

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

# PALMAS

Vol. 43 No. 2

Volumen 43 N.º 2 de 2022 • pp. 1-72 • abril-junio de 2022 • ISSN impreso 0121-2923 • ISSN digital 2744-8266.

## CULTIVO

Experiencia en la implementación de la polinización artificial en palma de aceite joven en una plantación de la Zona Central colombiana

## PROCESAMIENTO

Indicadores composicionales en la química de los ácidos grasos en el aceite de palma. ¿Qué tan relevante es el índice de yodo?

## PROCESAMIENTO

Principales estrategias de formación y mitigación de 3-MCPDE en el procesamiento del aceite de palma



Escanee este código QR con su celular para consultar el PDF de la revista

Publicación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite en circulación desde 1980.





Calle 98 No. 70-91  
Tel: (601) 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>

Nicolás Pérez Marulanda  
Presidente Ejecutivo de Fedepalma

### Editor

Andrés Felipe García Azuero  
Director de Planeación Sectorial y Desarrollo Sostenible

### Comité Editorial

Andrés Felipe García Azuero  
Tatiana Pretelt de la Espriella  
Martha Helena Arango de Villegas

### Comité Científico

Álvaro Campo Cabal, *Ph.D.*  
Fernando Munévar Martínez, *Ph.D.*  
Denis Pedraza, *Ing. Mecánico*

### Coordinación Editorial

Ana Marcela Hernández Calderón

### Responsable de Publicaciones

Yolanda Moreno Muñoz

### Centro de Información y Documentación

Martha Helena Arango de Villegas

### Traductor

Carlos Arenas

### Diseño y diagramación

Lida R. Chaparro S.

### Impresión

Estudio 45-8 S. A. S.

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

---

- 8 Investigaciones que buscan solución a los problemas del sector  
*Research that Seeks Solutions to the Sector's Problems*  
Nicolás Pérez Marulanda.

## CULTIVO

---

- 10 Experiencia en la implementación de la polinización artificial en palma de aceite joven en una plantación de la Zona Central colombiana  
*Experience in the Implementation of Artificial Pollination in Young Oil Palm in a Plantation in the Colombian Central Zone*  
Munévar M., Daniel E.; Ruiz Á., Elizabeth; Villareal, Fabián; Dueñas, Elkin; Sinisterra O., Kelly; Pabón, Juan G.; Mosquera Montoya, Mauricio.

## PROCESAMIENTO

---

- 26 Indicadores composicionales en la química de los ácidos grasos en el aceite de palma. ¿Qué tan relevante es el índice de yodo?  
*Compositional Indicators in Palm Oil Fatty Acid Chemistry. How Relevant is the Iodine Value?*  
González D., Alexis; García Núñez, Jesús A.; Cortés B., Ingrid L.; Díaz O., Jenifer S.; Dueñas S. Javier.
- 40 Principales estrategias de formación y mitigación de 3-MCPDE en el procesamiento del aceite de palma  
*Principal Formation and Mitigation Strategies for 3-MCPDE in Palm Oil Processing*  
Chien Lye Chew; Norliza Saparin.

- 52 Código de prácticas para la reducción de ésteres de 3-MCPD y ésteres de glicidilo por Codex: ¿Estamos listos para adoptarlo?  
*Code of Practice for Reduction of 3-MCPD Esters and Glycidyl Esters by Codex: Are We Ready to Adopt?*  
Nuzul Amri Ibrahim; Che Rahma; Che Mat; Mohd Shahrin Rahami; Mohd Zulhilmi Wan Salleh; Muhamad Roddy Ramli.

## ■ PROCESAMIENTO/SOSTENIBILIDAD

---

- 59 Enfoque de costos de producción y contabilidad de costos del flujo de materiales como un paso hacia el aumento de la responsabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad (RES): el caso de una planta de beneficio de aceite de palma en Banten, Indonesia  
*Production Cost Approach and Material Flow Cost Accounting as a Step Towards Increasing Responsibility, Efficiency, and Sustainability (RES): The Case of Palm Oil Mill in Banten Indonesia*  
M. P. Kurniawan; A. D. Guritno; B. Purwantana; W. Supartono.

## ■ OTROS

---

- 70 Publicaciones de Cenipalma en otros medios  
*Publications by Cenipalma in Other Media*  
Fedepalma.

## Política editorial revista Palmas

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, a los centros educativos y de investigación nacionales e internacionales y al público interesado en el tema. 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.

## Guía para la elaboración de artículos en revista Palmas

### Presentación de artículos

- Enviar original por medio del portal OJS ([publicaciones.fedepalma.org](http://publicaciones.fedepalma.org))
- Documento original en Word, en medio digital, a 12 puntos y doble espacio, con márgenes de 2,5 cm.
- Todos los artículos deben incluir título (no más de 15 palabras) en español y en inglés, sección a la que pertenecen y tipo de artículo.
- Títulos. Primer orden en mayúsculas y negritas; segundo orden: minúsculas y negritas; tercer orden: en cursivas.
- Las tablas y figuras en Excel o programa original. Las fotos en alta resolución (300 dpi o 1 Mega).
- Los artículos deben tener resumen en español y en inglés (250 palabras, cada uno), y palabras clave en los dos idiomas. No debe contener las palabras del título.
- El nombre del autor: dos apellidos, cuando los use, dirección, correo electrónico, cargo y empresa.
- Los artículos de innovación científica y tecnológica tienen un máximo de 25 páginas.
- Los tipos de artículos que tiene la revista son: investigación e innovación científica, reseña, reflexión y traducción.
- Las secciones son: Cultivo, Sostenibilidad, Extensión, Institucionalidad, Emprendimiento, Comercialización y mercados, Valor agregado, Salud y nutrición humana, Memorias de eventos.

La estructura de artículo de investigación e innovación científica y tecnológica es la siguiente:

- Sección y tipo de artículo: enumerados anteriormente.
- Título: en español e inglés, corto (15 palabras máximo), de lo contrario deberá incluirse un subtítulo.
- Autores: escribir el primer nombre e inicial del segundo, primer apellido e inicial del segundo. La dependencia a que pertenecen, dirección postal completa y correo electrónico.
- Resumen en español e inglés: no debe superar las 250 palabras.
- Palabras clave: hasta ocho palabras que faciliten el uso de los sistemas de catalogación y búsqueda de información por computador. No se deben repetir las palabras del título.
- Introducción: se define el problema por estudiar, los objetivos del artículo, la metodología 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.

---

# LOS CULTIVOS DE PALMA SE FERTILIZAN CON

# nitrosoil



Síganos en: [@NitrofertCol](https://www.instagram.com/NitrofertCol)



[www.nitrofert.com.co](http://www.nitrofert.com.co)

**Conozca más**  
escaneando este código:



## 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 and public interested in the subject. 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

- Submissions should be processed via OJS through [publicaciones.fedepalma.org](http://publicaciones.fedepalma.org)
- Original in Word format 12 points, in digital media, and double space with margins of 2,5 cm.
- The article title should be short, maximum 15 words, in Spanish and English, section and type of article.
- First-order headings must be in upper case and bold; second-order in lower case and bold, and third-order in italics.
- The tables and figures preferably in Excel. High resolution photos (300 dpi or 1 Mega).
- All articles must have a summary in Spanish, and whenever possible in English, and keywords.
- Authors' name must indicate both surnames if used, and data of address, position and company in case of having them.
- Scientific articles should not exceed 25 double-spaced pages.
- The types of articles are: scientific research and innovation, review, reflection and translation.
- The sections are: Culture, Sustainability, Extension, Institutionalality, Entrepreneurship, Marketing and Markets, Added Value, Health and Nutrition

The structure of scientific and technological research and innovation article should be 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, Email 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. The words of the title should not be repeated.
- 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.



EL PODER TRANSFORMADOR  
DE LA PALMA DE ACEITE

XX  
Conferencia  
Internacional sobre

**PALMA  
DE ACEITE**

20th International Oil Palm Conference



**26 al 30** de septiembre de 2022  
Centro de Convenciones Cartagena de Indias

## TEMAS

### PLENARIAS

COYUNTURA DEL MERCADO ACTUAL Y CÓMO AFECTAN EL PRECIO.

James Fry- Chairman LMC International

FUTURO DE LA AGRICULTURA Y DEL SECTOR.

Juan Lucas Restrepo- Dir. Gral Alliance of Biodiversity International and the CIAT

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y CARBONO NEUTRALIDAD.

Felipe Bayón - Presidente Ecopetrol

EL ORIGEN, PRESENTE Y PERSPECTIVAS  
DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES.

Javier Urrutia Ramos - Presidente Nitron Group

### MÓDULOS

#### UNO

Manejo del cultivo,  
biotecnología y mejoramiento  
de la palma de aceite.

#### DOS

Procesamiento de  
fruto, calidad de aceites  
y uso de biomasa.

#### TRES

Sostenibilidad: tendencias  
globales y corresponsabilidad  
en las cadenas de suministro.

#### CUATRO

Tendencias y  
oportunidades  
de mercado

**CONOCE MÁS EN:**

[web.fedepalma.org/conferenciainternacional/agenda](http://web.fedepalma.org/conferenciainternacional/agenda)

## Investigaciones que buscan solución a los problemas del sector

La revista Palmas trae para este número temas de alto interés que contribuyen al conocimiento del cultivo de la palma de aceite, al procesamiento de aceite de palma y a la sostenibilidad del sector.

En primer lugar, se destacan los beneficios de la polinización artificial a partir de la investigación en palmas de aceite jóvenes de cultivares híbrido OxG, en una plantación específica. Igualmente, se describen los aspectos que permitieron el buen desempeño de la polinización, en este caso.

En esta edición, también se presenta un trabajo sobre el índice de yodo. Este parámetro de calidad permitió conocer, de manera aproximada, la presencia de mezclas de aceite de palma crudo (APC) de distinta procedencia, lo que contribuyó a obtener modelos que ayudan al cumplimiento de límites máximos permisibles para este tipo de mezclas.

En el área de procesamiento, se da una visión general de la formación de ésteres 3-MCPDE en el aceite refinado; un contaminante de proceso, inducido por calor durante la etapa de refinación en el aceite; y las iniciativas de mitigación y prácticas industriales para abordar el problema.

De igual forma, el siguiente artículo concluye que si bien algunas de las recomendaciones del Código de Prácticas establecido por el Codex Alimentarius para la disminución de la formación de contaminantes de aceite refinados, con el fin de reducir los ésteres de 3-MCPD y ésteres de glicidilo, han sido adoptadas por el sector en Malasia, otras pueden aplicarse con algunos ajustes y modificaciones.

Cerramos con un artículo de procesamiento/sostenibilidad que trae el caso de una planta de beneficio en Indonesia. Este refleja cómo la implementación del enfoque de costos de producción y de la contabilidad de costos de flujos de materiales permite obtener una mejor información sobre materiales, energía, sistemas y residuos. Lo que ayuda a los tomadores de decisiones de la organización palmera a gestionar los residuos de forma transparente, para disminuir la fuga de ingresos y aumentar la eficiencia en las líneas de producción.

Finalmente se hace un recuento de las investigaciones realizadas por nuestro equipo que se han publicado en otros medios, esto con el fin de mantener al público informado de la producción científica de Cenipalma.

Bienvenidos a esta nueva edición.

NICOLÁS PÉREZ MARULANDA  
Presidente Ejecutivo de Fedepalma

## Research that Seeks Solutions to the Sector's Problems

---

This issue of Revista Palmas presents essential topics that contribute to the knowledge of oil palm growing, processing palm oil, and sustainability of the sector.

First, we present the benefits of artificial pollination through research on young oil palms of OxG hybrid cultivars on a specific plantation. Then, the paper describes the aspects that allowed the excellent pollination performance in this case.

This issue also contains a paper on the iodine index. This quality parameter helps determine the presence of mixtures between crude palm oil (CPO) of different sources, which contributed to obtaining models that help comply with the maximum permissible limits for crude palm oil mixtures.

In the processing area, we present an overview of the formation of 3-MCPDE esters in refined oil, a heat-induced process contaminant created during the refining stage, and the mitigation initiatives and industrial practices to address this problem.

Similarly, the following article concludes that although the sector in Malaysia has adopted some of the Codex Alimentarius Code of Practice recommendations to reduce the formation of contaminants in refined oils to reduce 3-MCPD and glycidyl esters, others can be applied with some adjustments and modifications.

The final article of this issue is a processing/sustainability study of a mill in Indonesia. This paper reflects how implementing the production cost approach, and material flow cost accounting allows for better information on materials, energy, systems and waste. This helps decision-makers of the palm organization manage the waste transparently to reduce revenue leakage and increase the efficiency of production lines.

Finally, we summarize the research conducted by our team and published in other media to inform the public of Cenipalma's scientific production.

We welcome you to this new issue.

NICOLÁS PÉREZ MARULANDA  
Fedepalma CEO

## Experiencia en la implementación de la polinización artificial en palma de aceite joven en una plantación de la Zona Central colombiana\*

Experience in the Implementation of Artificial Pollination in Young Oil Palm in a Plantation in the Colombian Central Zone

**CITACIÓN:** Munévar-M., D. E., Ruiz-A., E., Villareal, F., Dueñas, E., Sinisterra-O., K., Pabón, J. G. & Mosquera-Montoya, M. (2022). Experiencia en la implementación de la polinización artificial en palma de aceite joven en una plantación de la Zona Central colombiana. *Palmas*, 43(2), 10-24.

**PALABRAS CLAVE:** Polinización artificial, Palma joven, Indicadores de eficiencia, Documentación del proceso.

**KEYWORDS:** Artificial pollination, Young oil palm, Indicator, Efficiency indicators, Process documentation.

\*Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

**RECIBIDO:** marzo de 2022.

**ACEPTADO:** mayo de 2022.

**MUNÉVAR M., DANIEL E.**

Auxiliar de Investigación II de Cenipalma

**RUÍZ Á., ELIZABETH**

Investigador Asociado II de Cenipalma

**VILLAREAL, FABIÁN**

Director de Plantación de Palmeras de Puerto Wilches S. A.

**DUEÑAS, ELKIN**

Supervisor de Polinización de Palmeras de Puerto Wilches S. A.

**SINISTERRA O., KELLY**

Extensionista I de Cenipalma

**PABÓN, JUAN G.**

Director USAP, Palmeras de Puerto Wilches S. A.

**MOSQUERA MONTOYA, MAURICIO**

Coordinador de la Unidad de Validación de Cenipalma

Autor de correspondencia  
mmosquera@cenipalma.org

### Resumen

La polinización artificial con ácido naftalenacético (ANA) ha aumentado el rendimiento de los cultivos en plantaciones sembradas con híbrido interespecífico *E. oleifera* x *E. guineensis* (OxG) porque disminuye la proporción de racimos mal conformados y aumenta el contenido de aceite en el mesocarpio. Esto ha favorecido la rápida adopción de la polinización artificial entre los cultivadores de palma de aceite, incluso cuando los detalles de su uso son actualmente objeto de investigación. En este contexto, hay estudios recientes que arrojan luz sobre la polinización artificial en palmas maduras, y se han reportado menos resultados para palmas de aceite jóvenes. Esta investigación se llevó a cabo para llenar este vacío de conocimiento. Se estimaron indicadores de eficiencia económica de la

polinización artificial en cultivos con palma de aceite joven del cultivar híbrido Coari x La Mé en la plantación Palmeras de Puerto Wilches S. A. (PPW). El proceso de polinización se realiza aplicando polen de *E. guineensis* a las inflorescencias en antesis. Tanto 7 y 14 días después de la antesis (dda) se aplica ANA a las inflorescencias tratadas. Los resultados indican un costo por inflorescencia de \$ 178 que incluye mano de obra, insumos, herramientas y supervisión de labor. Por otro lado, la conformación de racimos alcanzó un indicador superior a 90 %, frente a niveles anteriores de alrededor de 80 % con polinización realizada únicamente con polen *E. guineensis* en antesis. La supervisión de la mano de obra, los dispositivos digitales para capturar datos sobre el rendimiento de esta y el control adecuado de malezas contribuyeron al éxito del método modificado en PPW.

## Abstract

Artificial pollination with naphthaleneacetic acid (NAA) has increased crop yields in plantations planted with interspecific hybrids *E. oleifera* x *E. guineensis* (OxG) cultivars because the proportion of bunches poorly conformed decreases. Therefore, the adoption of artificial pollination has been rapid among oil palm growers, even when the specifics of its use are currently subject of research. In this context, there are recent studies shedding light on artificial pollination on mature palms, and less results have been turned in for young oil palms. This research was undertaken to fill this knowledge gap. We estimated indicators on economic efficiency of artificial pollination in crops with young oil palms of the hybrid cultivar Coari x La Mé at the plantation Palmeras de Puerto Wilches S. A. (PPW). The pollination process is carried out applying first *E. guineensis* pollen to inflorescences in anthesis. Seven and fourteen days after anthesis (daa) one applies NAA on the treated inflorescences. Results indicate a cost per inflorescence of \$178 it includes labor, inputs, tools, and labor supervision. On the other hand, the fruit set (i.e. conformation of bunches) reached an indicator higher than 90%, compared to previous levels of around 80% with pollination carried out only with *E. guineensis* pollen in anthesis. Labor supervision, digital devices to capture data on labor yield and proper weed control were to the success of the modified method at PPW.

## Introducción

El cultivar híbrido OxG, cruzamiento interespecífico entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*, se ha difundido a nivel comercial desde el año 2000 en zonas afectadas por la problemática de la Pudrición del cogollo (PC) debido a su resistencia a la enfermedad, llegando a representar el 14 % del área sembrada con palma de aceite para el 2019 (Ayala, 2019).

