabe de chocolate, el cual suele ser empleado como cubierta para helados y pasteles. El estudio encontró que la viscosidad de la fórmula era de  $14,62 \pm 1,97$  Pa.s (4 °C) y de  $3,91 \pm 0,21$  Pa.s (25 °C), mostrando mejores propiedades organolépticas con respecto a una muestra de jarabe comercial, de acuerdo con lo reportado por un grupo de individuos participantes en un panel sensorial. Por lo tanto, se concluye que dicha formulación tiene el potencial de ser utilizada como jarabe de chocolate.

A partir de los resultados de este tipo de estudios, el aceite de palma también puede ser utilizado en formulaciones de cobertura de helados, reemplazando así el uso de coberturas tradicionales a base de otras grasas que ocasionan problemas en la salud humana (Cain *et al.*, 1999). Adicionalmente, Biswas *et al.* (2017) lograron producir rellenos de confitería de excelente calidad utilizando PMF, aceite de palmiste RBD y estearina de palma RBD con una proporción de 14,9:59,6:25,5,

**Tabla 9.** Formulación general de chocolate compuesto utilizando sustitutos de manteca de cacao.

Ingredientes	A (%)	B (%)	C (%)
Polvo de cacao (10/12)	6	5	7
Sustituto de manteca de cacao	32	35	29
Leche desnatada en polvo	17	15	19
Azúcar	45	45	44,7
Lecitina	-	-	0,3
Total	100	100	100

Fuente: elaboración propia con datos de MPOB (2009), Nesaretnam *et al.* (1990) y Stewart *et al.* (2002).

respectivamente. Además, un estudio realizado por Mat-Dian *et al.* (1997) reveló que se pueden utilizar aceites interesterificados para formular grasas similares a la manteca de cacao, hallando que la mezcla de aceite interesterificado de 25 % de estearina de palma y 75 % de oleína de palmiste –al igual que una mezcla de aceite de 25 % de estearina de palma, 37,5 % de oleína de palmiste y 37,5 % de aceite de palmiste– era apropiada para la formulación de relleno de crema en galletas.

## Conclusiones

El aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones son apropiados para la elaboración de productos de confitería, puesto que suministran las propiedades físicas, químicas y organolépticas necesarias para la elaboración de este tipo de productos, siendo la PMF la principal fracción del aceite de palma utilizada para la producción de equivalentes a la manteca de cacao. Así mismo, se ha demostrado que la fracción sólida de la estearina de palma suministra propiedades comparables con la PMF.

Por otro lado, los reemplazantes de la manteca de cacao sin contenido de grasas trans (o con un conte-

nido disminuido) ha tenido una demanda creciente en los últimos años, lo cual abre grandes oportunidades para el aceite de palma y sus fracciones, los cuales han mostrado gran aptitud para la elaboración de dichos reemplazantes. Varias mezclas individuales que contienen estearina de palma o aceite de palmiste fraccionado bajo en ácido láurico o mirístico son ejemplos de este tipo de productos. Así mismo, la estearina de palma suave y la estearina de palma dura son productos apropiados para la formulación de sustitutos de la manteca de cacao, lo cual ha sido posible gracias a la modificación enzimática del aceite de palma y sus fracciones.

Además, de acuerdo con varios trabajos de investigación, los aceites interesterificados y el aceite de palma RBD son apropiados como equivalente de la manteca de cacao, mientras que los aceites interesterificados a base de estearina de palma, oleína de palmiste, aceite de palmiste y PMF han mostrado ser excelentes para la elaboración de sustitutos de manteca de cacao; sin mencionar el enorme potencial del aceite de palma y sus fracciones para otras aplicaciones en productos de confitería, como el chocolate suave, el jarabe de chocolate, las coberturas para helados y el relleno de confitería, entre otros.

---

## Referencias

- Abigor, R. D., Marmer, W. N., Foglia, T. A., Jones, K. C., Diciccio, R. J., Ashby, R., & Uadia, P. O. (2003). Production of cocoa butter-like fats by the lipase-catalysed interesterification of palm oil and hydrogenated soybean oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, *80*, 1193-1196.
- Afoakwa, E. O. (2016). *Tempering and fat crystallization effects on chocolate quality. Chocolate Science and Technology* (2<sup>nd</sup> Edition). New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Biswas, N., Cheow, Y. L., Tan, C. P., Kanagaratnam, S., & Siow, L. F. (2017). Cocoa butter substitute produced from palm mid-fraction/palm kernel oil/palm stearin for confectionery fillings. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, *94*, 235-245.
- Bootello, M. A., Hartel, R. W., Garces, R., Martínez-Force, E., & Salas, J. (2012). Evaluation of high oleic-high steric sunflower hard stearins for cocoa butter equivalent formulation. *Food Chemistry*, *134*, 1409-1417.

- Bootello, M. A., Hartel, R. W., Levin, M., Martínéz-Blanes, J., Real, C., Garces, R., Matínez-Force, E., & Salas, J. J. (2013). Studies of isothermal crystallisation kinetics of sunflower hard-stearin-based confectionery fats. *Food Chemistry*, 139, 184-195.
- Borhan, R. H., Said, M., & Mat-Sahri, M. (2011). Enzymatic interesterification of palm products for producing low calorie cocoa butter substitutes. *J. Applied Science*, 11, 3750-3754.
- Cain, F. W., Hughes, A. D., & Slinger, H. (1995). *Non-hydrogenated coating fats*. US patent, US5439700 A.
- Cain, F. W., Manson, H., & Nicolaas, J. (1999). *Ice-cream coating fats*. US patent, US5939114 A.
- Calliauw, G., Foubert, I., Greyt, W., Dijckmans, P., Kellens, M., & Dewettinck, K. (2005). Production of cocoa butter substitutes via two-stage static fractionation of palm kernel oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 82, 783-789.
- Cruz, A. F., Alvarez, C. A. & Team Food Colombia S. A. (2015). *Cocoa butter substitutes*. US patent, US20150164102 A1.
- Deffence, E. (1995). Dry multiple fractionation: trends in products and applications. *Lipid Technology*, 7, 34-38.
- Downs, S. M., Thow, A. M., & Leeder, S. R. (2013). The effectiveness of policies for reducing dietary trans-fat: a systematic review of the evidence. *Bulletin World Health organization*, 91, 262-269.
- Elham, M., Nazanin, V., & Ramli, N. (2013). Physico-chemical properties and antioxidant activity of a synthetic cocoa butter equivalent obtained through modification of mango seed oil. *International J. Food Science and Technology*, 48, 1549-1555.
- El-Hadad, N. N. M., Youssef, M., Abd-El-Aal, M. H., & Abou-Gharbia, H. H. (2011). Utilisation of red palm olein in formulating functional chocolate spread. *Food Chemistry*, 124, 285-290.
- El-Kalyoubi, M., Khallaf, M. F., Abdelrashid, A., Eman, M. M. (2011). Quality characteristic of chocolate-containing some fat replacer. *Annals of Agricultural Science*, 56(2), 89-96.
- Firmin, M. W., Gillette, A. L., Hobbs, T. E., & Wu, D. I. (2016). Effects of olfactory sense on chocolate craving. *Appetite*, 105, 700-704.
- Gee, P. T. (2007). Analytical characteristics of crude and refined palm oil and fractions. *European J. Lipid Science and Technology*, 109(4), 373-379.
- Gunstone, F. D., Harwood, J. L., & Padley, F. B. (1992). *The Lipid Handbook*. London: Chapman and Hall.
- Hashimoto, S., Nezu, T., Arakawa, H., Ito, T., & Maruzeni, S. (2001). Preparation of sharp-melting hard palm midfraction and its use as hard butter in chocolate. *J. Amer Oil Chem. Soc.*, 78, 455- 460.
- Hossain, M. B. (2013). Applications of palm oil and palm kernel oil in different food products of Bangladesh. *Daffodil International University J. Science and Technology*, 8(2), 33-38.