La baja tasa de polinización natural del híbrido OxG (producto de la baja viabilidad del polen), la poca interacción de los polinizadores naturales, la disminuida tasa de masculinidad de las inflorescencias y la dificultad en el acceso, causado por las brácteas gruesas, ha obligado a que se complemente con polinización asistida, con polen de *E. guineensis*, para garantizar la formación de frutos y el aumento del potencial de aceite de los racimos (Rosero *et al.*, 2017; Rosero y Santacruz, 2014; Sánchez *et al.*, 2011). Anteriormente, esta polinización se realizaba aplicando polen prove-

niente de cultivares *E. guineensis* sobre las inflorescencias en antesis y entrando tres veces a la semana en los lotes para abarcar el mayor número de estructuras (Ruiz *et al.*, 2015). Sin embargo, el desarrollo de la polinización artificial, utilizando ácido naftalenoacético (ANA), en los últimos ocho años, ha tenido un impacto positivo sobre la conformación de racimos y el potencial de aceite, con una reducción del número de racimos malogrados haciendo que la metodología se difunda rápidamente entre los palmicultores, lo que implica, a su vez, una serie de cambios a nivel operativo, logístico y técnico de la labor de polinización (Camperos *et al.*, 2020; Daza *et al.*, 2021; García *et al.*, 2020; Romero 2018; Ruiz *et al.*, 2021).

Esta labor se ha incorporado recientemente en plantaciones, acompañada de cierta incertidumbre con respecto a los criterios que se deben seguir para obtener resultados exitosos. Ruiz *et al.* (2021) realizaron un estudio de referenciación competitiva con empresas líderes en el proceso e identificaron que

la aplicación separada de polen en antesis y ANA en posantesis, la estandarización del proceso, la capacitación adecuada del personal y la supervisión oportuna, además del buen manejo agronómico, son aspectos que están relacionados con el éxito de la polinización artificial.

En el híbrido OxG, la polinización se da a partir del tercer año después de la siembra y representa 18,8 % del costo de producción por tonelada de RFF (Mosquera *et al.*, 2020). Por esa razón, documentar los procedimientos que se realizan para optimizar la labor, no solamente desde el punto de vista técnico sino operativo, toma relevancia para el sector palmicultor. Varios estudios de documentación se han realizado en plantaciones con palma adulta (Camperos *et al.*, 2020; García *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2021) y representan un conocimiento de la operación de la labor a nivel comercial. Camperos *et al.* (2020) mencionan que la altura de la palma (> 2,5 m) dificulta la inspección de las inflorescencias y tiene incidencia sobre el rendimiento de la labor. Respecto a la polinización artificial en palma joven, García *et al.* (2020) reportaron que es más eficiente realizar la labor en cuadrillas conformadas por 1 persona, mientras que Camperos *et al.* (2021) encontraron que, aunque una cuadrilla de 2 personas cubren mayor área, su costo es mayor, por lo que la eficiencia del proceso dependerá de las condiciones inherentes a cada plantación.

En este documento se presentan los resultados de un estudio de documentación cuyo propósito es identificar los factores de éxito asociados a la implementación de la tecnología de polinización artificial a escala comercial en palma joven para brindar información que ayude a la toma de decisiones de la agroindustria colombiana de la palma de aceite, especialmente en el híbrido OxG.

## Metodología

### Ubicación

El estudio fue realizado en la plantación Palmeras de Puerto Wilches S. A. (PPW), ubicada en el municipio de Puerto Wilches del departamento de Santander (Colombia). La plantación cuenta con 467 ha sembradas en palma de aceite, de las cuales el 20 % corresponden al híbrido OxG Coari x La Mé. Para el estudio, se documentaron 6 lotes, sembrados en 2014 (5 años) cercanos a alcanzar la madurez productiva.

## Método

La labor de polinización tiene como objetivo obtener racimos bien formados que permitan alcanzar los mayores potenciales de aceite. El método empleado por la plantación fue el espolvoreo de ANA en medio sólido, con la salvedad de que las inflorescencias en antesis reciben una mezcla de polen y talco, mientras que las inflorescencias en posantesis reciben una mezcla de ANA y talco. Como proceso, la polinización artificial en la plantación está integrada por tres subprocesos fundamentales: planeación, operación y supervisión, que interactúan entre sí y se describen a continuación:

- **Planeación:** el objetivo del proceso es prever los requerimientos de los subprocesos siguientes (operación y supervisión) y coordinar las acciones necesarias para que puedan ser llevados a satisfacción. La planeación se realiza en torno a las necesidades de insumos, mano de obra y herramientas que demanda la labor. El elemento central está en la densidad de inflorescencias, es decir, la cantidad de estructuras por unidad de área.
- **Operación:** este proceso busca la mejor formación de racimos a partir de una adecuada polinización de las inflorescencias. Es la columna vertebral de la labor de polinización.
- **Supervisión:** la finalidad de este proceso es garantizar que se cumplan los criterios de calidad definidos para la labor, desde el subproceso de planeación, y retroalimentar oportunamente las no conformidades.

Se realizó una documentación durante tres semanas en la plantación, en la que se hizo una observación a los procedimientos de polinización y cosecha. Específicamente para el proceso de operación en la polinización, se identificaron las diferentes actividades que integran las labores y se representaron a través de un diagrama de proceso siguiendo la metodología propuesta por Ruiz *et al.* (2020).

Con el propósito de calificar la eficiencia en ambos procesos se evaluó un conjunto de indicadores presentados por Ruiz *et al.* (2021), relacionados con el desempeño técnico y económico de las labores de polinización y cosecha. En la Tabla 1 se resumen los indicadores utilizados.

El registro de datos se realizó a través de formularios digitales diseñados en los *softwares* CyberTracker

y en Microsoft Excel. El formulario de CyberTracker se utilizó para la captura de datos relacionados con la conformación de racimo, la opacidad, el cuarteamiento, el estadio fenológico y el desprendimiento de frutos por cada racimo observado (Figura 1). En el otro formulario se registraron los datos relacionados con la documentación del proceso, las variables de rendimiento y los costos.

Para la calificación de los indicadores de conformación de racimo, porcentaje de opacidad y porcentaje de cuarteamiento, se realizó un muestreo aleatorio de racimos en los puntos de acopio de la plantación. En cada punto se seleccionaron al azar 1 de cada 3 racimos, como lo proponen Ruiz *et al.* (2021). En promedio, la calificación y registro de los datos por racimo tardó 1,78 minutos y en total se calificaron/registrarón 529 racimos, durante 6 días.

Para la calificación del racimo, este se dividió en cuatro secciones por cada cara y se calificaron los anteriores indicadores en cada sección, y luego se sumó el valor de cada sección para obtener un indicador total del racimo (Figura 2). Por ejemplo, cuando una sección está totalmente conformada se asigna un va-

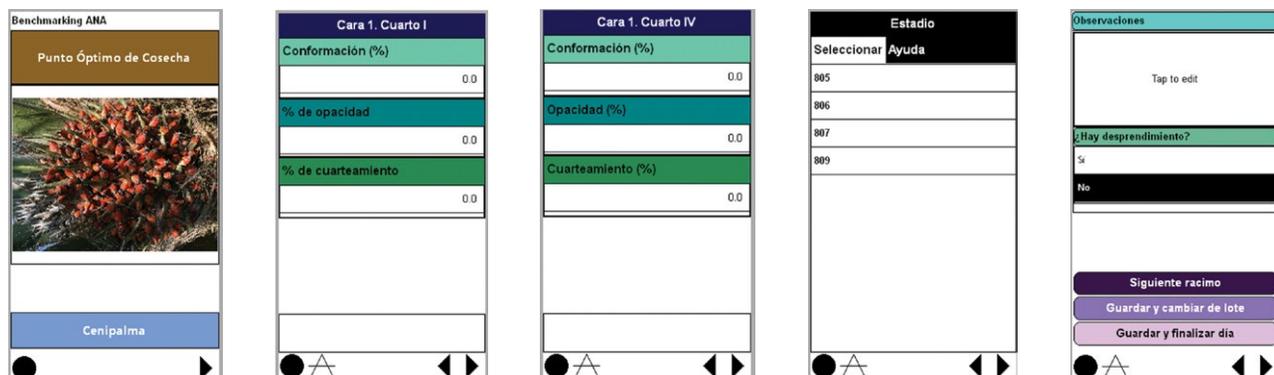
lor de 12,5 (equivalente a un octavo del racimo) y si no tiene frutos conformados, su valor es 0. Por otro lado, cada racimo se calificó con respecto a su estadio fenológico, de acuerdo con la escala BBCH (Caicedo *et al.*, 2017).

Para la estimación del costo de polinización se consideró el consumo de insumos (polen, ANA y talco) por hectárea y su precio de compra. También, el rendimiento laboral de los operarios de polinización, en función de la disponibilidad de inflorescencias a lo largo del año y el valor del jornal incluyendo la carga prestacional. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el costo de los equipos de polinización y el de la supervisión de la labor. Estos datos se recopilaron a partir de información secundaria que entregó la plantación (Tabla 1). El indicador denominado POC x Conformación, relaciona estos dos parámetros para la asignación de cada racimo calificado en alguna de las cuatro categorías: Óptimo, Bueno, Aceptable e Inadecuado (Tabla 2). Los que tienen las mejores condiciones de conformación y de madurez fisiológica pertenecerán a la categoría Óptimo. El análisis de datos se realizó utilizando estadística descriptiva en Microsoft Excel.

**Tabla 1.** Indicadores medidos y su fórmula para la calificación de la polinización y la cosecha.

Polinización	
Indicadores técnicos	
Conformación externa del racimo	$\frac{\text{Racimos en clase 1}}{\text{Total de racimos calificados}}$
Rendimiento laboral	$\frac{\text{Inflorescencias polinizadas}}{\text{Día laboral}}$
Área cubierta	$\frac{\text{Hectáreas semanales}}{\text{Trabajador}}$
Indicadores económicos	
Costo unitario total	$\text{Costo}_{MO} + \text{Costo}_{\text{Insumos}} + \text{Costo}_{\text{Herr}} + \text{Costo}_{\text{Super}}$
Cosecha	
Indicadores técnicos	
Racimos en punto óptimo de cosecha (POC)	$\frac{\text{Racimos en estadios 807 y 809}}{\text{Total de racimos calificados}}$
POC x Conformación	$\frac{\text{Racimos en categoría Óptimo}}{\text{Total de racimos calificados}}$
Indicadores económicos	
Productividad	$\frac{\text{Toneladas de racimos año } n}{\text{hectárea}}$

**Figura 1.** Formularios digitales elaborados en CyberTracker para el registro de datos de conformación de racimo, y calidad de cosecha



**Figura 2.** Metodología para la calificación de racimos. Ejemplo de calificación de la conformación del racimo.



Cara anterior



Cara posterior

Cara1	Máx. valor	Valor observado
C1	12,5 %	12,5 %
C3	12,5 %	12,5 %
C4	12,5 %	12,5 %
Cara 2		
C5	12,5 %	12,5 %
C6	12,5 %	12 %
C7	12,5 %	6,5 %
C8	12,5 %	5 %
	<b>100 %</b>	<b>85,5 %</b>

**Tabla 2.** Matriz para la asignación de categoría en función de la conformación y el estadio de madurez.

		Conformación			
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Estadio de madurez	805	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado
	806	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado
	807	Óptimo	Bueno	Aceptable	Inadecuado
	809	Óptimo	Bueno	Aceptable	Inadecuado

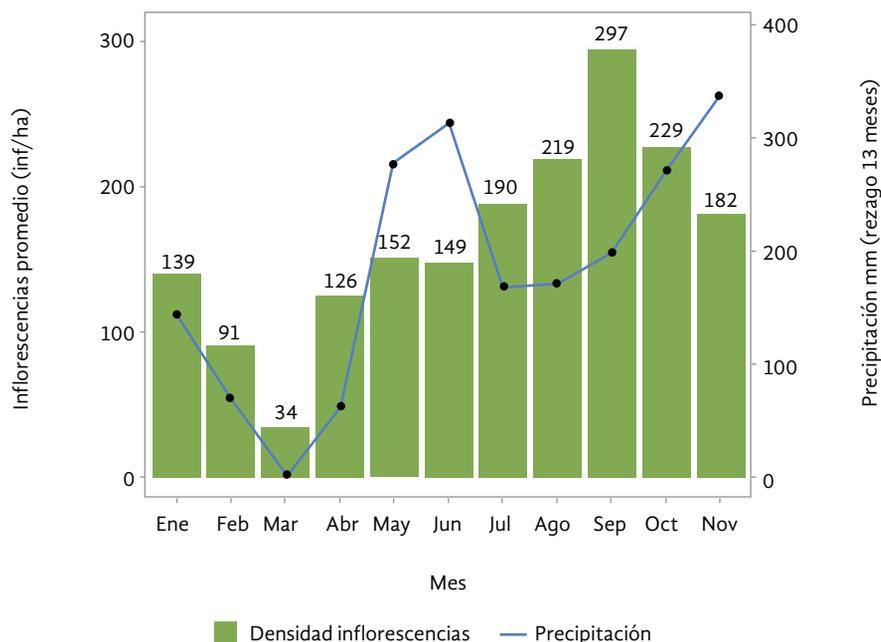
## Resultados y discusión

Planeación de la polinización en PPW: la polinización se planifica de acuerdo con el comportamiento de la densidad de inflorescencias que se tenga en la plantación, la cual está relacionada con el régimen de precipitación. En la Zona Central, el comportamiento de las lluvias es bimodal, lo cual incide sobre el número de inflorescencias que son obtenidas a lo largo del año, definiendo periodos marcados de disponibilidad de flores (Barrios Maestre *et al.*, 2011). En la plantación, sin embargo, se presentó un pico de floración que abarca de julio a diciembre, siendo septiembre el mes con mayor disponibilidad de inflorescencias. Por otro lado, Fairhust *et al.* (2014), como

lo citan Suharyanti, Mizuno y Sodri (2020), indican que un evento de baja precipitación ocurrido entre 12 a 24 meses antes de la antesis puede disminuir el número de inflorescencias femeninas, situación que se observó con los eventos ocurridos 13 meses antes de la polinización (Figura 3).

Por supuesto, en los periodos de mayor disponibilidad de inflorescencias habrá un incremento en el consumo de insumos, por lo que debe garantizarse una disponibilidad mínima de productos a lo largo del año que variará en función de la demanda del mes. La plantación maneja órdenes de compra anticipadas a un mes, trimestralmente, estrategia con la cual se pretende disminuir los costos de almacenamiento de los insumos, sin afectar su disponibilidad (Tabla 3).

**Figura 3.**  
Comportamiento de la densidad de inflorescencias en la plantación



**Tabla 3.** Generalidades sobre los insumos aplicados en la polinización artificial.

Parámetro	Polen	ANA	Talco
Almacenamiento	Refrigerado a temperaturas entre -17 °C y -24 °C	Almacén en donde se garantizan oscuridad y bajas condiciones de humedad	
Dosis (g/aplicación)	0,24	0,24	4,2
Dosis (g/inflorescencia)	0,24	0,72	12,6
Consumo promedio (kg/ha*año)	0,377	0,75	19,83
Aplicaciones por inflorescencia	1	2	3

Operación de la polinización en PPW: el diagrama de proceso (Figura 4) muestra la presencia de los elementos o actividades de desplazamiento (desde, hacia y al interior de los lotes) y un ciclo básico de la labor que está integrado por las actividades de desplazamiento entre palmas, inspección de la palma, apertura de brácteas, marcación de hoja, aplicación del producto y registro de la aplicación. La jornada laboral, cuya duración es de ocho horas, inicia con la llegada de los polinizadores a la bodega de insumos, en donde el personal de supervisión les hace entrega de los equipos, los insumos y las indicaciones de los lotes que se deben polinizar.

Posteriormente, los trabajadores parten a los lotes, donde realizan el alistamiento de los insumos y las herramientas, y enseguida comienzan a desplazarse entre palmas, siguiendo un patrón en zigzag. Cada palma se inspecciona para verificar si hay o no inflorescencias en cuyo caso positivo, se hace una marcación en el peciolo de la hoja que sostiene a la

inflorescencia y, de acuerdo con el estadio de esta, se procede a aplicar el respectivo producto (polen o ANA). Un elemento para resaltar en esta actividad es que el operario hace la aplicación en cinco puntos de la inflorescencia: arriba, abajo, a la izquierda, a la derecha y en la parte posterior del racimo procurando que el producto cubra toda la estructura floral, incluso su parte interna.

Finalmente, se hace el registro de la aplicación en el formulario de CyberTracker, indicando la línea recorrida, la palma visitada y el tipo de inflorescencia aplicada, es decir, si se trata de una flor en antesis o en posantesis. Enseguida, se regresa a la bodega de la plantación para hacer entrega del remanente de insumo (si lo hubo), las herramientas y los datos al supervisor. Nótese que pese a ser una nueva labor en la plantación, su ejecución guarda similitud con lo reportado por varios autores (Ruiz *et al.*, 2021; Camperos *et al.*, 2020 y García *et al.*, 2020).

**Figura 4.** Diagrama de proceso de la labor de polinización artificial. Resaltado en verde se encuentra el ciclo básico de la labor.



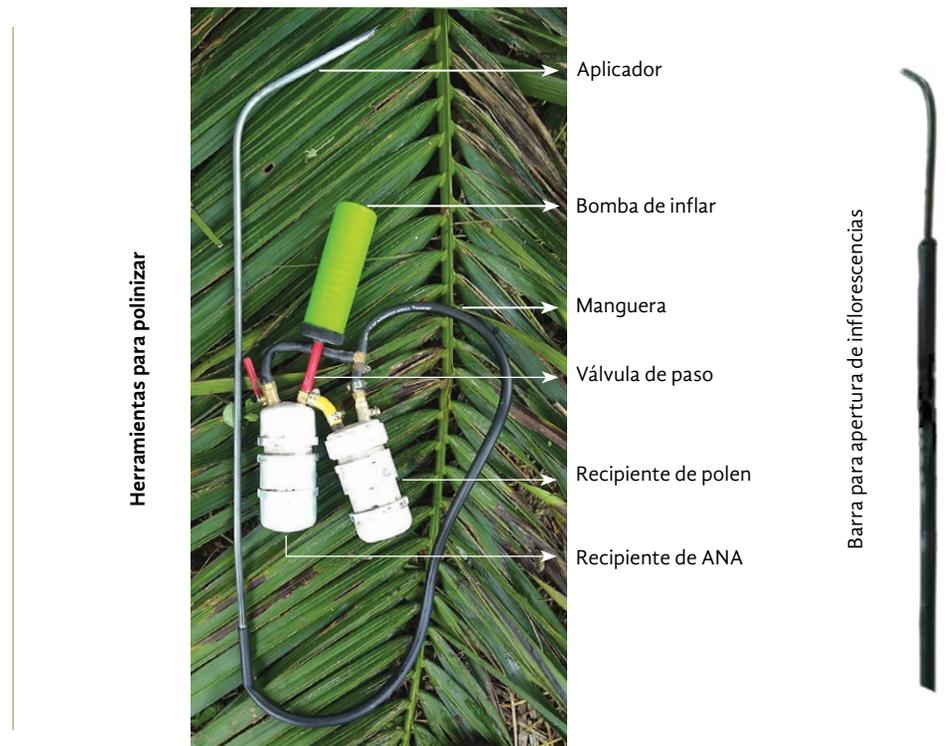
En lo que concierne a la herramienta, el equipo de polinización fue diseñado por el personal de la plantación y consta de dos componentes: la barra (utilizada en la apertura y marcación de hojas) y el equipo de aplicación. La barra está compuesta por un tubo de aluminio de 80 cm de largo, a manera de “pata de cabra”. En un extremo presenta una terminación aguda para realizar el marcaje de la hoja y, en el otro, su terminación es en forma de palanca bifurcada. Esta puede ser transportada bajo el brazo o en la mano, lo cual puede limitar el movimiento del trabajador. Por otro lado, el equipo de aplicación está integrado por cuatro partes fundamentales: los recipientes de los insumos, la bomba insufladora, los conductos (válvulas y mangueras) y la varilla de aplicación (Figura 5). Al accionar la bomba, el aire insuflado arrastra el contenido de los recipientes con las mezclas respectivas, regulando su paso por las mangueras mediante la apertura o cierre de las válvulas. Tiene un solo orificio de salida, por lo que se presenta mezcla de polen y ANA en cantidades no determinadas en este estudio; este aspecto representa una oportunidad de mejora ya que la germinabilidad del polen puede verse afectada por la presencia del regulador de crecimiento (Ruiz *et al.*, 2020).

Cabe aclarar que la plantación maneja una nomenclatura propia para realizar la marcación de las hojas: cuando se trata de una primera aplicación con polen, se marca una “P” y el día de aplicación; cuando se hace una primera aplicación con ANA, se marca con una “R” y el día de aplicación y, cuando se hace una segunda aplicación de ANA, se escribe la fecha de la aplicación en formato dd/mm/aaaa. De esta manera, una inflorescencia que no fue polinizada en antesis solo tendrá dos marcas en la hoja. No sobra mencionar que la marcación es una actividad que se codifica de diversas maneras, según cada plantación y es pieza clave de la actividad de supervisión.

Supervisión en PPW: para atender el proceso, se cuenta con un supervisor y un auxiliar que cubren las 481 hectáreas de la plantación. La calidad de la supervisión depende del área asignada a este personal, presentando mejores resultados cuando se trata de áreas pequeñas (Ruiz *et al.*, 2021).

La plantación tiene establecidos unos parámetros sobre los cuales se evalúa la calidad de la labor (Tabla 4). Nótese que además de los criterios netamente operativos, se complementa la calificación con indicadores asociados a la eficiencia del proceso y a la

**Figura 5.** Equipo de aplicación de insumos. Fuente: Villarreal (2019)



**Tabla 4.** Indicadores utilizados en la supervisión y su forma de calificación.

Indicador	Descripción
Apertura de brácteas	Las brácteas deben estar adecuadamente rasgadas, exponiendo a la inflorescencia en su parte basal.
Calidad de la aplicación	Se verifica que el producto haya sido asperjado de la manera más uniforme posible sobre la inflorescencia, por ambas caras de esta.
Dosis aplicada	Al inicio de la jornada laboral, al trabajador se le entrega una cantidad de insumos suficiente para polinizar 33 inflorescencias, tras lo cual se debe hacer una recarga, solicitándola al supervisor. Al final de la jornada laboral, se hace la relación entre el número de inflorescencias aplicadas (encontradas en los registros de CyberTracker) y la cantidad de producto utilizado en el día. Si estas no coinciden, hay motivo de no conformidad.
Inflorescencias sin aplicar	Se seleccionan dos calles del lote y se hace el conteo de inflorescencias que no fueron polinizadas.
Calidad de la marcación	Se verifica que se utilice la nomenclatura definida y que se marque la hoja correctamente.

precisión de los reportes de los operarios de polinización (Restrepo *et al.*, 2019).

Otro elemento que ha favorecido la supervisión en la plantación ha sido el uso de formularios digitales para el registro de datos, pues facilita el análisis puntual del consumo de insumos en función de la proporción relativa de cada tipo de inflorescencia en el mes (es decir, la cantidad de inflorescencias de primera, segunda y tercera aplicación) y, a su vez, permite identificar los recorridos realizados por cada operario de polinización.

## Indicadores de la labor de polinización

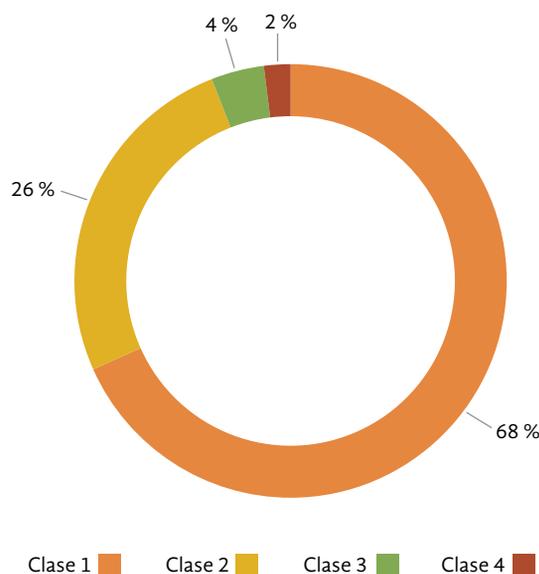
### Conformación de racimos

La eficiencia de la labor de polinización se midió a través de la calificación de la conformación externa de los racimos. Para la plantación se han obtenido buenos resultados en este aspecto. El 95 % de los racimos han logrado una adecuada formación de frutos, perteneciendo a las clases 1 y 2 (Figura 6). La conformación promedio de racimos para la plantación fue de  $91,3 \pm 13,0$  %, resultado positivo si se compara con la conformación reportada por otras empresas (Ruiz *et al.*, 2021). Esta plantación tuvo un porcentaje de conformación en los cuartos inferiores (C3, C4, C7, C8) de  $85,9 \pm 8,6$  %, valores que son superiores entre 23 % y 4 % con respecto a 4 de las 5 empresas reportadas por Ruiz *et al.* (2021).

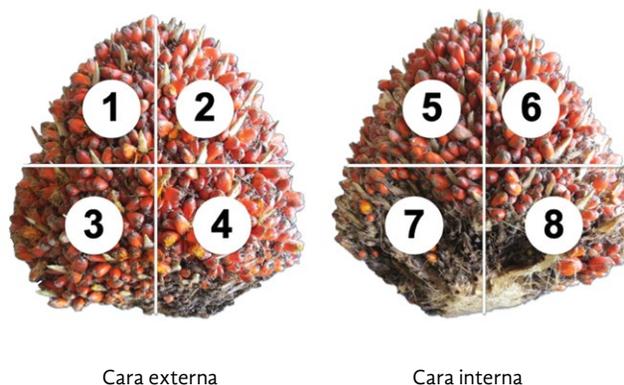
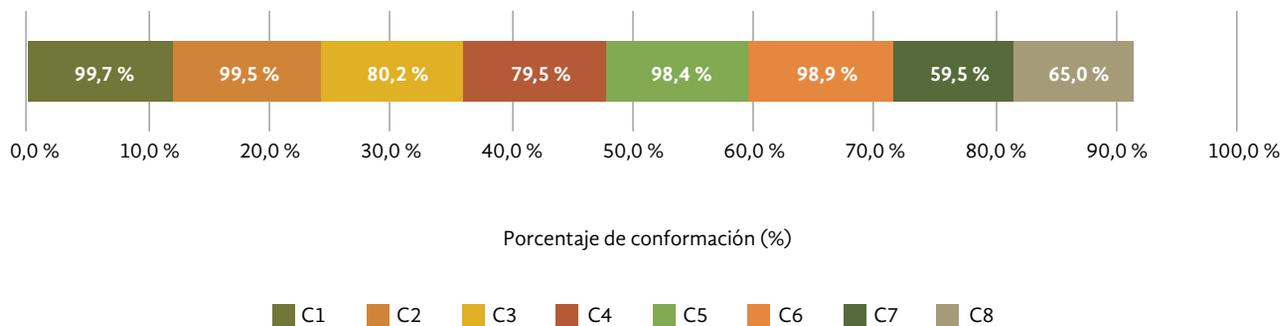
La estrategia de aplicación de los insumos elegida por la plantación generó una proporción de racimos

clase 1, que la ubica entre las empresas que logran los mejores resultados en este indicador. Entre los factores que explican este comportamiento se encuentra el de separar la aplicación de polen de la de ANA porque evita la disminución de la germinabilidad del primero (Ruiz y Daza, 2020). Por otro lado, la altura a la que se encontraban los racimos en las palmas (p. ej. 1 m) contribuyó con los buenos resultados de conformación de racimo porque facilita la ejecución de los procesos de polinización (Figura 7).

**Figura 6.** Proporción de racimos según su clase de conformación.



**Figura 7. Porcentaje de conformación por cuarto de racimo**



### Eficiencia de la mano de obra

El rendimiento del operario de polinización está determinado por la densidad de inflorescencias la cual, a su vez, determina el costo unitario de la labor: en el pico alto de floración, el rendimiento por inflorescencia resultó un 60,42 % mayor en comparación con la época de baja densidad de inflorescencias, lo cual incide en que las hectáreas recorridas por operario sean menores. Esta relación es importante para la determinación de los jornales requeridos a lo largo del año en la plantación y también para la fijación de esquemas de liquidación de la labor (Camperos *et al.*, 2020).

En general, el rendimiento laboral promedio reportado por la plantación, expresado en términos de inflorescencias diarias, fue alto debido a que se realizó un único ingreso a la semana para cada lote (Tabla 5). Este comportamiento fue similar a lo re-

portado en un estudio de tiempos realizado para una plantación de la misma zona y frecuencia de ingreso. De acuerdo con lo estimado por Pulido, Núñez y Requena (2021), para una densidad de inflorescencias de 80-89 inflorescencias\*ha<sup>-1</sup> en cada entrada, el rendimiento estimado es de 3,37 ha\*jornal<sup>-1</sup> y para una densidad de 20-29 inflorescencias\*ha<sup>-1</sup>, su valor es de 6,28 ha\*jornal<sup>-1</sup>.

Otro factor que indirectamente afecta al rendimiento del polinizador son los cambios logísticos que se realizan en otras labores del cultivo. Tras el inicio de la labor de polinización artificial, las podas pasaron de tener una frecuencia anual a una semestral, con el fin de facilitar el trabajo de los operarios, garantizando visibilidad y tránsito. De igual manera, la frecuencia del control de malezas (tanto de los plateos como de la limpieza de calles) aumentó para hacer más fácil el desplazamiento de los trabajadores, incluidos los responsables de la cosecha.

**Tabla 5.** Indicadores de rendimiento de la mano de obra en diferentes momentos de floración.

	Pico alto de floración	Pico bajo de floración	Valor ponderado
Número de meses	6	6	--
Densidad de inflorescencias promedio (inflorescencias/ha*entrada)	100	25	62,5
Rendimiento por entrada (inflorescencias/día*persona)	300	200	250
Rendimiento por hectárea (ha/día*persona)	3	8	5
Área cubierta (ha/persona*semana)	12	48	30
Entradas al lote por semana	1	1	1

### Eficiencia económica

La Figura 8 muestra que la mano de obra tiene un peso mayor (57 %) en el costo unitario de polinizar una inflorescencia que los insumos (28 %), lo cual es común en la labor de polinización (Mosquera *et al.*, 2019). Para la plantación estudiada solo se realizó 1 ingreso a la semana, lo cual implica un ahorro en el costo anual de la mano de obra, en comparación con el método de polinización asistida tradicional (3 entradas a la semana). En segundo lugar, la plantación redujo el consumo de los insumos más costosos

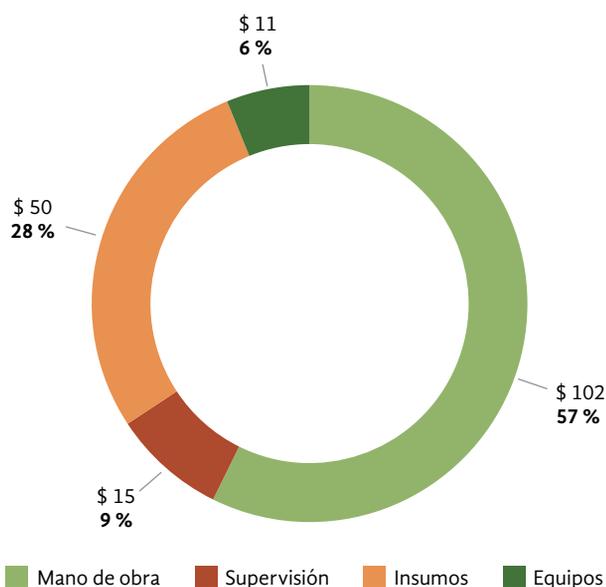
(el ANA y el polen), en comparación con el método que mezclaba estos insumos, según reporta Ruiz *et al.* (2021). Al comparar el costo de aplicación de una inflorescencia con lo reportado por los anteriores autores, se encontró que fue menor entre 27 % y 87 % que los de dichas empresas, lo que tiene explicación en que, en el caso último, se está tratando de palma joven (menor dificultad y demanda de insumo por inflorescencia).

### Punto óptimo de cosecha y conformación del racimo

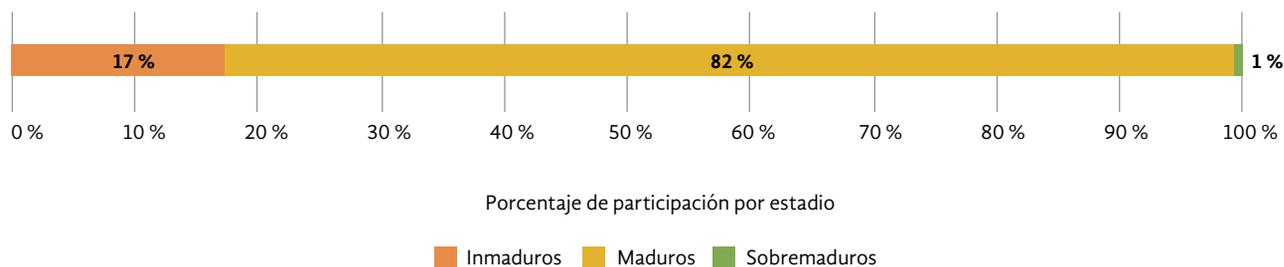
La labor de cosecha es la etapa culminante del cultivo. En ella se sintetizan los resultados de las labores de establecimiento y mantenimiento de este, entre las cuales se encuentra la polinización. En la cosecha se puede evaluar la conformación de los racimos y permite asegurar su máximo contenido de aceite, si se cosecha en punto óptimo de madurez.

La Figura 9 muestra que para la plantación existe una oportunidad de mejora con respecto a la calidad de los racimos que se están cosechando. De acuerdo con Cortés *et al.* (2020), el potencial de aceite es menor en un racimo maduro con clase 4 de conformación que en uno con clase 1, en un 60,8 %, así como un racimo inmaduro en clase 1 tiene un potencial 63,9 % menor que un racimo maduro de la misma conformación. En este estudio, si bien 78 % de los racimos cosechados tuvieron entre buena/excelente conformación y se cortaron en el estado óptimo de cosecha, 19 % podrían tener un mayor potencial de aceite si se hubiesen cortado en punto óptimo de cosecha (Figura 10).

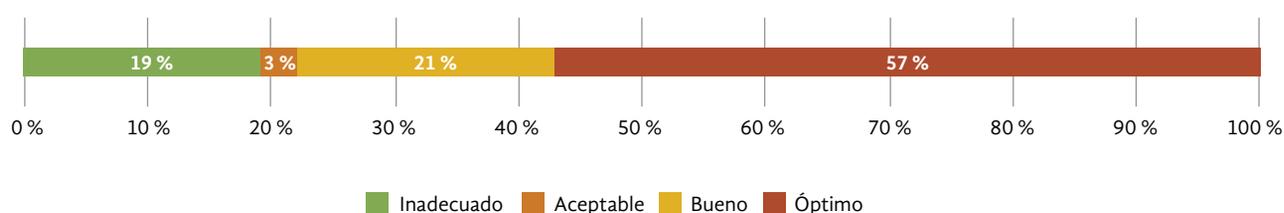
**Figura 8.** Participación de rubros en el costo unitario (\$/inflorescencia)



**Figura 9.** Proporción de racimos por estado de cosecha



**Figura 10.** Proporción de racimos según las categorías del indicador POC x Conformación



En el escenario documentado, la tasa de extracción de aceite (TEA) ponderada se estimó en 29,19 %. En un escenario alternativo, si se lograra eliminar la proporción de racimos de las categorías Inadecuado y Aceptable, clasificándolos por lo menos en la categoría Bueno, se podría incrementar la TEA en, al menos, 1,63 puntos (Tabla 6).