- Idris, N. A., & Samsudin, S. (1995). Development of specialty fats for selected food. *Paper presented at the National Seminar on Food Technology 1995*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Idris, N. A., & Mat-Dian, N. L. (2005). Interesterified palm products as alternatives to hydrogenation. *Asia Pacific J. Clinical Nutrition*, *14*, 396-401.
- Idris, N. A., & Mat-Sahri, M. (2007). Utilization of palm oil and palm products in shortenings and margarines. *European J. Lipid Science and Technology*, *109*, 422-432.
- Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Nik-Norulaini, N. A., Sahena, F., Abedin, M. Z., Mohamed, A., & Mohd-Omar, A. K. (2014). Hard cocoa butter replacers from mango seed fat and palm stearin. *Food Chemistry*, *154*, 323-329.
- Jáuregui-Lobera, I., Bolaños-Rios, P., Valero, E., & Prieto, I. R. (2012). Induction of food craving experience: the role of mental imagery, dietary restraint, mood and coping strategies. *Nutrición Hospitalaria*, *27*, 1928-1935.
- Jun, J., Pembe, W., Ce, Q., Cong, S., Liang, J., Dan, X., Jianhua, H., Qingzhe, J., & Xingguo, W. (2016). Mango kernel fat based chocolate with heat resistant triacylglycerols: production via blending using mango kernel fat mid-fraction and palm mid- fractions produced in different fractionation paths. *RSC Advances*, *110*, 108981-108988.
- Kang, K. K., Kim, S., Kim, I. H., Lee, I. H., & Kim, B. H. (2003). Selective enrichment of symmetric monounsaturated triacylglycerols from palm stearin by double solvent fractionation. *J. Food Science and Technology*, *51*, 242-252.
- Kang, K. K., Jeon, H., Kim, I., & Kim, B. H. (2013). Cocoa butter equivalents prepared by blending fractionated palm stearin and shea stearin. *J. Food Science and Biotechnology*, *22*, 347-352.
- Kellens, M., Gibon, V., Hendrix, M., & De-Greyt, W. (2007). Palm oil fractionation. *European J. Lipid Science and Technology*, *109*, 336-349.
- Lipp, M., & Anklam, E. (1998). Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate. *Food Chemistry*, *62*, 73-99.
- Macdiarmid, J. I., & Hetherington, M. M. (1995). Mood modulation by food: an exploration of affect and cravings in 'chocolate addicts'. *British J. Clinical Psychology*, *34*, 129-138.
- Malaysian Palm Oil Board [MPOB] (2009). *Pocketbook of Palm Oil Uses* (6<sup>th</sup> Edition). Bangi: MPOB.
- Mat-Dian, N. L., Affandi, S., & Ismail, R. (1997). *Trans fatty acids free food formulation based on palm oil and its products. A review*. PORIM Occasional Paper No. 36.
- Minifie, B. W. (2012). *Cocoa butter and replacement fats. Chocolate, Cocoa & Confectionery, Science & Technology* (3<sup>rd</sup> Edition). AVI Publishing Company.
- Mohamed-Ibrahim, O. (2013). Lipase-catalysed acidolysis of palm mid fraction oil with palmitic and stearic fatty acid mixture for production of cocoa butter equivalent. *J. Applied Biochemistry and Biotechnology*, *171*, 655-666.

- Nesaretnam, K., & Mohd-Ali, A. R. (1992). Engkabang (illipe)-an excellent component for cocoa butter equivalent fat. *J. Science and Food and Agriculture*, 60, 15-20.
- Nesaretnam, K., & Teah, Y. K. (1990). Specialty fats from palm and palm kernel oils - a review of PORIM's activities. *Palm Oil Developments*, 11, 12-17.
- Norizzah, A. R., Chong, C. L., Cheow, C. S., & Zaliha, O. (2004). Effects of chemical interesterification on physiochemical properties of palm stearin and palm kernel olein blends. *Food Chemistry*, 86, 229-235.
- Ong, A. S. H., & Goh, S. H. (2002). Palm oil: a healthful and cost-effective dietary component. *Food and Nutrition Bulletin*, 23, 11-22.
- Pease, J. J. (1985). Confectionery fats from palm oil and lauric oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 62(2), 426-430.
- Ramli, N., & Foo, S. Y. (2011). Effect of super olein and sunflower oil on the rheological properties of chocolate syrup. *Sains Malaysiana*, 40(4), 359-367.
- Ramli, N., Said, M., Aftar-Mizan, A. B., Tan, Y., & Ayob, M. K. (2014). Physico-chemical properties of blends of palm mid fraction, palm stearin and olive oil. *J. Food Quality*, 37, 57-62.
- Samsudin, S., & Rahim, M. A. (1996). Use of palm mid-fraction in white chocolate formulation. *J. Food Science and Food Agriculture*, 71, 483-490.
- Samsudin, S., Affandi, S., & Burhanuddin, A. S. (1996). *Palm-based chocolate pastel*. PORIM Information Series No. 35.
- Shamsudin, S. Y. (2004). Trans-free palm-base chocolate spread. MPOB Information Series No. 251.
- Shamsudin, S. Y., Abd-Hamid, R., & Kanagaratnam, S. (2015). *Chocolate spread with tocotrienols*. MPOB Information Series No. 584.
- Shukla, V. K. S. (2005). *Cocoa butter, cocoa butter equivalents, and cocoa butter substitutes. Handbook of Functional Lipids*. Kuala Lumpur: CRC Press.
- Smith, K. W. (2001). *Cocoa butter and cocoa butter equivalent. Structured and Modified Lipids*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Smith, K. W. (2012). *Confectionery fats. Cocoa Butter and Related Compounds*. Urbana, IL, USA: AOCS Press.
- Sonwai, S., Kaphueakngam, P., & Flood, A. (2014). Blending of mango kernel fat and palm oil mid-fraction to obtain cocoa butter equivalent. *J. Food Science and Technology*, 51, 2357-2369.
- Talbot, G. (2007). Formulation and production of confectionery fats. *Paper presented at the OFI Middle East 2007 Conference and Exhibition*. Cairo.
- Timms, R. E. (2003). *Properties, production and application. Confectionery Fats Handbook*. London: The Oily Press.

Uauy, R., Aro, A., Clarke, R., Ghafoorunissa., L'abbe, M., Mozaffarian, D., Skeaff, M., Stender, S., & Tavella, M. (2009). WHO scientific updates on trans fatty acids: summary and conclusions. *European J. Clinical Nutrition*, 63, 68-75.

Undurraga, D., Markovits, A., & Erazo, S. (2001). Cocoa butter equivalent through enzymatic interesterification of palm mid-fraction. *Process Biochemistry*, 36, 933-939.

Wong, S. (1991). *Some useful facts and findings on cocoa butter replacers and related informations.* Specialty Fats versus Cocoa Butter.

Zaidul, I. S. M., Norulaini, N. A., Mohd-Omar, A. K., & Smith, R. L. (2007). Blending of supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) extracted of palm kernel oil fractions and palm oil to obtain cocoa butter replacer. *J. Food Engineering*, 78, 1397-1407.

LA PALMA DE ACEITE, UNA AGROINDUSTRIA EFICIENTE, SOSTENIBLE Y MUNDIALMENTE COMPETITIVA

# PALMAS

CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN 2019

Circulación: Trimestral

Valor suscripción nacional: \$298.000 COP

Valor suscripción internacional: \$188 USD

Nombre	Empresa		
C.C.	Cargo		Nit
Dirección		Ciudad	Estado
País	Tel.		Fax
E-mail			

Para suscripciones nacionales consignar el valor correspondiente a nombre de Fedepalma, cuenta corriente No. 241250180-06 de Bancolombia Recaudo Nacional y enviar copia de la consignación al correo electrónico: [cidpalmero@fedepalma.org](mailto:cidpalmero@fedepalma.org), indicando destinatario, dirección de envío, fax, correo electrónico y el nombre y número del documento de la persona o NIT de la empresa a nombre de la cual desea que se emita la factura.

Para suscripciones en el exterior se debe realizar una transferencia en dólares cumpliendo los siguientes requerimientos:

BANCO INTERMEDIARIO	CITIBANK N.A. NEW YORK
CÓDIGO FEDWIRE O ABA	021000089
DIRECCIÓN SWIFT	CITIUS33
CUENTA No.	36006658 BANCOLOMBIA, BOGOTÁ – COLOMBIA
DIRECCIÓN POSTAL	111 WALL STREET, NEW YORK - NEW YORK 10043 U.S.A.
RAZÓN SOCIAL DEL BENEFICIARIO	FEDEPALMA
BANCO PAGADOR	BANCOLOMBIA-COLOMBIA
CUENTA BANCO PAGADOR	24125018006
SWIFT	COLOCOBM
CHIPS UID	CH005211

Una vez realizada la transferencia, favor enviar copia de la transferencia al correo electrónico: [cidpalmero@fedepalma.org](mailto:cidpalmero@fedepalma.org), informando que corresponde al pago de una suscripción a la revista Palmas, destinatario, dirección de envío, fax, correo electrónico y el número del documento de la persona o Número de Identificación Tributario de la empresa a nombre de la cual desea que se le emita la factura.

Contáctenos: [atencionafiliado@fedepalma.org](mailto:atencionafiliado@fedepalma.org)

## Publicaciones de Fedepalma y Cenipalma en otros medios

Publications by Fedepalma and Cenipalma in other Media

---

En esta edición de la revista Palmas compartimos dos publicaciones desarrolladas por investigadores de los programas de Biología y de Plagas y Enfermedades de Cenipalma en torno a una de las temáticas de mayor interés para la agroindustria palmera colombiana: el manejo de la enfermedad conocida como Pudrición del cogollo (PC).

El primero de estos trabajos tuvo como objetivo profundizar en aspectos relacionados con la caracterización de los estados tempranos de la PC a fin de proponer el desarrollo de metodologías y protocolos para la detección oportuna de esta enfermedad, con lo cual se espera reducir su incidencia y mitigar sus impactos en la palmicultura. Por su parte, el segundo artículo presenta los resultados del primer estudio realizado en Colombia sobre clones de palma de aceite cultivados *in vitro*, los cuales fueron inoculados con *Phytophthora palmivora*, agente causal de la PC, para estudiar su respuesta a la enfermedad. De esta manera, los resultados de esta importante investigación permiten identificar aquellos ejemplares con mayor resistencia al patógeno de la PC, a partir de los cuales se espera avanzar en el conocimiento y desarrollo de materiales genéticos mejor adaptados y resistentes a esta enfermedad.