Por lo anterior, el fortalecimiento de los procesos de supervisión y capacitación en la labor de cosecha

es un aliado para hacer frente a este reto, pues garantiza que los racimos sean efectivamente cortados en el momento indicado.

En lo que respecta a la productividad de las siembras estudiadas, se observó que hubo un incremento en el rendimiento (t RFF ha<sup>-1</sup> al año) y el peso medio de racimo comparando el 2018 (en el que no se había implementado la tecnología) y el 2019, momento en que implementó la polinización artificial (Tabla 7).

**Tabla 6.** TEA ponderada estimada para dos escenarios de calidad de racimos.

Clase	Categoría	TEA reportada	Escenario actual		Escenario alternativo	
			Proporción	TEA ponderada	Proporción	TEA ponderada
Clase 1 Inmaduro	Inadecuado	20,31	12,10%	2,46	0	0
Clase 2 Inmaduro	Inadecuado	15,97	4,30%	0,69	0	0
Clase 3 Inmaduro	Inadecuado	14,85	0,80%	0,11	0	0
Clase 1 Maduro	Óptimo	33,29	56,50%	18,82	56,50%	18,82
Clase 2 Maduro	Bueno	27,62	21,40%	5,9	43,50%	12,01
Clase 3 Maduro	Aceptable	27,12	3,00%	0,82	0	0
Clase 4 Maduro	Inadecuado	20,69	1,90%	0,39	0	0
<b>Total</b>			<b>100%</b>	<b>29,19%</b>	<b>100%</b>	<b>30,82%</b>

**Tabla 7.** Indicadores de productividad.

Parámetro	2018	2019
Rendimiento promedio (t/ha*año)	21,1	25,1
Peso medio (kg/racimo)	7,13 ± 1,36	9,19 ± 1,01

## Conclusiones

La implementación de la polinización artificial representa un cambio tecnológico para el cultivo de palma de aceite en cultivares híbrido OxG en los últimos tres años, pero su difusión ha sido tan acelerada que han surgido diferentes estrategias de apropiación de la tecnología a nivel nacional. La experiencia documentada en este estudio permitió conocer que los beneficios de esta tecnología pueden aprovecharse desde la etapa en desarrollo del cultivo y complementa los resultados reportados en otras investigaciones para la etapa adulta.

El seguimiento a la calificación de los racimos es un elemento básico para evaluar el desempeño de una plantación, especialmente en las labores de polinización y cosecha. Sin embargo, aún es necesario corroborar la conformación de los racimos en su parte interna, puesto que esto permite dar luces más claras respecto a la calidad y la eficacia de la labor de polinización. Por otro lado, el uso de herramientas digitales como CyberTracker o similares, facilitan el proceso de registro y manejo de datos, lo que implica una mayor eficiencia en la labor de supervisión.

Los aspectos que permitieron el buen desempeño de la labor de polinización para la plantación fueron la separación de las aplicaciones de polen en antesis y de ANA en posantesis, (7 y 14 días después de antesis (dda)), el uso de herramientas digitales para el registro de datos, el método de aplicación de los insumos sobre la inflorescencia, el esquema de supervisión y la

constante capacitación y retroalimentación a los trabajadores. Adicionalmente, la realización oportuna de podas y control de malezas, así como la entrada una vez por semana a los lotes, contribuyen a ser más eficiente en cuanto a la mano de obra, en palma joven. No obstante, algunos de los aspectos que se pueden mejorar es el rediseño del equipo de polinización (garantizando la salida separada de los insumos) y la logística para el suministro de estos en campo.

Los resultados técnicos indican que la plantación apropió con éxito la tecnología de polinización artificial, ya que las conformaciones de los racimos fueron altas y en su mayoría fueron cosechados en el estadio de madurez adecuado. Sin embargo, debe reforzarse en el personal de cosecha el proceso de supervisión y capacitación para disminuir notablemente la proporción de racimos inmaduros, en aras de mejorar el desempeño de la labor.

Finalmente, para la plantación se observó una perspectiva positiva en el comportamiento de la productividad, pues es superior para el promedio reportado en cultivos líderes en el mismo rango de edad. De esta manera, es indispensable mantener el buen manejo agronómico para no disminuir la brecha con respecto al potencial productivo del cultivo durante la etapa adulta. Por otro lado, es necesario realizar futuras investigaciones que permitan conocer el impacto sobre la conformación interna de los racimos y el potencial de aceite, variables que influyen sobre los costos de extracción del aceite.

## Bibliografía

- Ayala, I. & Romero, H. (2019). Cultivares híbridos OxG y la reactivación productiva de zonas problema con PC. *XV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite*, 39. Recuperado de [https://www.cenipalma.org/wp-content/uploads/2019/09/1.Ivan-Ayala-OxG-RTN-2019\\_compressed.pdf](https://www.cenipalma.org/wp-content/uploads/2019/09/1.Ivan-Ayala-OxG-RTN-2019_compressed.pdf)

- Barrios-Maestre, R., Del Valle, M. Rivas E., Fariñas, F., Salazar, J. & Rodríguez, G. (2011). Efecto del déficit hídrico sobre el ciclo productivo de la palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Trop* 61,(23), 3-4.
- Caicedo, A., Millán, E., Ruiz-Romero, R. & Romero, H. (2017). *Guía de bolsillo, Criterios de cosecha en cultivares híbrido: características que evalúan el punto óptimo de cosecha en palma de aceite*, 1. Bogotá: Cenipalma.
- Camperos, J. E., Barrera, E. & Mosquera-Montoya, M. (2021). Estudo de Tempos e Movimentos Para Mensurar a Produtividade Da Mão de Obra Nas Plantações de Palma de Azeite de Palma Na Colômbia : O Caso Da Polinização Artificial. *Revista Eletrônica Competências Digitais Para Agricultura Familiar*, 7(1),146-71.
- Camperos, J. E., Pulido, N., Munévar, D. E., Torrecilla, E., Requena, J., Arias, H. & Mosquera-Montoya, M. (2020). Estudio de tiempos y movimientos para la polinización artificial: estudio de caso en una plantación de la Zona Central. *Palmas*, 41(3), 11-23.
- Cortés, I., Martínez, J. & García J. (2020). Determinación de criterios unificados de calificación de RFF en planta de beneficio y su relación con el potencial de aceite. En *Memorias Comité Agronómico Regional de la Zona Suroccidental*, Tumaco.
- Daza, E., Ayala-Díaz, I., Ruiz-Romero R. & Romero, H. M. (2021). Effect of the Application of Plant Hormones on the Formation of Parthenocarpic Fruits and Oil Production in Oil Palm Interspecific Hybrids (*Elaeis Oleifera* Cortes x *Elaeis Guineensis* Jacq.). *Plant Production Science*, 24(3).354-62. doi: 10.1080/1343943X.2020.1862681.
- García, A., Ibagué D., Munévar, D., Hernández J. & Mosquera-Montoya, M. (2020). Polinización artificial: ¿ANA en suspensión líquida o ANA en mezcla sólida? *Palmas*, 41(4),15-26.
- Mosquera Montoya, M., López, D., Ruiz, E. & Castro, Lu. (2019). Mano de obra en cultivos de palma aceitera de Colombia: participación en el costo de producción y demanda. *Palmas*, 40(1), 46-54.
- Mosquera, M., Ruiz, E., Munévar, D., Castro, L., Díaz, L. & López, D. (2020). Costos de producción 2019 para la palmicultura colombiana: estudio de *benchmarking* a empresas adoptantes de buenas prácticas. *Palmas*, 41(4), 2-13.
- Pulido, N., Núñez J. & Requena J. (2021). Calculadora para la asignación de mano de obra en la labor de polinización artificial. En *XVII Reunión Técnica Nacional en Palma de Aceite*.
- Restrepo, C., Aguirre, K., Rincón, V., Arias N. & Acero, C. (2019). Método para la supervisión de la polinización asistida en híbridos OxG en la Zona Central. En *XV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite*. Bucaramanga.
- Romero, H. (2018). Polinización artificial de híbridos OxG para la obtención de frutos partenocárpicos y la producción de aceite (*Elaeis oleifera* Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.) *El Palmicultor*, 558, 15-18.
- Rosero, G., Santacruz, L., Ríos, A. & Carvajal, S. (2017). Influencia del destape de la inflorescencia en la polinización asistida del híbrido OxG. *Palmas*, 38(1), 49-62.

- Rosero, G. & Santacruz, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en medio líquido en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S. A. *Palmas*, 35(4),13-21.
- Ruiz, E., Banguera, J., Pérez Toro, W., Hernández-Hernández, J., Arévalo J. & Mosquera Montoya, M. (2020). Technical and Economic Assessment of Two Harvesting Tools for Young *Elaeis oleifera* x *E. guineensis*. *Agronomía Colombiana*, 38(3), 418-28. doi: 10.15446/agroncolomb.v38n3.85303
- Ruiz, E., Fontanilla, C., Mesa E., Mosquera-Montoya, M., Molina, D. & Rincón, Á. (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.
- Ruiz, E., Mosquera-Montoya, M., Munévar, D., Sinisterra, K., López, D., Franco, L., Hoyos, W., Mesa, E., Bernal, I., Sibaja, P., Banguera, J., Bolívar A., López, L., Mejía, Y., Santacruz, L., Aguiar, C., Rosero, G., Torrecilla, E., Jiménez, W., Pulido, N. & Rojas, L. (2021). *Referenciación competitiva al proceso de polinización artificial en cultivares híbridos interespecíficos OxG : Coari x La mé.*
- Ruiz, R. & Daza, E. (2020). ¿Se debe mezclar el ANA y el polen en la polinización artificial? *El Palmicultor*, 14-15.
- Ruiz, R., Daza, E., Calpa, A. & Romero, H. (2020). Mezcla de ácido naftalenacético y polen, ¿se puede considerar una alternativa para la obtención de frutos normales dentro de la polinización artificial en el híbrido *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*? *Palmas*, 41(2), 38-47.
- Sánchez, Á., Daza, E., Ruíz-Romero R. & Hernán Romero. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía de facilitadores*. Primera edición, Bogotá.
- Suharyanti, Ambar Nanik, Kosuke Mizuno & Ahyahudin Sodri. (2020). The Effect of Water Deficit on Inflorescence Period at Palm Oil Productivity on Peatland. *E3S Web of Conferences*, 211, 2-11. doi: 10.1051/e3sconf/202021105005.

Híbrido Amazon



# Su éxito crece con nuestros materiales de siembra

## AMAZON

(Híbrido compuesto)

- Excelente extracción de aceite ( $\geq 25\%$ )
- Alta tolerancia a pudriciones de cogollo
- Menor incidencia de marchitez sorpresiva
- Buena respuesta a la aplicación de ANA
- Alta precocidad
- Crecimiento vertical muy lento
- Bajo nivel de descarte en vivero

### VARIETADES DE ALTA DENSIDAD

(160-170 palmas/ha)

Challenger, Avalanche, Supreme & Evolution Blue

- Precocidad y alta producción de racimos
- Alta tasa de extracción de aceite ( $\geq 26\%$ )
- Menores costos de cosecha
- Mayor vida comercial de las plantaciones
- Plantaciones altamente uniformes (Clones)

### CLONES DE ALTA DENSIDAD

(hasta 180 palmas/ha)

Sabre, Sunrise, Titan y Tornado



### VARIETADES PREMIUM, ESTÁNDAR Y ESPECIALES

- Themba, Spring Black y Spring Green (Variedades Premium)
- La Mé (Variedad Estándar)
- Kigoma y Bamenda (Variedades especiales)



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

#### Garantizamos:

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

## Indicadores composicionales en la química de los ácidos grasos en el aceite de palma. ¿Qué tan relevante es el índice de yodo?\*

Compositional Indicators in Palm Oil Fatty Acid Chemistry. How Relevant is the Iodine Value?

**CITACIÓN:** González-D., A., García-N., J. A., Cortés-B., I. L., Díaz-O., J. & Dueñas-S., J. (2022). Indicadores composicionales en la química de los ácidos grasos en el aceite de palma. ¿Qué tan relevante es el índice de yodo? *Palmas*, 43(2), 26-39.

**PALABRAS CLAVE:** Aceite de palma crudo, Híbridos interespecíficos de palma de aceite, *Elaeis oleifera*, Ácidos grasos insaturados, Perfil de ácidos grasos.

**KEYWORDS:** Crude palm oil, Interspecific oil palm hybrids, *Elaeis oleifera*, Unsaturated fatty acids, Fatty acid profile.

\* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

**RECIBIDO:** abril 2022.

**APROBADO:** junio 2022.

**GONZÁLEZ DÍAZ, ALEXIS**  
Asistente de Investigación de Cenipalma  
Autor de correspondencia:  
agonzalezd@cenipalma.org

**GARCÍA NÚÑEZ, JESÚS A.**  
Coordinador de Programa de  
Procesamiento de Cenipalma  
Autor de correspondencia:  
jgarcia@cenipalma.org

**CORTÉS B., INGRID L.**  
Auxiliar de Investigación de Cenipalma

**DÍAZ O., JENIFER S.**  
Coordinador de Laboratorio de  
Guaicaramo S. A. S.

**DUEÑAS S. JAVIER**  
Director de Planta de  
Guaicaramo S. A. S.

## Resumen

Las diferentes especies de ácidos grasos que conforman las estructuras moleculares de los triglicéridos en el aceite de palma, en diferentes niveles de conjugaciones que varían entre cultivares *dura x pisifera* (D×P) y *oleifera x guineensis* (O×G) resultan ser indicadores químicos estrechamente relacionados con el índice de yodo, un parámetro de calidad que determina el grado de insaturaciones o el número promedio de dobles enlaces en aceites y grasas, con valores que pueden superar las 60 unidades en compuestos grasos ricos en ácidos grasos mono y poliinsaturados. En este estudio se conformaron mezclas entre aceite de palma crudo extraído de los

cultivares de palma tipo *tenera* D×P de *Elaeis guineensis* Jacq. y de cuatro cultivares de híbridos interespecíficos O×G, en diferentes niveles composicionales (0, 20, 40, 60, 80 y 100 % m/m-APC O×G). El perfil lipídico de los aceites puros y de las mezclas generadas bajo condiciones controladas de laboratorio fue establecido mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama, mientras que el índice de yodo fue calculado estequiométricamente a partir de los cromatogramas conseguidos. Los resultados fueron analizados para determinar la posible relación entre el índice de yodo y las variaciones químicas composicionales en el perfil lipídico logradas en el aceite de palma crudo (APC) con las mezclas, mediante regresiones lineales simples. De los resultados se destaca la obtención de 3 modelos de regresión lineal para las mezclas entre APC O×G Manaos × Compacta y APC D×P; entre APC O×G Coari × Super *tenera* y APC D×P; y entre APC O×G Coari × La Mé y APC D×P, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0,9852; 0,9845 y de 0,9871, correspondientemente.

## Abstract

The different species of fatty acids that comprise the molecular structures of the triglycerides in palm oil, at different conjugation levels that vary among cultivars (D×P and O×G), turn out to be chemical indicators closely related to the iodine value, a quality parameter that determines the degree of unsaturations or the average number of double bonds in oils and fats, with values that can exceed 60 units in fatty compounds with a high content of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. In this study, blends were formed between crude palm oil extracted from *tenera* D×P type palm cultivars of *Elaeis guineensis* Jacq. and from four cultivars of O×G interspecific hybrids, at different compositional levels (0, 20, 40, 60, 80 and 100 % m/m-CPO O×G). The lipid profile of pure oils and mixtures generated under controlled laboratory conditions was established by gas chromatography with flame ionization detector, while the iodine value was calculated stoichiometrically from chromatograms obtained. The results were analyzed to determine the possible relationship between the iodine value and the chemical compositional variations in the lipid profile achieved in the CPO with the mixtures, by means of simple linear regressions. From the results, three linear regression models were obtained for the mixtures between: CPO O×G Manaos × Compacta and CPO D×P; between CPO O×G Coari × Super *Tenera* and CPO D×P; and between CPO O×G Coari × La Mé and CPO D×P, with coefficients of determination ( $R^2$ ) of 0.9852, 0.9845 and 0.9871, respectively.

## 1. Introducción

Con base en el último informe del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, para finales de 2021, más de 75 millones de toneladas (Mt) de aceite de palma fueron producidas en todo el mundo (USDA-FAS, 2021). Indonesia 59 % (44.500 Mt), Malasia 25 % (18.700 Mt), Tailandia 4 % (3.120 Mt), Colombia 2 % (1.650 Mt) y Nigeria 2 % (1.400 Mt) encabezan la lista de países con mayor producción de este tipo de aceite a nivel mundial (USDA-FAS, 2021). En las plantas de beneficio de palma de aceite, el aceite de palma crudo (APC) es obtenido por medio del prensado mecánico, bajo condiciones específicas de presión y de temperatura, de los frutos maduros producidos por los cultivares de palma africana tipo *tenera* de *Elaeis guineensis* Jacq., cruce Dura × Pisifera (APC D×P) o por los híbridos interespecíficos entre las especies *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés y *Elaeis guineensis*

Jacq., conocidos de manera habitual como híbridos O×G (APC O×G).

*Elaeis oleifera*, endémica de América, es una palma del género *Elaeis* extendida por el sur y el centro del continente americano (Osorio-Guarín *et al.*, 2019). Esta se hibrida convenientemente con *Elaeis guineensis* Jacq. para ofrecer cultivares de palma de aceite híbridos con características vegetativas distintivas y provechosas para la cosecha (p. ej. lenta tasa de crecimiento) o para el cultivo (p. ej. resistencia a plagas y a enfermedades) (Almeida *et al.*, 2019). Razón por la que el híbrido O×G fue propuesto como una de las alternativas para el manejo integral de la problemática fitosanitaria ocasionada por la enfermedad de la Pudrición del cogollo (PC), a la que se le atribuye el daño causado, en diferentes grados de severidad, a cultivos de palma de aceite en distintas regiones de Colombia y de Latinoamérica (Corredor *et al.*, 2008; Meléndez y Ponce, 2016; Torres *et al.*, 2016).

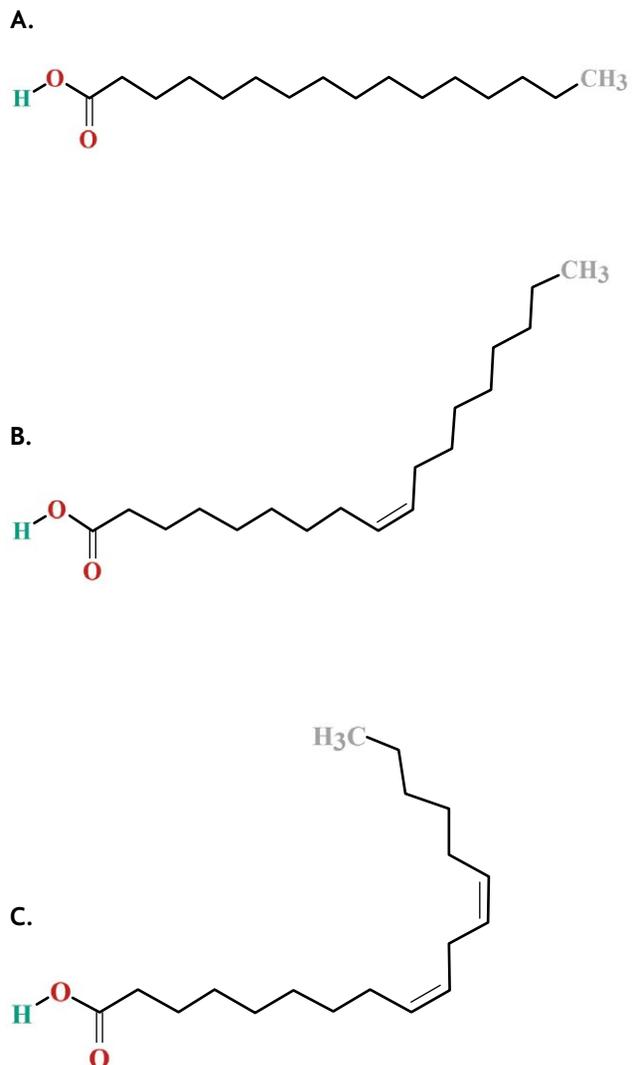
Al igual que en el APC D×P, trece especies de ácidos grasos (AG) tipifican la matriz lipídica del APC O×G: [láurico (C12:0), mirístico (C14:0), pentadecanoico (C15:0), palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), margárico (C17:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1n9c), vaccénico (C18:1n7c), linoleico (C18:2n6c),  $\alpha$ -linolénico (C18:3n3), araquídico (C20:0) y gondoico (C20:1n9)]. El ácido palmítico (Figura 1a), un ácido graso saturado (AGS), otorga a una fracción del APC (~50 %), un aspecto sólido a temperatura ambiente (~20 °C), al estar presente en una medida superior de concentración que otras de las especies de ácidos grasos saturados en la matriz oleosa. En contraste, los ácidos grasos oleico (ácido graso monoinsaturado (AGMI) (Figura 1-B) y linoleico (ácido graso poliinsaturado (AGPI) (Figura 1-C)), en mayor grado, confieren a la otra fracción del APC un aspecto líquido cuando este se almacena bajo las mismas condiciones de temperatura. Los AGS son ácidos carboxílicos de cadena larga con enlaces simples entre sus átomos de carbono (i.e., C-C). Por el contrario, los AGMI y los AGPI, comprenden uno o más dobles enlaces entre los átomos de carbono en su estructura molecular (i.e., -HC=CH-), correspondientemente. La Figura 1 muestra la estructura molecular de los ácidos grasos de mayor influencia en las características fisicoquímicas del APC de distinto origen.

Por otra parte, la mezcla entre APC D×P y APC O×G es una práctica muy común actualmente en las plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia, llevada a cabo por la creciente oferta de racimos de fruta fresca (RFF) de los distintos cultivares de híbridos O×G, sembrados en las distintas zonas palmeras del país, por la dificultad que representa el rastreo de RFF de distinta procedencia en las tolvas; por la facilidad o no de separar, por origen, el aceite de palma durante su procesamiento y almacenamiento; o por la factibilidad o no de vender aceites mezclados. Dicha práctica puede disminuir el contenido de ácidos grasos libres e incrementar el valor del índice de deterioro a la blanqueabilidad en el APC resultante de la mezcla, pero a su vez, genera cambios importantes a nivel de la composición química de la matriz lipídica resultante (González-Díaz *et al.*, 2019). En las refinadoras, un aceite con un alto contenido de APC O×G en mezcla con APC D×P, requiere ser procesado bajo condiciones diferentes a las convencionalmente establecidas para el procesamiento del APC D×P puro, lo que resulta en cambios imprevistos en las operaciones estandarizadas en las refinadoras, además, en

efectos negativos sobre la calidad de la oleína y de la estearina que se producen en estas mismas industrias.

En otra medida, el índice de yodo (o valor de adsorción de yodo o número de yodo, comúnmente abreviado como IY) es un parámetro de calidad que determina el grado de insaturaciones o el número promedio de dobles enlaces en aceites y grasas (Adevale *et al.*, 2014; Lam *et al.*, 2020). Tanto en el APC D×P, como en el APC O×G, el comportamien-

**Figura 1.** Ácidos grasos de mayor preponderancia en el APC. **A.** ácido palmítico, C16:0; **B.** ácido oleico, C18:1n9c; **C.** ácido linoleico, C18:2n6c. Estructuras desarrolladas utilizando el software ChemSketch (Advanced Chemistry Development Inc. (ACD/Labs), 2018).



to del IY se ve influenciado de manera significativa por la química que establece el contenido porcentual másico de los AGMI y de los AGPI en cada matriz lipídica (González-Díaz *et al.*, 2019). Razón por la cual el IY resulta ser una variable realmente útil durante la evaluación de la calidad, cuando se habla en términos de pureza, de una grasa o de un aceite de origen vegetal o animal.

El objetivo de este estudio ha sido determinar el efecto de los cambios composicionales de los ácidos grasos insaturados en el APC, conseguidos en laboratorio por medio de mezclas generadas entre APC D×P y APC O×G, sobre el valor del IY en las matrices lipídicas resultantes.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Muestreo

Las muestras de APC D×P ( $n=40$ ) y de APC O×G del cultivar Coari × La Mé (APC O×G C×L) ( $n=40$ ) fueron recolectadas en la planta de beneficio de Guaicaramo S. A. S., Barranca de Upía-Meta. Las muestras de APC O×G de los cultivares Brasil × Djongo (APC O×G B×D) ( $n=15$ ), Coari × *Super tenera* (APC O×G C×ST) ( $n=15$ ) y Manaos × Compacta (APC O×G M×C) ( $n=15$ ) fueron extraídas de RFF, siembra 2011-2013, recolectados en la Finca Experimental La Providencia de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), Tumaco-Nariño. Todo lo anterior siguiendo los lineamientos descritos en las secciones C1-47 y Ba 1-38 del manual de métodos oficiales y prácticas recomendadas de la American Oil Chemists' Society (AOCS, 2010). Las muestras puras y las mezclas conformadas entre ellas (Tabla 1) fueron analizadas en el Laboratorio de Procesamiento de Cenipalma, ubicado en el Campo Experimental Palmar de las Corocoras, Paratebueno-Cundinamarca.

### 2.2. Preparación de las mezclas entre APC D×P y APC O×G

A partir de las muestras recolectadas de APC de distinto origen (numeral 2.1), se prepararon mezclas en diferentes niveles porcentuales de concentración entre los aceites obtenidos de los diferentes cultivares de palma (Tabla 1) empleando una balanza analítica Ohaus (Ohaus Scale Corp. Florham Park, NJ, USA) con precisión de  $0,0000 \pm 0,0001$  g y un horno de ca-

lentamiento Memmert con control de temperatura ( $60 \pm 0,5$  °C) (Mempert™, Alemania). En la Tabla 1 se presentan las matrices lipídicas recolectadas, conformadas y caracterizadas en este estudio.

### 2.3. Perfil de ácidos grasos e índice de yodo en las muestras de APC

La determinación del perfil de ácidos grasos (PAG) de las muestras de APC se llevó a cabo mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID por sus siglas en inglés), de acuerdo con los métodos AOCS Ce 2-66 y Ce 1-62 (AOCS, 2010). Se empleó un cromatógrafo de gases GC-7890A-FID (Agilent Technologies, USA), equipado con un puerto de inyección automático Split-Splitless (50:1) y una columna en sílice fundida DB-23 (60 m × 0,25 mm (ID) × 0,25 μm (f.t)), recubierta con una fase estacionaria de 50 % cianopropil-metilpolisiloxano. El gas de arrastre implementado fue nitrógeno grado 5,0 (pureza  $\geq 99,995$  %) con un flujo volumétrico de  $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ . Las condiciones de temperatura del horno de calentamiento fueron programas de 50 °C (1 min) @  $25 \text{ °C} \cdot \text{min}^{-1}$  hasta 175 °C (0 min), luego, @  $4 \text{ °C} \cdot \text{min}^{-1}$  hasta 230 °C (6,3 min). El volumen de inyección fue de 1 μL, las temperaturas del inyector y del detector se fijaron ambas en 250 °C. La concentración porcentual másica de las especies de AG en los perfiles cromatográficos se estableció por comparación directa y a partir de los tiempos de retención y áreas delimitadas implementando un estándar certificado (Supelco® 37 Component FAME Mix-Sigma Aldrich). El IY se calculó directamente y a partir de la composición de los AG en los PAG logrados por cromatografía, de acuerdo con el método AOCS Cd 1c-85 (AOCS, 2010). Los reactivos implementados en las determinaciones cromatográficas (metanol, n-hexano, hidróxido de potasio y trifluoruro de boro en metanol) fueron todos grado analítico (EMSURE®) y cromatográfico (LiChrosolv®, SupraSolv®) marca MERCK.

### 2.4. Análisis estadístico

Los resultados se presentan como medias aritméticas calculadas a partir de los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras de aceites analizadas por cultivar (Tabla 1) y sus respectivas desviaciones estándar ( $\pm$ ). Se determinaron otros valores estadísticos descriptivos como: mínimos, máximos, el error

**Tabla 1.** Proporción de mezcla entre APC D×P y APC O×G.

Grupo de análisis	Matriz de análisis	APC D×P (% m/m)	APC O×G C×L (% m/m)	n=
1: mezcla entre APC D×P y APC O×G C×L	APC D×P	100	0	40
	Mezcla 1	80	20	40
	Mezcla 2	60	40	40
	Mezcla 3	40	60	40
	Mezcla 4	20	80	40
	APC O×G C×L	0	100	40
2: mezcla entre APC D×P y APC O×G C×ST	Matriz de análisis	APC D×P (% m/m)	APC O×G C×ST (% m/m)	n=
	APC D×P	100	0	15
	Mezcla 1	80	20	15
	Mezcla 2	60	40	15
	Mezcla 3	40	60	15
	Mezcla 4	20	80	15
APC O×G C×ST	0	100	15	
3: mezcla entre APC D×P y APC O×G M×C	Matriz de análisis	APC D×P (% m/m)	APC O×G M×C (% m/m)	n=
	APC D×P	100	0	15
	Mezcla 1	80	20	15
	Mezcla 2	60	40	15
	Mezcla 3	40	60	15
	Mezcla 4	20	80	15
APC O×G M×C	0	100	15	
4: mezcla entre APC D×P y APC O×G B×D	Matriz de análisis	APC D×P (% m/m)	APC O×G B×D (% m/m)	n=
	APC D×P	100	0	15
	Mezcla 1	80	20	15
	Mezcla 2	60	40	15
	Mezcla 3	40	60	15
	Mezcla 4	20	80	15
APC O×G B×D	0	100	15	

C×L: Coari x La Mé; C×ST: Coari x Super *tenera*; M×C: Manaos x Compacta; B×D: Brasil x Djongo.

estándar y las medianas. El tratamiento y el análisis de los datos y resultados obtenidos, y las regresiones lineales entre el IY y el grupo de muestras analizadas fueron llevados a cabo mediante la interfaz Rstudio del *software* estadístico R.

### 3. Resultados y discusión

Antes de entrar en materia, se considera necesario presentar una breve, pero muy nutrida discusión, sobre los factores de mayor relevancia en la química que

influyen en el comportamiento de los ácidos grasos en los triglicéridos que componen el aceite de palma crudo y de su estrecha relación con el estado físico de este tipo de materias primas. Por lo tanto, en el numeral 3.1 se describe la relación existente entre el valor del índice de yodo y la cantidad de insaturaciones en un sustrato lipídico y, en el numeral 3.2, se presenta la conceptualización teórica, en términos técnicos de laboratorio, de las interacciones químicas que hacen posible la determinación del índice de yodo en aceites, grasas y ceras. Todo lo anterior, como un preám-

bulo de los resultados logrados en este estudio que se muestran en los numerales 3.3 y 3.4.

### 3.1. Química de los ácidos grasos en el aceite de palma y su relación con el valor del IY

Las grasas constituyen una fracción fundamental en la dieta humana. Además de ser fuente de energía, de ácidos grasos esenciales y de actuar como compuestos de estructura y de reserva a nivel celular, son necesarias para el transporte y la asimilación de compuestos biológicamente activos como: vitamina A (retinol, retinal, ácido retinoico y varios carotenoides provitamina A como el  $\alpha$ - y el  $\beta$ -caroteno) (Haaker *et al.*, 2020); vitamina D (vitamina D3, conocida como colecalciferol y vitamina D2, también llamada ergocalciferol) (Chang y Lee, 2019); vitamina E ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - y  $\delta$ -tocotrienol y  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - y  $\delta$ -tocoferol) (Azzi, 2019); vitamina K (filoquinona (vitamina K1) y una serie de menaquinonas (vitamina K2), además de otros) (Ivanova *et al.*, 2018); hormonas, y otros compuestos indispensables para el correcto funcionamiento de los organismos.

Las especies de ácidos grasos que constituyen las moléculas de los triglicéridos desempeñan un rol determinante en las características fisicoquímicas de una grasa o de un aceite. Los aceites, compuestos grasos de apariencia líquida a temperatura ambiente (alrededor de 20 °C) se caracterizan por presentar un contenido superior de AGMI y de AGPI a nivel estructural, mientras que las grasas disponen de una mayor cantidad de AGS, lo que hace que estas últimas sean sólidas bajo las mismas condiciones de temperatura antes mencionadas.

El punto de fusión, particular para cada una de las especies de ácidos grasos que conforman los triglicéridos en los aceites y grasas, aumenta con el incremento en el número de átomos de carbono específico que constituye la estructura de cada uno de estos compuestos, con excepciones claras a la anterior regla, cuando se trata de los AGMI y de los AGPI. Lo inmediatamente anterior obedece, en principio, a la presencia de dobles enlaces entre átomos de carbono en las cadenas que componen las configuraciones moleculares de estos compuestos (Wood *et al.*, 2007). En los ácidos grasos insaturados con enlaces en configuración *cis*, como el ácido oleico, la distancia entre los átomos de carbono que forman la cadena carbonada saturada ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ ) no es la misma que la

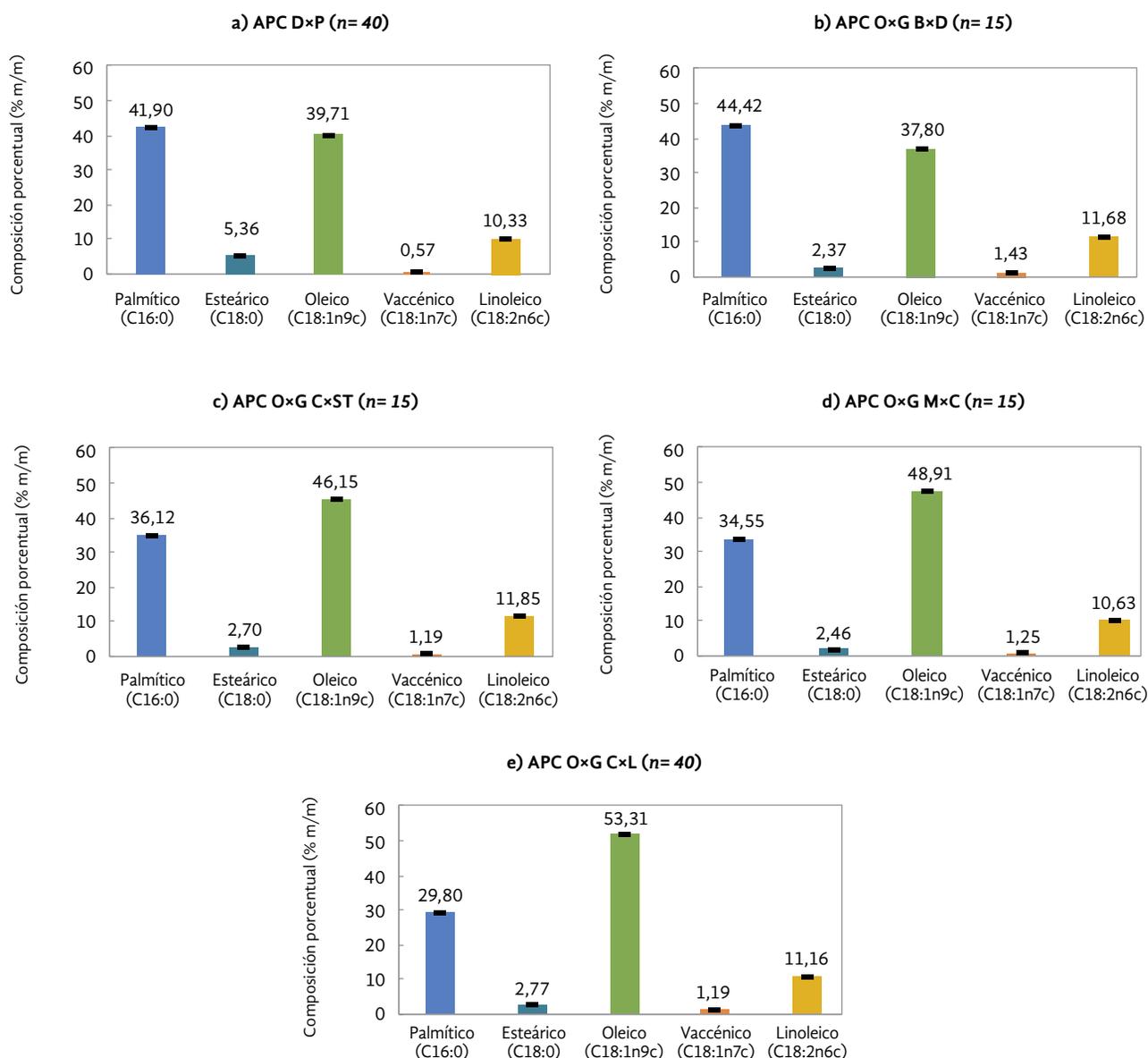
que se encuentra entre los átomos de carbono en la insaturación *cis*-9- ( $-\text{CH}=\text{CH}-$ ), ni tampoco los ángulos de torsión (133°) (Kaneko y Yanotj, 1998). Esto es lo que ocasiona que dichas moléculas presenten un grado mayor de dificultad para establecer entre ellas interacciones de *Van der Waals* (Lupi *et al.*, 2016). A lo anterior, puede atribuirse el hecho de que los ácidos grasos insaturados suelen encontrarse en estado líquido a temperatura ambiente o por debajo de esta (< 20 °C). En contraste, los enlaces C-C en los AGS, como el palmítico y el esteárico, son enlaces simples (enlaces covalentes), con la misma distancia entre ellos (1,54 Å) y el mismo ángulo de torsión (110°). Dicha circunstancia permite el “empaquetamiento” de varias moléculas mediante interacciones de *Van der Waals* (Israelachvili, 1974). Cuanto mayor es la cadena carbonada en un AGS, mayor es la posibilidad de que se presenten estas atracciones débiles, por ello, a temperatura ambiente, los AGS suelen encontrarse en estado sólido.