Los artículos originales pueden ser consultados en el CID Palmero. Para mayor información escribir al correo [cidpalmero@fedepalma.org](mailto:cidpalmero@fedepalma.org).

## Artículo

Visualización de infección por *Phytophthora palmivora* con proteínas fluorescentes y marcadores de viabilidad celular en folíolos de palma de aceite (*Visualization of Phytophthora palmivora Infection in Oil Palm Leaflets with Fluorescent Proteins and Cell Viability Markers*).

**Autores:** Juan Camilo Ochoa, Mariana Herrera Corzo, Mónica Navia & Hernán Mauricio Romero Angulo.

**Publicado en:** *The Plant Pathology Journal*, volumen 35, número 1 de 2019, pp. 19-31. doi: 10.5423/PPJ.OA.02.2018.0034.

**Resumen:** la Pudrición del cogollo (PC) es la enfermedad más devastadora que afecta a los cultivos de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Colombia. Su agente causal, *Phytophthora palmivora*, desata la infección en folíolos no maduros de palma de aceite, produciendo lesiones necróticas, lo cual incrementa el daño ocasionado por la PC. Con el objetivo de mejorar la caracterización de la enfermedad, este trabajo ha transformado *P. palmivora* por medio de *Agrobacterium tumefaciens* (ATMT) para incluir proteínas fluorescentes CFPSKL (localización peroxisomal), eGFP y mRFP1 (localización citoplasmática). La estabilidad de algunos transformantes se confirmó mediante análisis de hibridación Southern y cultivos de zoosporas individuales; además, la virulencia y el crecimiento *in vitro* fueron comparados con el aislamiento de tipo salvaje (*wild type*) para seleccionar los transformantes con mayor semejanza al aislamiento salvaje. Así, el aislamiento de *P. palmivora* marcado con GRP fue de utilidad para identificar todas las estructuras infecciosas que suelen formarse por oomicetos hemibiotróficos, que incluyen colonización apoplástica y formación de haustorios. Por último, se detectaron respuestas de muerte celular relacionadas con tejidos de palma de aceite no madura que mostraron susceptibilidad reducida a la infección por *P. palmivora*, indicando que estos tejidos podrían mostrar una mayor resistencia. Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue mejorar la caracterización de las primeras etapas de la enfermedad, así como generar herramientas de biología celular que puedan ser de utilidad para el desarrollo de metodologías para la identificación de materiales de palma de aceite resistentes o susceptibles a la PC.

## Artículo

Respuesta de una palma de aceite *in vitro* e híbridos interespecíficos OxG a la inoculación con *Phytophthora palmivora* (*Response of in vitro obtained oil palm and interspecific OxG hybrids to inoculation with Phytophthora palmivora*).

**Autores:** Kelly Ávila Méndez, Rodrigo Ávila Díaz-Granados, Alonso Pardo Vargas, Mariana Herrera Corzo, Greicy Sarria Villa & Hernán Mauricio Romero Angulo.

**Publicado en:** *Forest Pathology*, e12486. doi: 10.1111/efp.12486.

**Resumen:** la Pudrición del cogollo (PC), causada por *Phytophthora palmivora*, es la enfermedad más devastadora para el cultivo de la palma de aceite en América. Se encontraron palmas de aceite que sobrevivieron a epidemias de PC en áreas altamente devastadas por la enfermedad, las cuales fueron clonadas por el laboratorio de Cultivo de Tejidos de Cenipalma. Se desarrolló un método de inoculación junto con una escala de severidad para las palmas *in vitro* a partir de cinco ortets inoculados con dos aislados diferentes de *P. palmivora*. Posteriormente, ocho ortets de *Elaeis*

*guineensis* y dos ortets del híbrido interespecífico OxG fueron evaluados en dos ensayos de inoculación bajo condiciones de cámara de crecimiento. La respuesta de los materiales clonales a la enfermedad fue consistente con la reportada en campo para los ortets correspondientes, en donde se identificaron dos ortets contrastantes: susceptible (Ortet 57) y resistente (Ortet 34). Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas bioquímicas para evaluar la respuesta al patógeno en los ortets contrastantes, observando un aumento en la producción de especies de oxígeno reactivo (ROS, por sus siglas en inglés) después de la inoculación con el patógeno, con una mayor acumulación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en las plantas resistentes. La actividad catalasa (CAT) en las plantas resistentes aumentó después de la inoculación con el patógeno, desde las 24 horas posteriores a la infección (hpi), y se mantuvo alta durante el tiempo de observación. En los ortets susceptibles hubo un aumento significativo en la actividad de catalasa tan solo 48 hpi y la actividad de peroxidasa (POD) aumentó en los clones de los ortets tanto susceptibles como resistentes, pero el aumento fue superior en los susceptibles. Por último, la actividad de la enzima Fenilalanina amoniO-liasa aumentó en respuesta a la inoculación, presentando mayores incrementos en los clones del ortet susceptible que en los clones del ortet resistente.



Respaldados por un sólido programa de investigación y una de las más amplias colecciones de germoplasma en el mundo.

## SU ÉXITO **CRECE** CON NUESTROS MATERIALES DE SIEMBRA

Garantizamos:

- La más alta calidad
- 99.9% de pureza de téneras
- Precocidad y alto rendimiento sostenido

### - Amazon

(Híbrido compuesto)

- Buena extracción de aceite (>21%)
- Alta tolerancia a pudriciones de cogollo
- Bajo nivel de descarte en vivero
- Alta precocidad
- Crecimiento vertical muy lento
- Polen autocompatible

### - Variedades de alta densidad

Densidad de siembra de 160 - 170 palmas/ha

Evolution Blue, Themba, Supreme, Challenger y Avalanche

### - Clones de alta densidad

Mayor densidad de siembra (Hasta 180 palmas/ha)

Titán, Tornado, Sunrise, Sabre y Drake

- Precocidad y alta producción de racimos
- Menores costos de cosecha y mayor vida comercial de la plantación
- Alta tasa de extracción de aceite (26%)
- Plantaciones altamente uniformes



4 variedades para diferentes necesidades

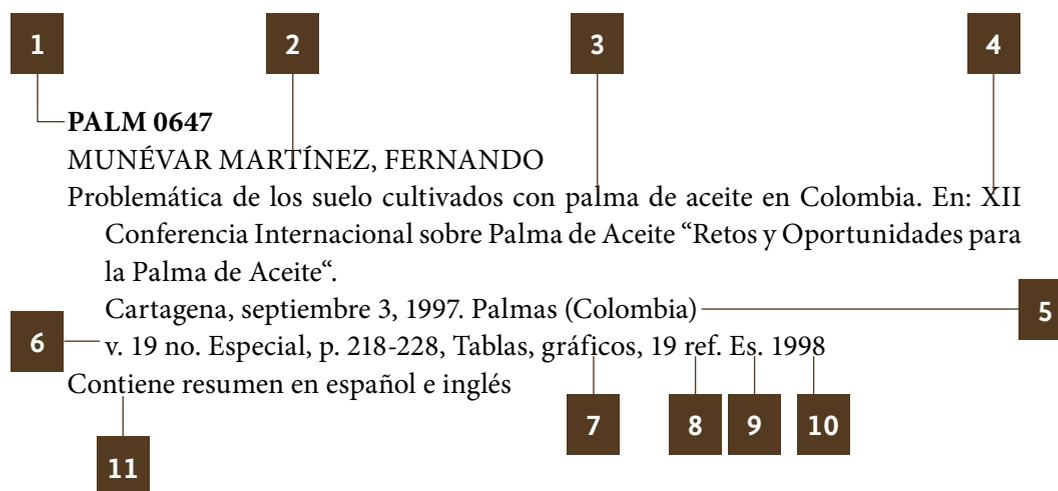
- Spring (Variedad Premium)
- La Mé (Variedad Estándar)
- Kigoma (Variedad Especial)
- Bamenda (Variedad Especial)

## Índice de revista Palmas, volumen 39, 2018

Este índice, preparado por el Centro de Información y Documentación de Fedepalma, consta de cuatro secciones: Referencias bibliográficas, Índice alfabético de autores e Índice alfabético de temas, continuando así con el esquema utilizado en el Índice 1980-1999.

### Estructura para las referencias bibliográficas

#### Modelo de registro bibliográfico



- |   |   |
|---|---|
| 1. Número que identifica cada referencia bibliográfica en el Índice | 6. Volumen, número y páginas                        |
| 2. Autor del artículo   | 7. Información descriptiva (tablas, gráficos, etc.) |
| 3. Título del artículo  | 8. Número de referencias                            |
| 4. Nombre de la reunión, ciudad y fecha                             | 9. Idioma de publicación                            |
| 5. Título de la revista y país de origen                            | 10. Año de publicación                              |
|   | 11. Notas   |

#### Índice alfabético de autores

M

MUNÉVAR MARTÍNEZ, FERNANDO  
0647, 0701

#### Índice alfabético de temas

S

Suelos  
0112, 0118, 0257, 0347, 0372, 0399, 0400, 0647, 0701

## Referencias bibliográficas de revista Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018)

### PALM 2116

#### EDITORIAL

El mundo celebra cien años de producción comercial de palma de aceite, el referente de Malasia. *The World Celebrates One Hundred Years of Commercial Oil Palm Production with Malaysia as a Benchmark*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No. 1 p. 6-9.

Contiene texto en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, HISTORIA, MALASIA, EDITORIAL.

### PALM 2117

SIEW-KEONG, MAH / ARENAS, CARLOS.

Traductor. 100 años de gloria y el horizonte por venir. *100 Years of Glory and the Next Horizon*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.1 p. 11-14. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, HISTORIA, MALASIA, COLUMNISTA INVITADO

### PALM 2118

WOITTIEZ, LOTTE S. / VAN WIJK, MARK T. / SLINGERLAND, MAJA / VAN NOORDWIJK, MEINE / GILLER, KEN E. / ARENAS, CARLOS.

Traductor. Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes. *Yield Gaps in Oil Palm: A Quantitative Review of Contributing Factors*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.1 p. 16-68.

Contiene resumen en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, RENDIMIENTO, INTENSIFICACIÓN, CULTIVO/SOSTENIBILIDAD.

### PALM 2119

ÁLVAREZ, OSCAR M. / RUÍZ Á., ELIZABETH / MOSQUERA M., MAURICIO / SILVA, JOSÉ A.

Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia. *Economic Assessment of Irrigation Systems for Oil Palm Plantations at the Colombian Northern Zone*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.1 p. 69-85.

Contiene resumen en español e inglés. INDICADORES, FINANZAS, AGUA, EFICIENCIA, RENTABILIDAD, CULTIVO/SOSTENIBILIDAD

### PALM 2120

HINESTROZA C., ALCIBIADES.

Paso a paso en la producción de aceite de palma sostenible. *Step by Step for Sustainable Palm Oil Production*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.1 p. 86-89. NÚCLEO PALMERO, SOSTENIBILIDAD, MEJORES PRÁCTICAS.

### PALM 2121

MESA G., CARLOS A.

De la política pública a la política gremial: el Fondo de Estabilización de Precios de la Palma de Aceite en Colombia. *From Public Policy to a Sectorial Policy: The Price Stabilization Fund for Kernel, Palm Oil and their Fractions*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.1 p. 91-118.

Contiene resumen en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, POLÍTICA PÚBLICA, MERCADEO, FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS PARA LA PALMA DE ACEITE - FEP, INSTITUCIONALIDAD.

### PALM 2122

ÁVILA M., KELLY / PICO O., GILBERTO / DÍAZ G., RODRIGO A. / SARRIA V., GREICY / ROMERO A., HERNÁN M.

Identificación de estructuras de infección de *Phytophthora palmivora* en hojas de clones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Identification of infection structures of *Phytophthora palmivora* in leaves of oil palm clones (*Elaeis guineensis* Jacq.)*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.1 p. 120-130.

Contiene resumen en español e inglés. PHYTOPHTHORA PALMIVORA, CLONACIÓN, ORTETS, SANIDAD.

### PALM 2123

MONDRAGÓN S., ALEXANDRA.

Aceite de palma y Codex Alimentarius. *Palm Oil and Codex Alimentarius*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No. 1 p. 131-133. CODEX ALIMENTARIUS, ACEITE DE PALMA, NUTRICIÓN, CONSUMO, SALUD Y NUTRICIÓN HUMANA.

#### PALM 2124

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA

Publicaciones de Fedepalma y Cenipalma en otros medios. *Publications by Fedepalma and Cenipalma in other Media*. Evolución de las plantas de beneficio del fruto de la palma de aceite a biorrefinerías: revisión de la literatura sobre los usos actuales y potenciales de la biomasa residual y los efluentes (*Evolution of palm oil mills into bio-refineries: Literature review on current and potential uses of residual biomass and effluents*). Avances en la interpretación de imágenes tomográficas como método de detección temprana de palmas de aceite afectadas por Pudrición basal del estípite (PBE) en Colombia (*Advances in the Interpretation of Tomographic Images as an Early Detection Method of Oil Palm Affected by Basal Stem Rot in Colombia*). Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.1 P. 134-135. PLANTAS DE BENEFICIO, BIORREFINERÍAS, IMÁGENES TOMOGRÁFICAS, PUDRICIÓN BASAL DE ESTÍPITE, PUBLICACIONES DE LA FEDERACIÓN EN OTROS MEDIOS.

#### PALM 2125

EDITORIAL

Balance poco alentador para el sector palmero deja el Gobierno Santos. *Santos Administration Ends with a Discouraging Outlook for the Oil Palm Sector*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 6-11.

Contiene texto en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, PUDRICIÓN DEL COGOLLO, POLÍTICA PÚBLICA, DESARROLLO RURAL, IMPUESTOS, EDITORIAL.

#### PALM 2126

MOSQUERA M., MAURICIO / VALDERRAMA V., MABYR / RUÍZ Á., ELIZABETH / LÓPEZ A., DANIEL / CASTRO Z., LUIS E. / GONZÁLEZ A., MARÍA A.

Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos. *Economic Production Costs for the Fruit of Oil Palms and Crude Palm Oil in 2016: Estimation in a Group of Colombian Producers*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 13-26.

Contiene resumen en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, ACEITE DE PALMA, PRODUCCIÓN, COSTOS, ELAEIS GUINEENSIS, ELAEIS OLEIFERA X ELAEIS GUINEENSIS (OXG), CULTIVO/SOSTENIBILIDAD.

#### PALM 2127

AZIZ, MUHAMMAD / KURNIAWAN, TEDI / ODA, TAKUYA / KASHIWAGI, TAKAO / ARENAS, CARLOS.

Traductor. Generación avanzada de energía a partir de la biomasa residual en plantas de beneficio de aceite

de palma. *Advanced Power Generation Using Biomass Wastes from Palm Oil Mills*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 27-46.

Contiene resumen en español e inglés. GENERACIÓN DE ENERGÍA, EFLUENTES, MANEJO DE RESIDUOS, TUSA, POME, VALOR AGREGADO.

#### PALM 2128

RUIZ, ELIZABETH / MOSQUERA M., MAURICIO / MESA F., ELOINA / MORENO, EDUARDO / MEDINA, CAMILO / MALAGÓN, VÍCTOR.

Un método para definir la estrategia de transferencia de tecnología a proveedores de fruta de palma de aceite. *A Method for Defining the Strategy for Technology Transfer to Oil Palm Fruit Providers*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 47-57.

Contiene resumen en español e inglés. TECNOLOGÍA, MEJORES PRÁCTICAS, INNOVACIÓN, ANÁLISIS, EXTENSIÓN.

#### PALM 2129

BARRIOS T., CARLOS E. / CASTILLO V., NATALIA J. / BUSTILLO P., ALEX E. / MÉNDEZ G., ADALBERTO.

Biología del raspador de la flecha, *Cephaloleia vagelineata* Pic. (Coleoptera : Chrysomelidae), plaga de la palma de aceite en Colombia. *Biology of Cephaloleia vagelineata Pic. (Coleoptera: Chrysomelidae) Pest of the Oil Palm in Colombia*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 59-65.

Contiene resumen en español e inglés. CICLO DE VIDA, CEPHALOLEIA VAGELINEATA, BIOLOGÍA, PALMA DE ACEITE, SANIDAD.

#### PALM 2130

FREE CHOICE INSTITUTE – CAMPAGNE LIBERALE / ARENAS, CARLOS.

Traductor. Libre de aceite de palma, con más grasas saturadas. Análisis comparativo de los valores nutricionales presentados en los empaques de 60 productos. *Palm Oil Free, with more Saturated Fats. A Comparative Research on the Nutritional Profile Indicated on the Packaging of 60 Food Products*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 66-77

Contiene resumen en español e inglés. ACEITE DE PALMA, VALOR NUTRICIONAL, EMPAQUES, CONSUMIDORES, POSICIONAMIENTO, CONSUMO, SALUD Y NUTRICIÓN HUMANA.

#### PALM 2131

MONDRAGÓN S., ALEXANDRA / BAENA S., MARIA A.

Aceite de palma, una opción versátil para alimentos funcionales. *Palm Oil, A Versatile Option for Functional Foods*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 78-87.

Contiene resumen en español e inglés. ALIMENTOS

FUNCIONALES, ACEITE DE PALMA, TOCOTRIENOS, CAROTENOS, ANTIOXIDANTES, VALOR NUTRICIONAL, CONSUMO, SALUD Y NUTRICIÓN HUMANA.

#### PALM 2132

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA

Publicaciones de Fedepalma y Cenipalma en otros medios. *Publications by Fedepalma and Cenipalma in other Media*. Evaluación de alternativas para la evolución de las plantas de beneficio del fruto de la palma de aceite de palma a biorrefinerías (*Evaluation of Alternatives for the Evolution of Palm Oil Mills into Biorefineries*). Pudrición del cogollo causada por *Phytophthora palmivora*: una enfermedad destructiva emergente para la palma de aceite (*Bud Rot Caused by Phytophthora palmivora: A Destructive Emerging Disease of Oil Palm*). Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.2 p. 88-90. PLANTAS DE BENEFICIO, BIORREFINERÍAS, PUDRICIÓN DEL COGOLLO, PHYTOPHTHORA PALMIVORA, PUBLICACIONES DE LA FEDERACIÓN EN OTROS MEDIOS.