Así pues, el ácido oleico (Figura 1B), un ácido graso de la serie omega 9 ( $\omega$ -9), conformado por 18 átomos de carbono y un doble enlace C=C entre las posiciones 9 y 10 de la cadena, tiene un punto de fusión entre los 13-14 °C (National Center for Biotechnology Information, 2022b). De manera análoga, el ácido linoleico (Figura 1C), un ácido graso de la serie omega 6 ( $\omega$ -6), compuesto por la misma cantidad de átomos de carbono que el ácido oleico, cuenta con 2 dobles enlaces entre átomos de carbono a nivel molecular, entre las posiciones 9 y 10 y 11 y 13, y un punto de fusión de -5 °C (National Center for Biotechnology Information, 2022c). En contraste, el ácido palmítico (Figura 1A), un AGS, estructuralmente constituido por 16 átomos de carbono, se caracteriza por presentar un punto/intervalo de fusión entre 60-65 °C (National Center for Biotechnology Information, 2022a).

La química que gobierna el comportamiento y las características físicas y químicas de los ácidos grasos en los aceites y las grasas es responsable de que los sustratos oleosos ricos en AGMI y en AGPI, presenten, además de una apariencia líquida a temperatura ambiente y bajos puntos de fusión, altos valores en el IY (p. ej. aceite de maíz: 103-135; de almendras: 85-109; de maní: 77-107; de oliva: 75-94; de palma con mayor contenido de ácido oleico: > 68) (FAO/WHO, 2013, 2019). Por el contrario, los compuestos grasos con alto contenido de AGS presentarán mayor rigidez, puntos de fusión más elevados y valores en el



**Figura 3.** Composición porcentual másica de las especies de ácidos grasos de mayor relevancia en el APC de distinto origen. Las barras de error corresponden al error estándar de la media.



máximo: 40,42 % m/m) y de 10,33±0,32 % m/m (mínimo: 9,67 % m/m; máximo: 10,70 % m/m), respectivamente. En adición a lo anterior, el contenido de ácido palmítico en las mismas muestras de aceite fue establecido en una media de 41,90±1,22 % m/m, con un valor mínimo de 40,62 % m/m y un máximo de 44,84 % m/m (Figura 3A). Valores semejantes de composición fueron reportados para este mismo ácido graso, en el APC D×P, en estudios por (Dos Santos *et al.*, 2019; Mulia *et al.*, 2018; Tan *et al.*, 2021).

De los resultados en la Figura 3 se destaca, además, que el contenido porcentual másico de cada una de las especies de ácidos grasos que constituyen cerca del 98% del PAG de cada uno de los aceites caracterizados en este trabajo, presentó variaciones importantes cuando se realizaron comparaciones entre los resultados logrados de la caracterización de las diferentes matrices lipídicas en estudio. De este modo, el contenido de AGMI (ácido oleico + ácido vaccénico, principalmente) fue en promedio superior

en los cultivares híbrido C×L (≈54 % m/m), M×C (≈50 % m/m) y C×ST (≈47 % m/m), seguido por los cultivares D×P (≈40 % m/m), y menor en el cultivar O×G B×D (≈39 % m/m). Por otra parte, los AGPI (linoleico, mayormente) comprendieron, en promedio, una mayor medida en el APC de los cultivares O×G C×ST (≈12 % m/m), seguido por el APC extraído de los cultivares O×G B×D (≈12 % m/m), O×G C×L (≈11 % m/m), O×G M×C (≈11 % m/m) y por el APC de los cultivares D×P (≈10 % m/m). De otro lado, los ácidos grasos palmítico y esteárico, que en conjunto representan la mayor parte del contenido de AGS en el APC de distinto origen, se encontraron, en promedio, en un mayor porcentaje en el APC extraído de los cultivares D×P (≈47 % m/m), seguido por los cultivares de híbrido O×G B×D (≈47 % m/m), O×G C×ST (≈39 % m/m), O×G M×C (≈37 % m/m) y O×G C×L (≈33 % m/m) (Figura 3). Resultados similares han sido reportados en trabajos desarrollados por (González-Díaz *et al.*, 2020; Urrego *et al.*, 2019).

Como se mencionó anteriormente (numeral 3.1), el número total de dobles enlaces en los ácidos grasos, que conforman los triglicéridos de un aceite o una grasa, está directamente relacionado con el valor determinado en laboratorio para la variable índice de yodo. Considerando dicha aseveración, en este estudio, el aceite de los cultivares O×G C×L en estado puro, es decir, sin mezclar, alcanzó el valor más alto para el parámetro IY, con un promedio de 68,52±0,53 (mínimo: 68,06; máximo: 68,93); seguido por los aceites extraídos de los cultivares O×G M×C (IY= 63,20±0,30. Mínimo: 62,15; máximo: 63,37); O×G C×ST (IY= 62,92±0,22. Mínimo: 62,52; máximo: 63,15); O×G B×D (IY= 55,10±0,04. Mínimo: 55,04; máximo: 55,23); y, por último, el APC del cultivar D×P con un valor promedio de IY de 52,35±0,68 (mínimo: 51,05; máximo: 49,92). Cadena *et al.* (2013) y Chin Soh *et al.* (2017), encontraron resultados comparables con los presentados anteriormente.

### 3.4. Modelos de regresión lineal simple construidos a partir del estudio de las variables relacionadas: APC O×G en mezcla con APC D×P e IY en la mezcla resultante

A partir de los resultados obtenidos en la caracterización del grupo de muestras en la Tabla 1 y de un análisis de regresión para estimar posibles correspondencias entre las variables de estudio, pudo en-

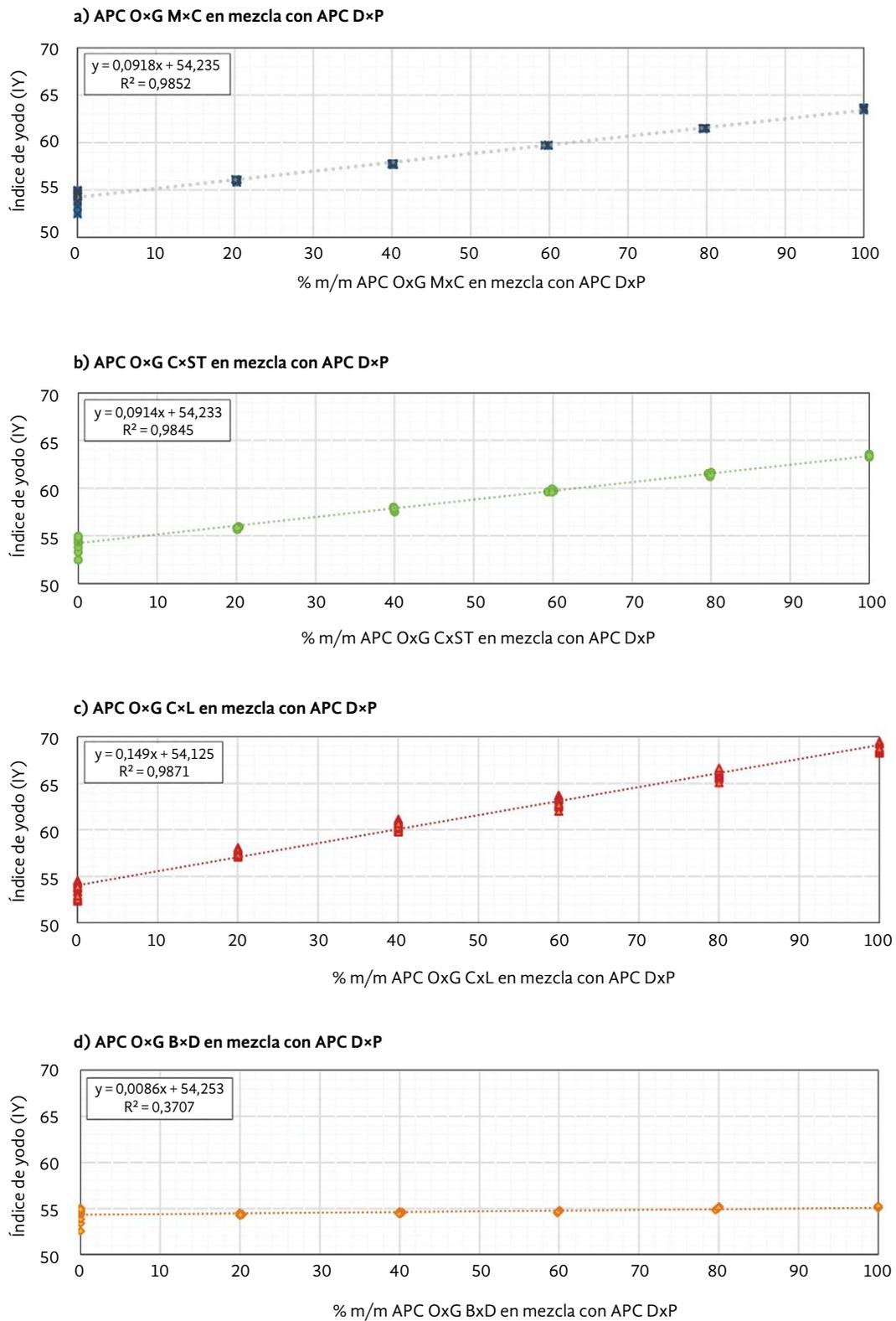
contrarse una relación importante entre el contenido porcentual en masa del APC extraído de ciertos cultivares híbrido O×G, cuando es mezclado con APC D×P, y el valor del índice de yodo calculado a partir del perfil de ácidos grasos de las muestras analizadas. Como era de esperarse, la composición química de los aceites resultantes correspondió a una mixtura molecular entre los triglicéridos que constituyen los aceites puros de los cultivares de palma procedentes, para cada caso (Tabla 1). De los resultados puede destacarse, además, que la serie conformada por las trece especies de AG que constituyen comúnmente el perfil lipídico del APC de distinto origen, permaneció constante entre los diferentes cultivares de palma estudiados, así como entre las mezclas entre APC D×P y O×G procesadas en este trabajo. No obstante, se evidenciaron variaciones composicionales (% m/m), entre cada una de las especies de ácidos grasos que componen los triglicéridos del APC D×P y del APC de cada uno de los cultivares de híbrido O×G caracterizados, y a su vez, entre todos los grupos de mezclas analizadas en este trabajo (Tabla 1 y Figura 3). Lo anterior, como consecuencia de la alteración que sufre el PAG natural de cada tipo de aceite extraído de cada cultivar O×G al ser mezclado con APC D×P. La Figura 4 representa los modelos de regresión lineal simple desarrollados a partir de los resultados obtenidos en la caracterización del grupo de muestras de APC puro de los cultivares O×G y D×P y de las mezclas procesadas a partir de estas mismas muestras de aceite (Tabla 1).

Las relaciones encontradas entre el índice de yodo calculado y las mezclas compuestas entre el APC D×P y el APC de los diferentes cultivares de híbrido O×G, permitieron ajustar los siguientes modelos:

$IY = 0,0918x_1 + 54,235$	$R^2 = 0,9852$	<b>Modelo 1.</b> Para el APC O×G M×C en mezcla con APC D×P.
$IY = 0,0914x_2 + 54,233$	$R^2 = 0,9845$	<b>Modelo 2.</b> Para el APC O×G C×ST en mezcla con APC D×P.
$IY = 0,149x_3 + 54,125$	$R^2 = 0,9871$	<b>Modelo 3.</b> Para el APC O×G C×L en mezcla con APC D×P.
$IY = 0,0086x_4 + 54,253$	$R^2 = 0,3707$	<b>Modelo 4.</b> Para el APC O×G B×D en mezcla con APC D×P.

Para cada uno de los modelos desarrollados, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) explica la variabilidad

**Figura 4.** Modelos de regresión lineal simple que relacionan el valor del índice de yodo y la composición porcentual másica del APC de los cultivares O×G, en mezcla con APC D×P.



de los datos de respuesta (IY) en torno a su media en un 98,52 % para el Modelo 1: APC O×G M×C en mezcla con APC D×P; en un 98,45 % para el Modelo 2: APC O×G C×ST en mezcla con APC D×P; en un 98,71 % para el Modelo 3: APC O×G C×L en mezcla con APC D×P; y en un 37,07 % para el Modelo 4: APC O×G B×D en mezcla con APC D×P. Indicando, además, buenos ajustes (asociación lineal entre las variables) para los Modelos 1 a 3 y un ajuste “cuestionable” o “bajo” para el Modelo 4. Esto, con base en lo descrito por McDonald (2009). Adicionalmente, los coeficientes de regresión entregados por los Modelos 1 a 3 (0,0918, 0,0914 y 0,149, correspondientemente) demostraron una alta significancia estadística ( $p < 0,05$ ), indicando, además, que por cada unidad que se cambia en la mezcla, el valor de la variable IY incrementará en 0,0918, 0,0914 y 0,149 unidades, respectivamente. A diferencia de lo anterior, puede establecerse que, bajo las condiciones de este estudio, el Modelo 4 no puede explicar, en una medida confiable, la variabilidad en los datos obtenidos para la variable IY. Luego, la variable % m/m APC O×G B×D en mezcla con APC D×P no puede utilizarse para predecir el comportamiento del IY en este tipo de mezclas. Esto pudo atribuirse a que el contenido porcentual másico de las especies de AGMI (ácido oleico + ácido vaccénico) y de AGPI (linoleico) en las muestras de estudio, resultó ser bastante similar entre el APC O×G B×D (AGMI  $\approx$  39 % m/m; AGPI  $\approx$  12 % m/m;  $IY_{\text{promedio}} = 55,17$ ) y el APC D×P (AGMI  $\approx$  40 % m/m; AGPI  $\approx$  10 % m/m;  $IY_{\text{promedio}} = 54,31$ ) (Figura 3); con un intervalo para el valor del IY entre 52,49 y 55,23, determinado en las muestras puras y en las mezclas conformadas entre ambos tipos de aceite (Tabla 1, Grupo de análisis: 4).

A nivel práctico, los Modelos 1 a 3 pueden ser empleados por las plantas de beneficio y refinadoras de APC, para la estimación del porcentaje en masa de APC O×G que se encuentre en mezcla con APC D×P. Esto, a partir de un valor de IY determinado en laboratorio para una muestra de APC (p. ej., Método de Wijs) y el despeje de la variable  $x$  del modelo correspondiente a cada mezcla, así:

$$x_1 = \frac{IY - 54,235}{0,0918} \quad x_1 = \% \text{ m/m APC O} \times \text{G M} \times \text{C en mezcla con APC D} \times \text{P.}$$

$$x_2 = \frac{IY - 54,233}{0,0914} \quad x_2 = \% \text{ m/m APC O} \times \text{G C} \times \text{ST en mezcla con APC D} \times \text{P.}$$

$$x_3 = \frac{IY - 54,125}{0,149} \quad x_3 = \% \text{ m/m APC O} \times \text{G C} \times \text{L en mezcla con APC D} \times \text{P.}$$

## 4. Conclusiones

La química en los ácidos grasos que componen las estructuras moleculares de los triglicéridos en el APC de distinta procedencia, juega un papel determinante en las propiedades fisicoquímicas de este tipo de aceites de origen vegetal, que pueden ser críticas para la obtención de los productos esperados mediante las operaciones de refinación, blanqueo, desodorizado y fraccionamiento en las refinadoras de APC (oleína y estearina de palma) o para la producción de biodiésel de palma en las refinerías encargadas de esta labor.

El contenido de ácidos grasos insaturados en el APC puede ser un factor decisivo para el direccionamiento comercial de cada tipo de aceite que pueda ser extraído de cada uno de los diferentes cultivares de híbridos interespecíficos O×G, que son sembrados en Colombia. Asimismo, la determinación del índice de yodo puede ser una herramienta valiosa para el control de la calidad de este tipo de materias primas.