#### PALM 2133

EDITORIAL

El gremio palmero colombiano, comprometido con la ciencia, la tecnología y la innovación. *Colombian Oil Palm Agroindustry: Committed to Science, Technology, and Innovation*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 8-13.

Contiene texto en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, CIENCIA, TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN, EDITORIAL.

#### PALM 2134

DANGOND L., LUIS F.

La Colombia palmera del 2030, ¿un sueño posible?. *Oil Palm in Colombia in 2030. A possible dream?*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 16-26. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, ACEITE DE PALMA, USOS INDUSTRIALES, USOS COMESTIBLES, SOSTENIBILIDAD, ACTO DE INSTALACIÓN.

#### PALM 2135

SANTOS C., JUAN M.

Mensaje del Presidente de la República al Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. *Message by the President of the Republic of Colombia to the National Congress of Oil Palm Growers*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 27. IN-

DUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, ECONOMÍA, ACTO DE INSTALACIÓN.

#### PALM 2136

ZAMBRANO C., SAMUEL.

Palabras de Samuel Zambrano Canizales, Viceministro de Asuntos Agropecuarios. *Message by Samuel Zambrano Canizales, Vice-minister of Agricultural Affairs*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 28-30. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, GENERACIÓN DE ENERGÍA, PRODUCTIVIDAD, GESTION AMBIENTAL, SOSTENIBILIDAD, ACTO DE INSTALACIÓN.

#### PALM 2137

BEDOYA V., JORGE E.

Palabras de Jorge Enrique Bedoya Vizcaya, Presidente de la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC). *Message by Jorge Enrique Bedoya Vizcaya, President of the Colombian Agricultural Association*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 31-33. SEGURIDAD JURÍDICA, PROPIEDAD RURAL, POLÍTICA PÚBLICA, BIENES Y SERVICIOS PÚBLICOS, TRABAJO RURAL, ACTO DE INSTALACIÓN.

#### PALM 2138

MEJÍA H., ADRIANA.

Presentación del estudio “Una apuesta por la competitividad de Tumaco: construcción territorial, inclusión productiva y bienestar social”. *Presentation of the Study “A Commitment to the Competitiveness of Tumaco: Territorial Construction, Productive Inclusion and Social Welfare”*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 34-36. COMPETITIVIDAD, DESARROLLO REGIONAL, RECURSOS NATURALES, DESARROLLO AGRÍCOLA, TUMACO, ACTO DE INSTALACIÓN.

#### PALM 2139

MESA D., JENS.

La palma de aceite en Colombia: una agroindustria dinámica y con gran potencial de desarrollo. *Oil palm in Colombia: A Dynamic Agroindustry with Great Potential for Development*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 37-41. ACTIVIDAD GREMIAL, ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, PRODUCTIVIDAD, SOSTENIBILIDAD, COMPETITIVIDAD, LIDERAZGO, INTERÉS SECTORIAL.

#### PALM 2140

TUGENDHAT, EDUARDO.

Una nueva visión para la transformación de sistemas agroempresariales: implicaciones para la palma aceitera colombiana. *A New Perspective for the Transformation of Agribusiness Systems: Implications for Colombian Oil Palm*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 42-46. AGRICULTURA, SOSTENIBILIDAD, CADENA DE VALOR, CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS, CONSUMIDORES, ECONOMÍA, INTERÉS SECTORIAL.

#### PALM 2141

DARREL WEBBER.

Principales desafíos de las empresas palmeras de cara a la implementación de la RSPO para Colombia y Latinoamérica. *Main Challenges for Colombian and Latin American Oil Palm Companies in the Implementation of RSPO Standards*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 47-51. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, SOSTENIBILIDAD, RESPONSABILIDAD SOCIAL, ÉTICA EMPRESARIAL, MERCADOS, RSPO, INTERÉS SECTORIAL.

#### PALM 2142

GÓMEZ B., GONZALO.

Los retos de un buen gobierno corporativo. *Challenges for a Good Corporate Governance*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 52-54. MODELOS, GOBERNANZA, PROPIEDAD, EMPRESA, FAMILIA, INTERÉS SECTORIAL.

#### PALM 2143

VILLAFUERTE, JAIME.

Lean Six Sigma: eficiencia para la empresa palmera. *Lean Six Sigma: Efficiency for Oil Palm Companies*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 55-57. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, PROCESOS, VALOR AGREGADO, CLIENTE, MERCADOS, MEJORAMIENTO, INTERÉS SECTORIAL.

#### PALM 2144

PEÑA, JUAN C.

Campaña de fomento del consumo de aceite de palma colombiano: un esfuerzo de todos. *Promoting the Consumption of Colombian Palm Oil: An Effort by All*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 58-60. ACEITE DE PALMA, CONSUMO, VALOR NUTRICIONAL, POSICIONAMIENTO, MERCADO, CAMPAÑA, INTERÉS SECTORIAL.

#### PALM 2145

BART VAN HOOF / CARINA SÁNCHEZ / ALEX SAER.

Generación del valor ambiental: oportunidades en plantas de beneficio del sector palmicultor colombiano. *Environmental Value Creation: Opportunities for Colombian Palm Oil Mills*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 61-74. GERENCIA AMBIENTAL, GERENCIA DE VALOR, PLANTAS DE BENEFICIO, DESEMPEÑO AMBIENTAL, GESTION ORGANIZACIONAL, NORMAS, MEJORAMIENTO, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2146

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE, CENIPALMA / BECERRA E., JULIÁN F. / SARRIA V., GREICY / ALDANA DE LA T., ROSA.

Pudrición del cogollo: avances y manejo integrado de la sanidad. *Bud Rot: Advances and Integrated Phytosanitary Management*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 75-78. PUDRICIÓN DEL COGOLLO, INVESTIGACIÓN, RHYNCHOPHORUS PALMARUM, MANEJO DE LA ENFERMEDAD, PHYTOPHTHORA PALMIVORA, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2147

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE, CENIPALMA / OJEDA A., SILVIA / HINESTROZA C., ALCIBIADES.

Mejores prácticas agroindustriales: el enfoque de la Federación con los Núcleos Palmeros para la producción de aceite de palma sostenible. *Best Agroindustrial Practices: An Approach by Fedepalma and Colombian Oil Palm Nucleus for the Production of Sustainable Palm Oil*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 79-81. MEJORES PRÁCTICAS, PALMA DE ACEITE, MODELO PRODUCTIVO, SOSTENIBILIDAD, NÚCLEO PALMERO, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2148

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE, CENIPALMA / MONDRAGÓN S., ALEXANDRA / BAENA S., MARIA A.

Beneficios nutricionales del aceite de palma: una mirada desde la ciencia. *Nutritional Benefits of Palm Oil: A Scientific Approach*. Memorias XLVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 82-84. ACEITES VEGETALES, ÁCIDOS GRASOS, ACEITE DE PALMA, CONSUMO, NUTRICIÓN, ALIMENTACIÓN, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2149

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / BAQUERO G., JAIME.

¿En qué se invierten los recursos que aportan los palmicultores colombianos?. *How are Invested the Resources Provided by Colombian Oil Palm Growers?*. Memorias XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 85-88. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, SOSTENIBILIDAD, INVERSIÓN, INSTITUCIONALIDAD, FINANCIAMIENTO, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2150

CONSULTORA NEARCO.

Relacionamiento y defensa del aceite de palma colombiano en la Unión Europea. *Public Relations and Defense of Colombian Palm Oil at the European Union*. Memorias XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 89-91. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, UNIÓN EUROPEA, DEFORESTACIÓN, EXPORTACIÓN, MERCADOS, SOSTENIBILIDAD, POSICIONAMIENTO, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2151

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / ANGARITA C., ESNEIDER.

Percepción de la reputación e imagen del sector palmero colombiano. *Perception of Colombian Oil Palm Sector's Reputation and Image*. Memorias XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 92-86. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, POSICIONAMIENTO, MEDIOS AUDIOVISUALES, PUBLICIDAD, MARCA, CANALES DE INFORMACION, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2152

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE, CENIPALMA / MOSQUERA M., MAURICIO / BELTRÁN G., JORGE A. / HINESTROZA C., ALCIBIADES.

Incremento en la productividad y reducción de brechas tecnológicas: primer paso en el proceso para alcanzar la sostenibilidad. *Increasing Productivity and Closing Technological Gaps: The First Step in the Process towards Sustainability*. Memorias XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 97-103. NÚCLEO PALMERO, PARCELAS DEMOSTRATIVAS, PALMA DE ACEITE, PRODUCTIVIDAD, COSTOS, MANEJO FITOSANITARIO, MEJORES PRÁCTICAS, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2153

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / DAZA A., FELIPE.