Bajo las condiciones de este trabajo, el IY permite conocer, de manera aproximada, la presencia de mezclas entre APC de distinta procedencia, a partir de la caracterización de una muestra de material por medio de metodologías analíticas convencionalmente empleadas en los laboratorios de las plantas de beneficio en Colombia.

En las plantas de beneficio de palma de aceite, los modelos conseguidos a partir de las regresiones lineales simples logradas en este estudio para las mezclas entre: APC O×G M×C y APC D×P; APC O×G C×ST y APC D×P y APC O×G C×L y APC D×P, pueden ser considerados como herramientas útiles que permiten establecer, de manera fácil y con un buen nivel de confiabilidad, el cumplimiento de los límites máximos permisibles para mezclas entre APC D×P y O×G, que puedan ser acordados durante las negociaciones con los clientes.

## 5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por la financiación de este estudio; a la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) y a la planta de beneficio de Guaicaramo S. A. S. por las muestras de aceite utilizadas en este estudio.

## 6. Referencias

- Adewale, P., Mba, O., Dumont, M. J., Ngadi, M. & Cocciardi, R. (2014). Determination of the Iodine Value and the Free Fatty Acid Content of Waste Animal Fat Blends Using FT-NIR. *Vibrational Spectroscopy*, 72, 72-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2014.02.016>
- Advanced Chemistry Development Inc. (ACD/Labs). (2018). *ACD/ChemSketch* (2018.1).
- Almeida, R. F., Santos, I. R., Meira, F. S., Grynberg, P., Lopes, R., da Cunha, R. N. V., Franco, O. L., Scherwinski-Pereira, J. E. & Mehta, A. (2019). Differential Protein Profiles in Interspecific Hybrids Between *Elaeis oleifera* and *E. guineensis* with Contrasting Responses to Somatic Embryogenesis Competence Acquisition. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 137(1), 11-21. doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-018-01545-8>
- AOCS. (2010). *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS* (D. F. Mehlenbacher, E. M. Sallee, T. H. Hopper, W. E. Link, R. O. Walker, Ed.; 6th ed.).
- Astorkia, M., Hernández, M., Bocs, S., de Armentia, E. L., Herrán, A., Ponce, K., León, O., Morales, S., Quezada, N., Orellana, F., Wendra, F., Sembiring, Z., Asmono, D. & Ritter, E. (2019). Association Mapping Between Candidate Gene SNP and Production and Oil Quality Traits in Interspecific Oil Palm Hybrids. *Plants*, 8(10). doi: <https://doi.org/10.3390/plants8100377>
- Azzi, A. (2019). Tocopherols, Tocotrienols and Tocomonoenols: Many Similar Molecules But Only One Vitamin E. *Redox Biology*, 26, Elsevier B. V. doi: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101259>
- Cadena, T., Prada, F., Perea, A. & Romero, H. M. (2013). Lipase Activity, Mesocarp Oil Content, and Iodine Value in Oil Palm Fruits of *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, and the Interspecific Hybrid O×G (*E. oleifera* × *E. guineensis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(3), 674-680. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.5940>
- Chang, S. W. & Lee, H. C. (2019). Vitamin D and Health-The Missing Vitamin in Humans. *Pediatrics and Neonatology* (Vol. 60, Issue 3, pp. 237-244). Elsevier (Singapore) Pte Ltd. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2019.04.007>
- Chin Soh, A., Mayes, S., Barcelos, E., Amblard, P., Alvarado, A., Alvarado, J. H., Escobar, R., Sritharan, K., Subramaniam, M. & Arulandoo, X. (2017). *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis* Interspecific Hybrid Improvement. En *Oil Palm Breeding* (1 st, pp. 283-297). CRC Press.
- Corredor, A., Martínez, G. & Carreño, Á. (2008). Problemática de la Pudrición del cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo. *Palmas*, 29, 11-16.
- De Almeida, E. S., da Silva Damaceno, D., Carvalho, L., Victor, P. A., dos Passos, R. M., de Almeida Pontes, P. V., Cunha-Filho, M., Sampaio, K. A. & Monteiro, S. (2021). Thermal and Physical Properties of Crude Palm Oil with Higher Oleic Content. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). doi: <https://doi.org/10.3390/app11157094>

- Dos Santos, L. K., Hatanaka, R. R., de Oliveira, J. E. & Flumignan, D. L. (2019). Production of Biodiesel From Crude Palm Oil by a Sequential Hydrolysis/Esterification Process Using Subcritical Water. *Renewable Energy*, 130, 633-640. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.102>
- FAO/WHO. (2013). *Norma para los Aceites de Oliva y Aceites de Orujo de Oliva-Codex Stan 33-1981*.
- FAO/WHO. (2019). *Draft Revision to the Standard for Named Vegetable Oils (Cxs 210-1999): Addition of Palm Oil With High Oleic Acid (Oxg)*. (Issue March).
- González-Díaz, A., García-Núñez, J. A. & Dueñas-Solarte, J. (2019). Índice de yodo: un parámetro determinante para establecer el nivel de mezcla entre aceites de palma crudos (APC) provenientes de cultivares DxP e híbridos OxG-“CxL” (Nº. 0123-8353 Índice). *Ceniavances*, 192.
- González-Díaz, A., Urrego, N. F., Díaz-Ayala, I. M., García-Núñez, J. A. & Romero, H. M. (2020). *Ácidos grasos mono y poliinsaturados: responsables de la variación en el valor del índice de yodo ( IY ) entre aceites de palma crudos procedentes de diferentes cultivares de híbridos OxG*. Fedepalma. Recuperado de <https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Cenipalma/Reunion-tecnica-2020/21Acidos%20grasos%20en%20la%20variacion%20del%20indice%20de%20yodo%20en%20aceite%20de%20palma.pdf>
- Haaker, M. W., Vaandrager, A. B. & Helms, J. B. (2020). Retinoids in Health and Disease: A Role for Hepatic Stellate Cells in Affecting Retinoid Levels. *Biochimica et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids* (Vol. 1865, Issue 6). Elsevier B. V. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158674>
- Israelachvili, J. N. (1974). The Nature of Van Der Waals Forces. *Contemporary Physics*, 15(2), 159-178. doi: <https://doi.org/10.1080/00107517408210785>
- Ivanova, D., Zhelev, Z., Getsov, P., Nikolova, B., Aoki, I., Higashi, T. & Bakalova, R. (2018). Vitamin K: Redox-Modulation, Prevention of Mitochondrial Dysfunction and Anticancer Effect. *Redox Biology*, 16, 52-358). Elsevier B. V. doi: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2018.03.013>
- Kaneko, F. & Yanotj, J. (1998). Diversity in the Fatty-Acid Conformation and Chain Packing of Cis-Unsaturated Lipids. *Current Opinion in Structural Biology*, 8(4), 417-428. doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-440X\(98\)80117-6](https://doi.org/10.1016/S0959-440X(98)80117-6)
- Lam, H. Y., Roy, P. K. & Chattopadhyay, S. (2020). Thermal Degradation in Edible Oils by Surface Enhanced Raman Spectroscopy Calibrated with Iodine Values. *Vibrational Spectroscopy*, 106(October 2019), 103018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2019.103018>
- Lupi, F. R., Greco, V., Baldino, N., de Cindio, B., Fischer, P. & Gabriele, D. (2016). The Effects of Intermolecular Interactions on the Physical Properties of Organogels in Edible Oils. *Journal of Colloid and Interface Science*, 483, 154-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.08.009>
- Mcdonald, J. H. (2009). *Handbook of Biological Statistics* (2da ed.). Sparky House Publishing. Recuperado de <http://udel.edu/~mcdonald/statpermissions.html>

- Meléndez, M. R. & Ponce, W. P. (2016). Pollination in the Oil Palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their Hybrids (OxG), in Tropical America. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(1), 102-110. doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638196>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). *Resolución 2154 de 2012* (p. 32).
- Morcillo, F., Vaissayre, V., Serret, J., Avallone, S., Domonhédó, H., Jacob, F. & Dussert, S. (2021). Natural Diversity in the Carotene, Tocochromanol and Fatty Acid Composition of Crude Palm Oil. *Food Chemistry*, 365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130638>
- Mulia, K., Adam, D., Zahrina, I. & Krisanti, E. A. (2018). Green Extraction of Palmitic Acid from Palm Oil Using Betaine-Based Natural Deep Eutectic Solvents. *International Journal of Technology*, 9(2), 335-344. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i2.1008>
- National Center for Biotechnology Information. (2022a). *PubChem Compound Summary for CID 985, Palmitic acid*. Retrieved February 1, 2022. Recuperado de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/985>
- National Center for Biotechnology Information. (2022b). *PubChem Compound Summary for CID 445639, Oleic acid*. Retrieved February 1, 2022. Recuperado de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Oleic-acid>
- National Center for Biotechnology Information. (2022c). *PubChem Compound Summary for CID 5280450, Linoleic acid*. Retrieved February 1, 2022. Recuperado de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280450>
- Osorio-Guarín, J. A., Garzón-Martínez, G. A., Delgadillo-Durán, P., Bastidas, S., Moreno, L. P., Enciso-Rodríguez, F. E., Cornejo, O. E. & Barrero, L. S. (2019). Genome-Wide Association Study (GWAS) for Morphological and Yield-Related Traits in an Oil Palm Hybrid (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) population. *BMC Plant Biology*, 19(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2153-8>
- Tan, C. H., Lee, C. J., Tan, S. N., Poon, D. T. S., Chong, C. Y. E. & Pui, L. P. (2021). Red Palm Oil: A Review on Processing, Health Benefits and its Application in Food. *Journal of Oleo Science*, 70 (9), 1201-1210). Japan Oil Chemists Society. doi: <https://doi.org/10.5650/jos.ess21108>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Martínez, G., Varón, F., Drenth, A. & Guest, D. I. (2016). Bud Rot Caused by *Phytophthora palmivora* : A Destructive Emerging Disease of Oil Palm. *Phytopathology*, 106(4), 320-329. doi: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-15-0243-RVW>
- Urrego-M., N. F., Ayala, I. M. & Romero, H. M. (2019). *Variación en la composición de ácidos grasos en cultivares híbridos entre Elaeis oleifera x Elaeis guineensis ( OxG ) sembrados en Colombia*.
- USDA-FAS. (2021, April 5). *Palm Oil Explorer*. Recuperado de [https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000&sel\\_year=2020&rankby=Production](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000&sel_year=2020&rankby=Production)
- Wood, J. D., Enser, M., Richardson, R. I. & Whittington, F. M. (2007). Fatty Acids in Meat and Meat Products. *Fatty Acids in Foods and their Health Implications, Third Edition* (pp. 87-107). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420006902.ch5>

# Principales estrategias de formación y mitigación de 3-MCPDE en el procesamiento del aceite de palma\*

## Principal Formation and Mitigation Strategies for 3-MCPDE in Palm Oil Processing

**CITACIÓN:** Chien Lye Chew & Norliza Saparin. (2022). Principales estrategias de formación y mitigación de 3-MCPDE en el procesamiento del aceite de palma (Traductor C., Arenas). *Palmas*, 43(2), 40-51.

**PALABRAS CLAVE:** Aceite de palma, 3-MCPDE, Cloro, Diacilglicerol, Seguridad alimentaria.

**KEYWORDS:** Palm oil, 3-MCPDE, Chlorine, Diacylglycerol, Food safety.

\*Traducido del original Principal Formation and Mitigation Strategies for 3-MCPDE in Palm Oil Processing, publicado en la revista *Journal of Oil Palm and the Environment*, 12, 86-95.

Derechos de autor: @2021 Chien Lye Chew. Este es un artículo de acceso abierto que permite su uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite adecuadamente el trabajo original. Publicación de *Journal of Oil Palm and the Environment*, 12, 86-95. doi:10.5366/jope.2021.06, Publicación oficial del Consejo Malasio para el Aceite de Palma (MPOC).

**CHIEN LYE CHEW**  
Plantación Sime Darby  
chew.chienlye.mervin@  
sime-darbyplantation.com  
Autor de correspondencia

**NORLIZA SAPARIN**  
Plantación Sime Darby

## Resumen

El aceite palma es el aceite vegetal más producido y consumido en todo el mundo. Recientemente, esta industria ha recibido la atención de las autoridades de seguridad alimentaria debido a la presencia de ésteres de 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPDE) en el aceite refinado. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) propuso limitar la pre-

sencia de 3-MCPDE en 2,5 ppm en el aceite de palma a partir el año 2021. Varios estudios han demostrado que el 3-MCPDE es un contaminante de proceso, inducido por calor durante la etapa de refinación, en presencia de sus precursores, como el diacilglicerol (DAG) y el cloro en el aceite de palma. Se han realizado trabajos de investigación para mitigar la formación de 3-MCPDE. En este artículo se presenta una visión general de la formación de 3-MCPDE, las iniciativas de mitigación y las prácticas industriales para abordar el problema del 3-MCPDE.

## Abstract

Palm oil is the most produced and consumed vegetable oil worldwide. Recently, the palm oil industry has received attention from food safety authorities due to the presence of 3-monochloro-1, 2-propanediol esters (3MCPDE) in the refined oil. The European Food Safety Authority (EFSA) proposed to limit the presence of 3-MCPDE by 2.5 ppm in palm oil from year 2021 onwards. Various studies showed that the 3-MCPDE is a process contaminant induced by heat during the refining stage, in the presence of its precursors, such as diacylglycerol (DAG) and chlorine in palm oil. Research works have been conducted to mitigate 3-MCPDE formation. This paper provides an overview of the 3-MCPDE formation, mitigation initiatives and industrial practices in addressing the 3MCPDE issue.

## 1. Introducción

En 2020, la elaboración mundial de aceite comestible alcanzó los 209 millones de toneladas, con una producción de aproximadamente 75 millones de toneladas de aceite de palma<sup>1</sup>. Este es el aceite vegetal más consumido; se espera que su volumen de producción aumente debido al crecimiento demográfico y a la expansión de la economía de los países en desarrollo. El aceite de palma se utiliza principalmente para alimentos, mientras que una pequeña fracción se usa para la producción de biocombustible y oleoquímicos. Se cosechan los frutos de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) y el aceite extraído de su mesocarpio se conoce como aceite de palma crudo (APC)<sup>2</sup>. Posteriormente, el APC se puede refinar para aplicaciones alimentarias. El aceite de palma refinado puede fraccionarse en dos partes principales conocidas como oleína de palma y estearina de palma. Su aplicación en la producción de alimentos varía debido a las diferencias en las propiedades físicas y químicas<sup>3, 4</sup>. La oleína de palma se utiliza principalmente para freír y cocinar, mientras que la estearina de palma para la producción de manteca vegetal y margarina<sup>3, 5</sup>. Debido a las extensas aplicaciones en alimentos, la seguridad alimentaria del aceite de palma se convierte en un elemento vital para la industria.

**Tabla 1:** Composición general del APC

Composición	Valor
Triacilglicerol (TAG)	88-95 %
Diacilglicerol (DAG)	3-7 %
Monoacilglicerol (MAG)	< 1 %
Ácidos grasos libres (AGL)	1-5 %
Humedad	0,1-0,2 %
Impurezas sólidas	0,01-0,03 %
Tocoferoles y tocotrienoles	500-1.100 ppm
Carotenoides	400-800 ppm
Fitoesteroles	300-600 ppm
Escualeno	200-500 ppm
Fosfolípidos	3-140 ppm
Metales (cobre y hierro)	1-10 ppm
Productos de la oxidación lipídica	Trazas

**Tabla 2:** Requisito de calidad para el aceite de palma crudo en la especificación PORAM <sup>7,8</sup>.

Características	Valor
Ácido graso libre (como ácido palmítico), % máx.	5,0
Humedad e impurezas, % máx.	0,25
Índice de grado de blanqueabilidad, mínimo	2,3
*Cloro, ppm máximo.	2,0

\* Requisitos de calidad adicionales para el APC antes de enero de 2020.

En términos de estructura, el APC está compuesto principalmente por triacilglicerol (TAG), diacilglicerol (DAG), monoacilglicerol (MAG), ácidos grasos libres (AGL) y otros componentes menores (Tabla 1). Dado que el aceite de palma se utiliza principalmente para usos alimentarios, el APC producido debe cumplir con algunos parámetros de calidad. La especificación PORAM es el estándar de calidad más utilizado para el comercio de aceite de palma entre las plantas de beneficio y refinadores en Malasia (Tabla 2). En resumen, las especificaciones PORAM cubren tres parámetros principales de calidad del APC<sup>6,7</sup>:

- i. Estabilidad hidrolítica (a través del contenido de AGL).
- ii. Contenido de contaminantes (a través de la cantidad de humedad e impurezas sólidas).
- iii. Estabilidad oxidativa (a través del deterioro del índice de blanqueamiento (DOBI por sus siglas en inglés).

Últimamente, la calidad del aceite de palma producido ha recibido la atención de las autoridades de seguridad alimentaria debido a la presencia de contaminantes del proceso, tales como ésteres de 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPDE) en el aceite comestible. En 2016, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA por sus siglas en inglés) publicó un extenso informe sobre las consecuencias para la salud de este contaminante del proceso, que es un posible carcinógeno humano<sup>9,10</sup>. Algunos estudios encontraron que el aceite de palma refinado contiene la cantidad más alta de 3-MCPDE<sup>11, 12, 13</sup>. EFSA propuso fijar un límite de ingesta diaria tolerable (IDT) de 0,8 µg/kg de peso corporal para 3-MCPDE<sup>9</sup>. Por

su parte, el Comité Mixto de la FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA por sus siglas en inglés) propuso una máxima ingesta provisional tolerable diaria (MIPTD) para 3-MCPDE de 4 µg/kg de peso corporal, ya sea individualmente o en combinación con los ésteres de glicidilo<sup>14</sup>. Por lo tanto, la EFSA ha propuesto limitar la presencia de 3-MCPDE en el aceite de palma a 2,5 ppm y menos a partir del 2021<sup>15</sup>. Varios estudios han demostrado que el APC con altos niveles de AGL, DAG y la presencia de cloro promueven la formación de 3-MCPDE durante la etapa de refinado<sup>16, 17, 18</sup>. En respuesta a estos trabajos de investigación, las autoridades malasias han propuesto recientemente que el límite del contenido de cloro en APC sea inferior a 2 ppm (Tabla 1). Por otra parte, el límite de 3-MCPDE en el aceite de palma refinado debe mantenerse por debajo de 2,5 ppm para el año 2021 y 1,25 para el 2022<sup>8</sup>.