Resultados de la Primera Gran Encuesta Nacional de Empleo Directo en el Sector Palmero Colombiano. *Results of the First National Survey on Direct Employment in the Colombian Oil Palm Sector*. Memorias XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 104-109. EMPLEO, INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, DIGNIFICACIÓN DE TRABAJO, EMPLEO FORMAL, RESPONSABILIDAD SOCIAL, BIENESTAR, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2154

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / MAHECHA A., XIMENA.

Evaluación del impacto de la investigación y la transferencia de Cenipalma para enfrentar la PC, financiada por el Fondo de Fomento Palmero. Principales aspectos y resultados del estudio realizado por el CRECE. *Impact Assessment of Cenipalma's Research and Transfer Financed by the Oil Palm Development Fund to Tackle BR. Main Issues and Findings by CRECE*. Memorias XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 110-117. INVESTIGACIÓN, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA, CENTROS DE INVESTIGACIÓN, CENSO, ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS, MEJORES PRÁCTICAS, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2155

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / ARIAS C., MIGUEL.

El mercado de aceite de palma en Colombia y sus retos a futuro. *Palm Oil Market in Colombia and its Future Challenges*. Memorias XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 118-121. MERCADO LABORAL, MERCADO DE EXPORTACIÓN, INTERNACIONALIZACIÓN, ACEITE DE PALMA, BIOCOMBUSTIBLES, COMERCIALIZACIÓN, TRABAJO SECTORIAL Y GREMIAL.

#### PALM 2156

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / CASTRO Z., LUIS E.

Programa de Aceite de Palma Sostenible de Colombia. *Colombian Sustainable Palm Oil Program*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 122-125. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, SOSTENIBILIDAD, MERCADOS, SOSTENIBILIDAD SOCIAL, GESTIÓN AMBIENTAL, COSTOS DE PRODUCCIÓN, PROYECTOS PRODUCTIVOS, ACTOS Y EVENTOS.

**PALM 2157**

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / MOLINA N., LOURDES. Premio a la Mujer Palmera Campesina 2018. *Oil Palm Female Grower Award 2018*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 126-128. EVENTO, RECONOCIMIENTO, MUJER PALMERA CAMPESINA, ACTOS Y EVENTOS.

**PALM 2158**

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / GÓMEZ Z., GUSTAVO A. 9º Concurso Nacional de Fotografía Ambiental y Social en Zonas Palmeras. *9th National Contest of Environmental and Social Photography in Colombian Oil Palm Zones*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 129-137. EVENTO, RECONOCIMIENTO, CONCURSO NACIONAL DE FOTOGRAFÍA, AMBIENTAL, SOCIAL, FOTOGRAFÍA, ACTOS Y EVENTOS.

**PALM 2159**

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / FONDOS PARAFISCALES PALMEROS / CASTELLANOS F., JUAN F. Sesiones estatutarias 2018 de Fedepalma y los Fondos Parafiscales Palmeros. *Statutory Sessions of Fedepalma and the Oil Palm Sector Parafiscal Funds*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 138-140. COMITÉ DIRECTIVO, FONDOS PARAFISCALES PALMEROS, JUNTA DIRECTIVA, ACTOS Y EVENTOS.

**PALM 2160**

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / AVELLA O., DIANA C. Visita técnica: proyecto de generación de energía a partir de biomasa. *Technical Tour: Power Generation from Biomass*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 141-142. GENERACIÓN DE ENERGÍA, BIOMASA, ACTOS Y EVENTOS.

**PALM 2161**

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA / AVELLA O., DIANA C. Clúster de bioenergías: ¡Juntos hacemos más!. *Bioenergy Cluster: Together, we can do more!*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 143-145. GENERACIÓN DE ENERGÍA, CLÚSTER, COMPETITIVIDAD, CAÑA DE AZÚCAR, ACTOS Y EVENTOS.

**PALM 2162**

MESA D., JENS. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia: comprometida con la sostenibilidad. *Oil Palm Agribu-*

*ness in Colombia: Committed to Sustainability*. Memorias VII Conferencia Latinoamericana de RSPO. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 148-151. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, SOSTENIBILIDAD, PRODUCTIVIDAD, RESPONSABILIDAD SOCIAL, SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA, RSPO.

**PALM 2163**

DARREL WEBBER.

RSPO: 10 años en Latinoamérica. *RSPO: 10 Years in Latin America*. Memorias VII Conferencia Latinoamericana de RSPO. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 152-155. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, LATINOAMÉRICA, CADENA DE VALOR, CERTIFICACIÓN, SOSTENIBILIDAD, POLÍTICAS PÚBLICAS, RSPO.

**PALM 2164**

MURILLO U., LUIS G.

Palabras de Luis Gilberto Murillo Urrutia, Exministro de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el acto de clausura de la VII Conferencia Latinoamericana de la RSPO. *Speech by Luis Gilberto Murillo Urrutia, Former Minister of Environment and Sustainable Development, at the Closing Ceremony of the VII Latin American rsपो Conference*. Memorias VII Conferencia Latinoamericana de RSPO. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 156-158. DESARROLLO SOCIAL, DESARROLLO ECONÓMICO, CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA, BIODIVERSIDAD, ACEITE DE PALMA, CADENA DE VALOR, RESPONSABILIDAD SOCIAL, SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA, PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, RSPO.

**PALM 2165**

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA.

Relación sesiones magistrales y talleres prácticos durante la VII Conferencia Latinoamericana de RSPO. *Keynote Speeches and Workshops during the VII Latin American RSPO Conference*. Memorias VII Conferencia Latinoamericana de RSPO. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 159-160. TALLERES, SESIONES MAGISTRALES, RSPO.

**PALM 2166**

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA.

Expopalma. Información de expositores. Memorias VII Conferencia Latinoamericana de RSPO. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 161-167. EXPOPALMA, FOTOGRAFÍA.

#### PALM 2167

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE ACEITE, FEDEPALMA.

Publicaciones de Fedepalma y Cenipalma en otros medios. *Publications by Fedepalma and Cenipalma in other Media: Ajuste de las curvas de respuesta fotosintética a la radiación fotosintéticamente activa en palma de aceite (Fitting of Photosynthetic Response Curves to Photosynthetically Active Radiation in Oil Palm)*. Evolución de las plantas de beneficio del fruto de la palma de aceite a biorrefinerías: revisión de la literatura sobre los usos actuales y potenciales de la biomasa residual y los efluentes (*Evolution of Palm Oil Mills into Bio-refineries: Literature Review on Current and Potential Uses of Residual Biomass and Effluents*). Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.3 p. 170-172. INVESTIGACIÓN, FOTOSÍNTESIS, PLANTAS DE BENEFICIO, BIORREFINERÍAS, PUBLICACIONES DE LA FEDERACIÓN EN OTROS MEDIOS.

#### PALM 2168

EDITORIAL

Desempeño del sector palmero colombiano en 2018. *Performance of the Colombian Oil Palm Sector during 2018*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.4 p. XX. Contiene texto en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, CIENCIA, TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN, EDITORIAL.

#### PALM 2169

FRANCO V., LUZ A. / DELGADO R., TULIA E. / RINCÓN N., ÁLVARO H. / MOLINA L., DIEGO L. / BELTRÁN G., JORGE A. / MOSQUERA M., MAURICIO.

Requerimiento nutricional del híbrido interespecífico OxG en fase de vivero. *Nutritional Requirement of Interspecific OxG Hybrid Plants during Nursery Stage*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.4 p. 15-25.

Contiene resumen en español e inglés. HÍBRIDO OXG, NUTRICIÓN EN LAS PLANTAS, VIVERO, CULTIVO.

#### PALM 2170

BARRERA H., JUAN C. / RAMÍREZ C., NIDIA E. / GARCÍA N., JESÚS A.

Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite. *Biomass Combustion: Concepts, Technologies and Applications in the Oil Palm Agroindustry*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.4 p. 26-46

Contiene resumen en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, BIOMASA, COMBUSTIÓN.

#### PALM 2171

GUERRERO S., ANDERSON / CALA A., SILVIA / MOSQUERA M., MAURICIO/ BARRERA H., JUAN C. / PEÑA M., CRISTHIAN.

Validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en planta de beneficio. *Assessment of a Methodology for Measuring the Performance of Electric Power Consumption in Palm Oil Mills*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.4 p. 47-59

Contiene resumen en español e inglés. GENERACIÓN DE ENERGÍA, PLANTAS DE BENEFICIO, PRUEBAS DE RENDIMIENTO, VALOR AGREGADO.

#### PALM 2172

RIVERA M., YURANY D. / ROMERO Á., HERNÁN M.

Los mitos ambientales de la palma de aceite. *Environmental Myths around Oil Palm*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.4 p. 60-70 Contiene resumen en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, USOS INDUSTRIALES, USOS COMESTIBLES, SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA, PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, BIODIVERSIDAD, METODOLOGÍA, SOSTENIBILIDAD.

#### PALM 2173

NORAZURA AILA MOHD HASSIM / NOOR LIDA HABI MAT / GARCÍA N., JESÚS A.

Uso de aceite de palma, el aceite de palmiste y sus fracciones en confitería. *Usage of Palm Oil, Palm Kernel Oil and their Fractions as Confectionary Fats*. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.4 p. 71-84.

Contiene resumen en español e inglés. INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE, USOS INDUSTRIALES, USOS COMESTIBLES, ACEITE DE PALMA, ACEITE DE PALMISTE, SALUD Y NUTRICIÓN HUMANA.

#### PALM 2174

ÍNDICE.

Índice de revista Palmas, volumen 39 2018. Palmas (Colombia) Vol. 39 (2018): No.4 p. XX.

ÍNDICE.

## Índice alfabético de autores revista Palmas volumen 39, 2018

### A

ALDANA DE LA T., ROSA  
2146  
ÁLVAREZ, OSCAR M.  
2119  
ANGARITA C., ESNEIDER  
2151  
ARENAS, CARLOS. Traductor  
2117 2118 2130  
ARIAS C., MIGUEL  
2155  
AVELLA O., DIANA C.  
2160 2161  
ÁVILA M., KELLY  
2122  
AZIZ, MUHAMMAD  
2127

### B

BAENA S., MARIA A.  
2131 2148  
BAQUERO G., JAIME  
2149  
BARRERA H., JUAN C.  
2170 2171  
BARRIOS T., CARLOS E.  
2129  
BECERRA E., JULIÁN F.  
2146  
BEDOYA V., JORGE E  
2137  
BELTRÁN G., JORGE A.  
2152 2169  
BUSTILLO P., ALEX E.  
2129

### C

CALA A., SILVIA  
2171  
CASTELLANOS F., JUAN F.  
2159

CASTILLO V., NATALIA J.  
2129  
CASTRO Z., LUIS E.  
2126 2156  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
PALMA DE ACEITE, CENIPALMA  
2146 2147 2148 2152  
CONSULTORA NEARCO  
2150

### D

DANGOND L., LUIS F.  
2134  
DAZA A., FELIPE  
2153  
DELGADO R., TULIA E.  
2169  
DÍAZ G., RODRIGO A.  
2122

### F

FEDERACIÓN NACIONAL DE  
CULTIVADORES DE ACEITE,  
FEDEPALMA  
2116 2124 2125 2132  
2133 2149 2151 2153  
2154 2155 2156 2157  
2158 2159 2160 2161  
2165 2166 2167 2168  
FONDOS PARAFISCALES  
PALMEROS  
2159  
FRANCO V., LUZ A.  
2169  
FREE CHOICE INSTITUTE –  
CAMPAGNE LIBERALI  
2130

### G

GARCÍA N., JESÚS A.  
2170 2173

GILLER, KEN E.  
2118  
GÓMEZ B., GONZALO  
2142  
GÓMEZ Z., GUSTAVO A.  
2158  
GONZÁLEZ A., MARÍA A.  
2126  
GUERRERO S., ANDERSON  
2171

### H

HINESTROZA C., ALCIBIADES  
2120 2147 2152  
HOOF, BART VAN  
2145

### I

ÍNDICE  
2174

### K

KASHIWAGI, TAKAO  
2127  
KURNIAWAN, TEDI  
2127

### L

LÓPEZ A., DANIEL  
2126

### M

MAHECHA A., XIMENA  
2154  
MALAGÓN, VÍCTOR  
2128  
MEDINA, CAMILO  
2128

MEJÍA H., ADRIANA  
2138  
MÉNDEZ G., ADALBERTO  
2129  
MESA D., JENS  
2139 2162  
MESA F., ELOINA  
2128  
MESA G., CARLOS A.  
2121  
MOLINA L., DIEGO L.  
2169  
MOLINA N., LOURDES  
2157  
MONDRAGÓN S., ALEXANDRA  
2123 2131 2148  
MONTOYA M., MAURICIO  
2169 2171  
MORENO, EDUARDO  
2128  
MOSQUERA M., MAURICIO  
2119 2126 2128 2152  
MURILLO U., LUIS G.  
2164

## N

NOOR LIDA, HABI MAT  
2173  
NORAZURA AILA, MOHD HASSIM  
2173

## O

ODA, TAKUYA  
2127

OJEDA A., SILVIA  
2147

## P

PEÑA M., CRISTHIAN  
2171  
PEÑA, JUAN C.  
2144  
PICO O., GILBERTO  
2122

## R

RAMÍREZ C., NIDIA E.  
2170  
RINCÓN N., ÁLVARO H.  
2169  
RIVERA M., YURANY D.  
2172  
ROMERO A., HERNÁN M.  
2122 2172  
RUÍZ Á., ELIZABETH  
2119 2126 2128

## S

SAER, ALEX  
2145  
SÁNCHEZ, CARINA  
2145  
SANTOS C., JUAN M.  
2135  
SARRIA V., GREICY  
2122 2146

SIEW-KEONG, MAH  
2117  
SILVA, JOSÉ A.  
2119  
SLINGERLAND, MAJA  
2118

## T

TUGENDHAT, EDUARDO  
2140

## V

VALDERRAMA V., MABYR  
2126  
VAN NOORDWIJK, MEINE  
2118  
VAN WIJK, MARK T.  
2118  
VILLAFUERTE, JAIME  
2143

## W

WEBBER, DARREL  
2141 2163  
WOITTIEZ, LOTTE S.  
2118

## Z

ZAMBRANO C., SAMUEL  
2136

## Índice alfabético de temas de revista Palmas volumen 39, 2018

A	BIENESTAR	CODEX ALIMENTARIUS
ACEITE DE PALMA	2153	2123
2123 2126 2130 2131	BIOCOMBUSTIBLES	COLUMNISTA INVITADO
2134 2144 2148 2155	2155	2117
2164 2173	BIODIVERSIDAD	COMBUSTIÓN
ACEITE DE PALMISTE	2164 2172	2170
2173	BIOLOGÍA	COMERCIALIZACIÓN
ACEITES VEGETALES	2129	2155
2148	BIOMASA	COMITÉ DIRECTIVO
ÁCIDOS GRASOS	2160 2170	2159
2148	BIORREFINERIAS	COMPETITIVIDAD
ACTIVIDAD GREMIAL	2124 2132 2167	2138 2139 2161
2139	C	CONCURSO NACIONAL DE
ACTO DE INSTALACIÓN	CADENA DE VALOR	FOTOGRAFÍA
2134 2135 2136 2137	2140 2163 2164	2158
2138	CAMPAÑA	CONSERVACIÓN DE LOS
ACTOS Y EVENTOS	2144	RECURSOS
2156 2157 2158 2159	CANALES DE INFORMACION	2140
2160 2161	2151	CONSERVACIÓN DE LA
ADMINISTRACIÓN DE	CAÑA DE AZÚCAR	NATURALEZA
EMPRESAS	2161	2164 2172
2139	CAROTENOS	CONSUMIDORES
ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS	2131	2130 2140
2154	CENSO	CONSUMO
AGRICULTURA	2154	2123 2130 2131 2144
2140	CENTROS DE	2148
AGUA	INVESTIGACIÓN	COSTOS
2119	2154	2126 2152
ALIMENTACIÓN	CEPHALOLEIA VAGELINEATA	COSTOS DE PRODUCCIÓN
2148	2129	2156
ALIMENTOS FUNCIONALES	CERTIFICACIÓN	CULTIVO
2131	2163	2118 2119 2126 2169
AMBIENTAL	CICLO DE VIDA	D
2158	2129	DEFORESTACIÓN
ANÁLISIS	CIENCIA	2150
2128	2133 2168	DESARROLLO AGRÍCOLA
ANTIOXIDANTES	CLIENTE	2138
2131	2143	DESARROLLO
B	CLONACIÓN	ECONÓMICO
BIENES Y SERVICIOS PÚBLICOS	2122	2164
2137	CLÚSTER	DESARROLLO REGIONAL
	2161	2138

DESARROLLO RURAL 2125	FONDOS PARAFISCALES PALMEROS 2159	INVERSIÓN 2149
DESARROLLO SOCIAL 2164	FOTOSÍNTESIS 2167	INVESTIGACIÓN 2146 2154 2167
DESEMPEÑO AMBIENTAL 2145		
DIGNIFICACIÓN DE TRABAJO 2153		
	<b>G</b>	<b>J</b>
<b>E</b>	GENERACIÓN DE ENERGÍA 2127 2136 2160 2161 2171	JUNTA DIRECTIVA 2159
ECONOMÍA 2135 2140	GERENCIA AMBIENTAL 2145	LATINOAMÉRICA 2163
EDITORIAL 2116 2125 2133 2168	GERENCIA DE VALOR 2145	LIDERAZGO 2139
EFICIENCIA 2119	GESTION AMBIENTAL 2136 2156	<b>M</b>
EFLUENTES 2127	GESTION ORGANIZACIONAL 2145	MALASIA 2116 2117
ELAEIS GUINEENSIS 2126	GOBERNANZA 2142	MANEJO DE LA ENFERMEDAD 2146
ELAEIS OLEIFERA X ELAEIS GUINEENSIS (OXG). 2126		MANEJO DE RESIDUOS 2127
EMPAQUES 2130	<b>H</b>	MANEJO FITOSANITARIO 2152
EMPLEO 2153	HÍBRIDO OXG 2169	MARCA 2151
EMPLEO FORMAL 2153	HISTORIA 2116 2117	MEDIOS AUDIOVISUALES 2151
EMPRESA 2142	IMÁGENES TOMOGRÁFICAS 2124	MEJORAMIENTO 2143 2145
ÉTICA EMPRESARIAL 2141	IMPUESTOS 2125	MEJORES PRÁCTICAS 2120 2128 2147 2152
EVENTO 2157 2158	INDICADORES 2119	2154
EXPOPALMA 2166	ÍNDICE 2174	MERCADEO 2121 2144
EXPORTACIÓN 2150	INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE 2116 2117 2118 2121 2125 2126 2133 2134	MERCADO DE EXPORTACIÓN 2155
EXTENSIÓN 2128	2135 2136 2141 2143 2149 2150 2151 2153 2156 2162 2163 2168 2170 2172 2173	MERCADO LABORAL 2155
<b>F</b>	INNOVACIÓN 2128 2133 2168	MERCADOS 2141 2143 2150 2156
FAMILIA 2142	INSTITUCIONALIDAD 2121 2149	METODOLOGÍA 2142 2172
FINANCIAMIENTO 2149	INTENSIFICACIÓN 2118	MODELO PRODUCTIVO 2147
FINANZAS 2119	INTERÉS SECTORIAL 2139 2140 2141 2142 2143 2144	MODELOS 2142
FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS PARA LA PALMA DE ACEITE - FEP 2121	INTERNACIONALIZACIÓN 2155	MUJER PALMERA CAMPELINA 2157
		<b>N</b>
		NORMAS 2145

NÚCLEO PALMERO  
2120 2147 2152  
NUTRICIÓN  
2123 2148  
NUTRICIÓN EN LAS PLANTAS  
2169

## O

ORTETS  
2122

## P

PALMA DE ACEITE  
2129 2147 2152  
PARCELAS DEMOSTRATIVAS  
2152  
PHYTOPHTHORA  
PALMIVORA  
2122 2132 2146  
PLANTAS DE BENEFICIO  
2124 2132 2145 2167  
2171  
POLÍTICA PÚBLICA  
2121 2125 2137 2163  
POME  
2127  
POSICIONAMIENTO  
2130 2144 2150 2151  
PROCESOS  
2143  
PRODUCCIÓN  
2126  
PRODUCTIVIDAD  
2136 2139 2152 2162  
PROPIEDAD  
2142  
PROPIEDAD RURAL  
2137  
PROTECCIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE  
2164 2172  
PROYECTOS PRODUCTIVOS  
2156  
PRUEBAS DE RENDIMIENTO  
2171

PUBLICACIONES DE LA  
FEDERACIÓN EN OTROS  
MEDIOS  
2124 2132 2167  
PUBLICIDAD  
2151  
PUDRICIÓN BASAL DE ESTÍPITE  
2124  
PUDRICIÓN DEL COGOLLO  
2125 2132 2146

## R

RECONOCIMIENTO  
2157 2158  
RECURSOS NATURALES  
2138  
RENDIMIENTO  
2118  
RENTABILIDAD  
2119  
RESPONSABILIDAD SOCIAL  
2141 2153 2162 2164  
RHYNCHOPHORUS  
PALMARUM  
2146  
RSPO  
2141 2162 2163 2164  
2165

## S

SALUD Y NUTRICIÓN HUMANA  
2123 2130 2131 2173  
SANIDAD  
2122 2129  
SEGURIDAD JURÍDICA  
2137  
SESIONES MAGISTRALES  
2165  
SOCIAL  
2158  
SOSTENIBILIDAD  
2120 2134 2136 2139  
2140 2141 2147 2149  
2150 2156 2162 2163  
2172

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL  
2162 2164 2172  
SOSTENIBILIDAD ECONOMÍA  
2162 2164  
SOSTENIBILIDAD SOCIAL  
2156

## T

TALLERES  
2165  
TECNOLOGÍA  
2128 2133 2168  
TOCOTRIENOLAS  
2131  
TRABAJO RURAL  
2137  
TRABAJO SECTORIAL Y  
GREMIAL  
2145 2146 2147 2148  
2149 2150 2151 2152  
2153 2154 2154 2155  
TRANSFERENCIA DE  
TECNOLOGÍA  
2154  
TUMACO  
2138  
TUSA  
2127

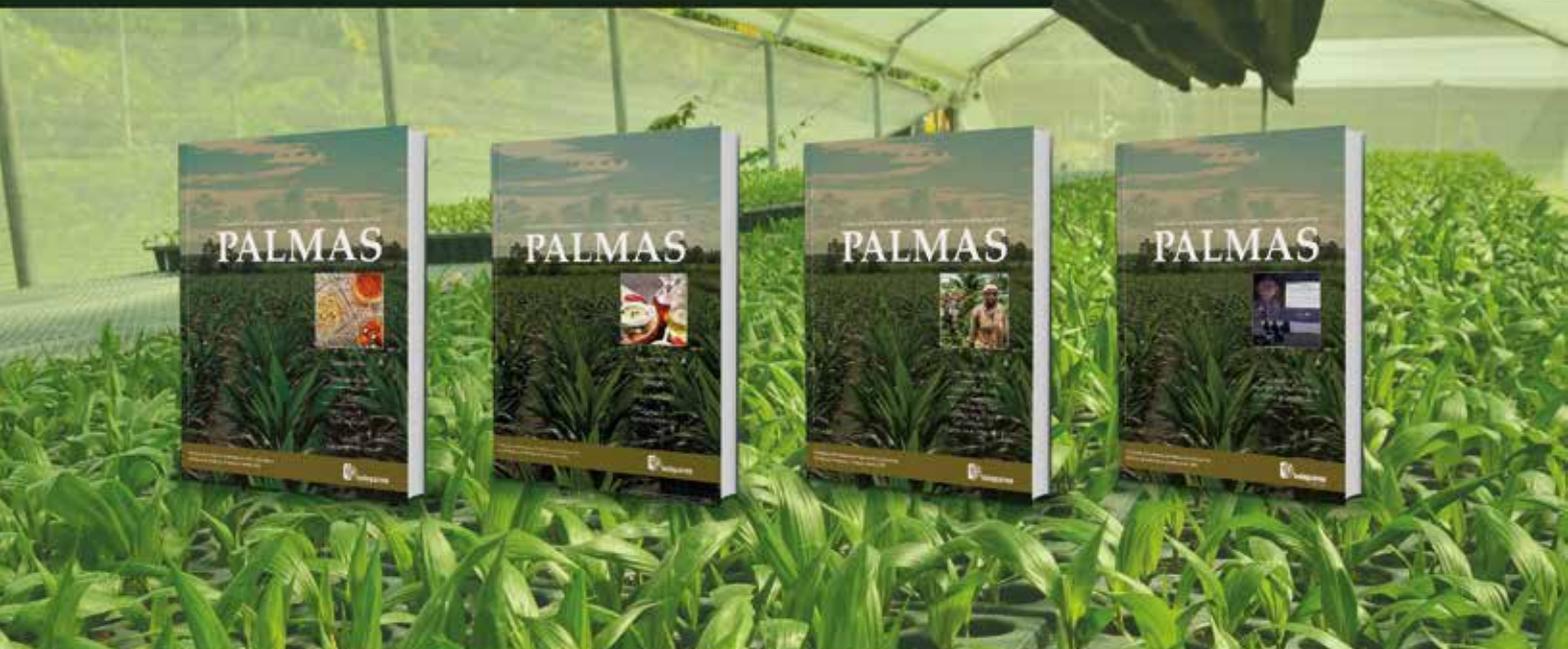
## U

UNIÓN EUROPEA  
2150  
USOS COMESTIBLES  
2134 2172 2173  
USOS INDUSTRIALES  
2134 2172 2173

## V

VALOR AGREGADO  
2127 2143 2171  
VALOR NUTRICIONAL  
2130 2131 2144  
VIVERO  
2169

# Paute con nosotros



**Comercialización**  
**Camilo Pardo Sanabria**  
*Responsable de Mercadeo y Ventas*

[cpardo@fedepalma.org](mailto:cpardo@fedepalma.org)  
Teléfono: 3138600 ext. 2632  
Celular: 311 2336472  
Bogotá, Colombia

## Pautantes en este número

Daabon	<b>Tapa 1</b>
YKL Engineering SDN. BHD	<b>12</b>

ASD Costa Rica	<b>86</b>
Fondo de Fomento palmero	<b>Tapa 2</b>

Línea de atención al cliente:  
**(57 - 1) 472 2000 en Bogotá**  
**01 8000 111 210 a nivel Nacional**

[www.4-72.com.co](http://www.4-72.com.co)

El servicio de **envíos**  
de Colombia





Esta publicación es propiedad de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de la Federación. Al realizar la presente publicación, la Federación ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

LA PALMA DE ACEITE, UNA AGROINDUSTRIA EFICIENTE, SOSTENIBLE Y MUNDIALMENTE COMPETITIVA

# PALMAS

La Revista Palmas Volumen 39, Número 4, fue editada por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma. Se terminó de imprimir y encuadernar en los talleres de Javegraf en la ciudad de Bogotá-Colombia, con un tiraje de 2.800 ejemplares sobre papel esmaltado mate de 115 g.