En la siguiente sección se discutirán los factores que causan la formación de 3-MCPDE. A esto le sigue la parte que discute las iniciativas tomadas para mitigar este contaminante del proceso a través de la minimización de los precursores de 3-MCPDE mediante la manipulación de las condiciones del proceso de refinado.

## 2. Formación y factores que afectan a los precursores de cloro para 3-MCPDE en aceites de palma

La formación de 3-MCPDE en aceites comestibles (incluidos los aceites de palma) se produce durante el proceso de desodorización. Esto se debe principalmente al tratamiento de los aceites a alta temperatura en presencia de cloro<sup>19,20</sup>. Destailats *et al.*<sup>13</sup> demostraron que el tratamiento térmico (235 °C) de la trioléina, mostró una mayor formación de 3-MCPDE con la adición de cloro (como el plaguicida organoclorado y el FeCl<sub>2</sub>). El mecanismo de formación de 3-MCPDE en el aceite apoyó la asociación de los TAG, DAG y MAG con cloro a través de la sustitución nucleofílica de SN<sub>2</sub> y la reacción de radicales libres<sup>12, 21</sup>. Varios estudios han presentado que niveles más altos de DAG y MAG en el aceite aumentaron la formación después de un tratamiento térmico que simulaba las condiciones de desodorización<sup>22, 23</sup>. Los análisis realizados con un aceite con solo TAG o sin acilglicerol también mostraron la formación de 3-MCPDE. Esto apoya la participación de TAG como precursor del acilglicerol para la formación de 3-MCPDE junto

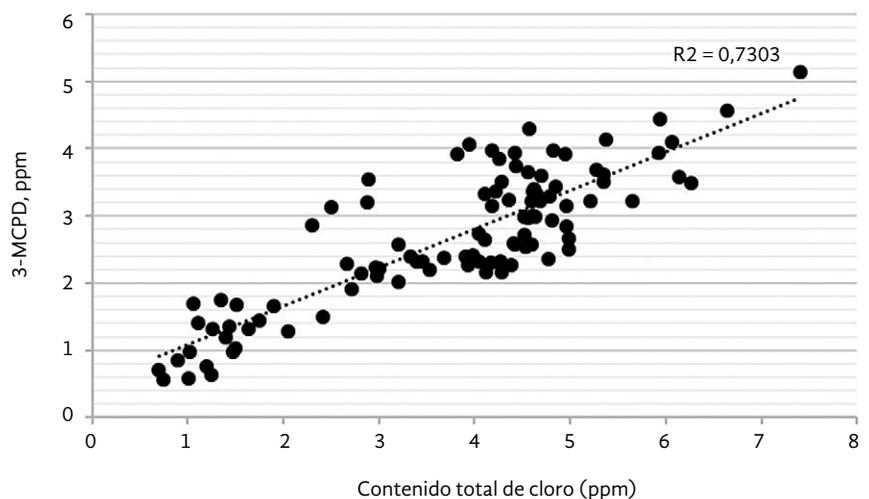
con DAG y MAG<sup>13, 24</sup>. Sin embargo, se ha informado que los acilglicerol parciales son más reactivos que el TAG para actuar como precursor del acilglicerol para la formación de 3-MCPDE, mientras que el DAG es considerado como el precursor más reactivo (entre los acilglicerol)<sup>22, 24</sup>. Dado que el APC tiene abundancia de acilglicerol (>99 %), la formación de 3-MCPDE en aceites de palma está limitada por el contenido de cloro<sup>24, 25</sup>. Este último afecta la formación de 3-MCPDE en el aceite de palma durante la etapa de refinado. El estudio muestra que el contenido total de cloro en el APC tiene una correlación directa con el 3-MCPDE en el aceite de palma refinado, con  $R^2 > 0,73$ , como se muestra en la Figura 1<sup>18</sup>. Nargry *et al.*<sup>26</sup> descubrieron que el APC tiene más de 200 compuestos orgánicos monoclorados junto con algunos inorgánicos clorados como  $FeCl_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $MgCl_2$  y  $CaCl_2$ . Los compuestos organoclorados también se identificaron como constituyentes lipídicos producidos naturalmente y mostraron potencial para liberar cloro durante la desodorización para formar 3-MCPDE<sup>18, 26</sup>. Además, se confirmó el hecho de que los compuestos organoclorados funcionan como precursores de cloro para el 3-MCPDE. Un modelo realizado por Tiong *et al.*<sup>18</sup> mostró que la adición de una mezcla de compuestos organoclorados enriquecidos produjo una mayor formación de 3-MCPDE después del tratamiento térmico.

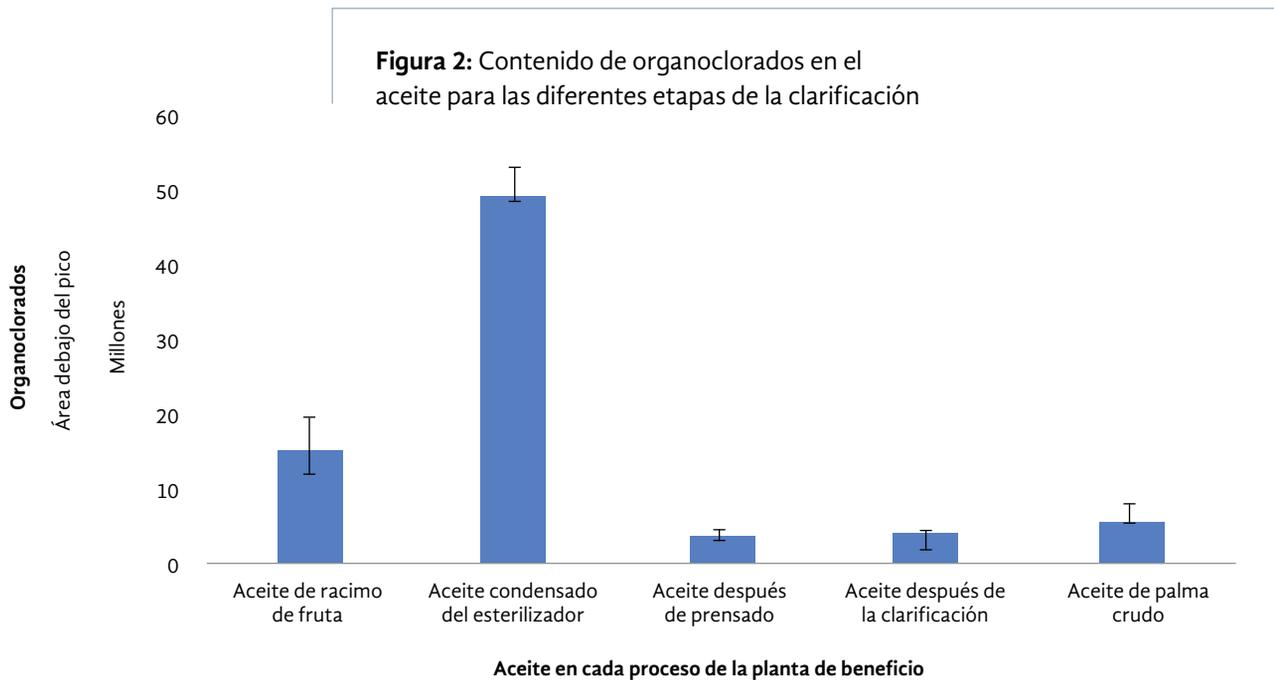
Se informó que los compuestos organoclorados se biosintetizaban en los frutos de la palma de aceite. Estos, se extrajeron junto con el APC del mesocarpio durante el procesamiento en la planta de beneficio<sup>18, 26</sup>. Durante la extracción del aceite de palma, se observó que los compuestos organoclorados se dividie-

ron y enriquecieron en ciertas fracciones de aceite, como las del condensado esterilizador (CE) y el licor de prensa tusa (LPT) (Figura 2). Normalmente, el aceite crudo extraído (conocido como aceite crudo sin diluir) después del prensado contiene una gran cantidad de impurezas. Por lo tanto, se introduce agua caliente (conocida como agua de dilución) para facilitar el proceso de clarificación del mismo. En algunas plantas de beneficio se utiliza el CE y LPT en lugar de agua caliente. Estudios muestran que el uso combinado de estos dos como agentes de dilución mostró la mayor cantidad de contenido de cloro en el APC (Figura 3)<sup>27</sup>. También cabe mencionar que el agua de dilución desempeña un papel importante en la reducción del contenido de cloro en el agua.

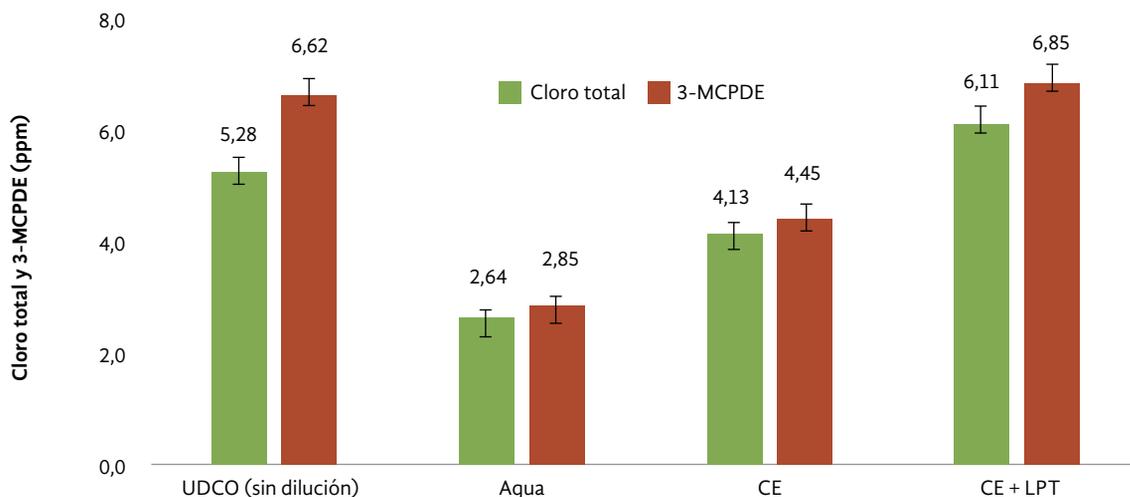
Aparte del acilglicerol y el precursor del cloro, otros factores notables que afectan la formación del 3-MCPDE incluyen el contenido de componentes menores del aceite y las condiciones de refinado. El pH del aceite afectaría la formación de 3-MCPDE como condición ácida que promovería y activaría el acilglicerol para el ataque nucleófilo del cloruro para formar 3-MCPDE<sup>12</sup>. La reducción del pH del aceite mediante la adición de carbonato de sodio y bicarbonato de sodio puede disminuir la formación de 3-MCPDE de 7 ppm a menos de 3 ppm en el estudio de aceite. Aunque los AGL no actúan como precursor directo de la formación de 3-MCPDE, sí afectan el valor del pH de los aceites. La adición de ácido láurico al 10 % reduce el pH de los mismos para producir un aumento definido pero pequeño en la formación de 3-MCPDE<sup>22</sup>.

**Figura 1:** Regresión de 3-MCPDE en aceites de palma desodorizados y blanqueados, en relación con el contenido total de cloro en APC<sup>18</sup>





**Figura 3:** Cloro total en APC y contenido de 3-MCPDE en aceite refinado para varios tipos de agentes de dilución comúnmente utilizados en la planta de beneficio<sup>27</sup>



La existencia de cloro durante el refinado posiblemente se originó a partir de la adición de materiales o productos químicos. Se ha informado que la arcilla blanqueadora y el agua contienen entre 60 y 152 ppm de contenido total de cloro<sup>28</sup>. El cloro en la arcilla blanqueadora fue contribuido por la activación ácida utilizando HCl. Por lo tanto, los fabricantes están

proporcionando arcilla blanqueadora con bajo contenido de cloro a través de la activación ácida usando ácido no clorado. La tierra blanqueadora, ya sea natural o activada por ácido, que no contiene cloro ayudaría a reducir la formación de 3-MCPDE. Además, el ácido utilizado para el desgomado del APC también puede contener un nivel mínimo de cloro.

Sin embargo, el contenido de cloro en ácido utilizado para desgomar es insignificante porque es inferior al 20 % el cloro total en el APC (rango de 8-29 ppm)<sup>28</sup>. Además, la cantidad de ácido utilizada para desgomar es relativamente pequeña. Los APC se refinaron mediante un enfoque físico que no tiene contacto directo con el agua, excepto por el aceite refinado con químicos. Por lo tanto, la contaminación cruzada con cloro proveniente del agua no es una preocupación importante. Sin embargo, se reportó que la exposición del APC al agua, como durante el desgomado con agua, es beneficiosa para reducir la formación de 3-MCPDE<sup>29, 30</sup>. En consecuencia, es importante entender los precursores y los factores que afectan a la formación de 3-MCPDE para que la industria de la palma de aceite elabore una estrategia eficaz de mitigación, y de intervención para asegurar que el 3-MCPDE, en los productos de aceite de palma para el consumo de alimentos no exponga a los consumidores a un nivel superior a la MIPTD establecida por los organismos reguladores de seguridad alimentaria y salud.

### 3. Estrategias de mitigación

Factores externos como el suelo, el riego y el control de plagas tienen diferentes impactos en el contenido de cloruro de la palma de aceite. Otros factores, como las técnicas de recolección, manipulación y transporte, también son fuentes potenciales de contaminación por cloruro en los racimos de fruta fresca (RFF) y en el APC. Durante la cosecha y la evacuación, algunas impurezas sólidas que se unen a los RFF se procesan juntas para producir el APC. Estas impurezas sólidas consisten en materiales y suelos predominantemente fibrosos y son la fuente del cloro. En consecuencia, el cloro se transmite al APC durante el procesamiento. Dado que se conoce la fuente potencial de contaminación por cloro, la reducción de esta ayuda a disminuir la concentración de cloruro en el APC y, posteriormente, a mitigar el 3-MCPDE. Sin embargo, el esfuerzo de reducción más significativo es la mitigación realizada en el precursor del aceite, se espera que el descenso de las fuentes de cloro en la materia prima reduzca aún más la contaminación. Por lo tanto, la limpieza de los frutos de palma (con agua) antes de la extracción es el primer paso crucial para minimizar el arrastre de las fuentes de cloro. Los resultados indican una reducción significativa de su contenido en el APC producido a partir de los frutos de palma lavados, lo que posteriormente reduce el 3-MCPDE del aceite refinado. Se informó que los sistemas de

limpieza de los racimos de fruta y los frutos de la palma desarrollados por Sime Darby Plantation en 2018 produjeron APC con un contenido de cloro tan bajo como 0,5 ppm<sup>31, 32</sup>.

Además, los aceites de CE y LPT tienen alto contenido de cloro. La mezcla de estos, con el APC durante la dilución (agua) aumentará eventualmente su contenido de cloro.<sup>27</sup> Para mitigar dichos problemas, se ha propuesto la segregación de estos dos flujos de la producción primaria de APC (como aceites de recuperación no APC). En resumen, el sistema recupera los aceites CE y LPT con el separador de lodos en una línea de procesamiento independiente para aplicaciones no alimentarias. Con la implementación de este sistema, se registró una reducción de aproximadamente el 30 % de cloro y 3-MCPDE para APC y su aceite refinado, respectivamente. Cabe señalar que este sistema también mejora la calidad general del APC, especialmente respecto a sus contaminantes y las estabilidades hidrolíticas y oxidativas.<sup>33</sup>

En la discusión anterior, la formación de 3-MCPDE requiere una fuente de cloro que puede dissociarse fácilmente para crear los iones de cloruro necesarios. Por lo tanto, es necesario incluir un proceso que disminuya la concentración de cloro para evitar la formación de 3-MCPDE durante el proceso de refinado. *Destailats et al.*<sup>13</sup> informaron que los compuestos clorados en el material vegetal son de naturaleza polar. Por lo tanto, es posible eliminarlo eficazmente del material de la planta utilizando la extracción líquido-líquido con una solución de solvente polar. Dado este resultado positivo, Sime Darby Plantation realizó ensayos de verificación con lavado de agua y el resultado mostró que la concentración de cloro total en APC lavado fue 50 % menor que el APC sin lavar (no publicado). Por otra parte, el 3-MCPDE en AP RBD obtenido del APC lavado mostró una reducción de 53 % en comparación con el aceite no lavado (Tabla 3).

Otro posible enfoque de mitigación que vale la pena considerar es la decloración del APC antes del refinado. Este proceso de pretratamiento utiliza metabisulfito de sodio (MBS) como agente de decloración. El MBS se mezcla con APC caliente y, posteriormente, se filtra para eliminar el MBS gastado. Como resultado, el APC declorado tiene un contenido de cloro inferior a 2 ppm<sup>34</sup>. Tanto los agentes de lavado como los de decloración de agua son eficaces para reducir el compuesto clorado inorgánico soluble en agua del APC. Sin embargo, el desafío restante es eliminar los compuestos clorados solubles en aceite.

**Tabla 3:** Efecto del lavado de APC sobre el contenido de cloro y 3-MCPDE sobre su aceite refinado. Los resultados representan la media  $\pm$  y la desviación estándar del valor medio ( $n = 3$ ).

Alimentación de refinería	Muestra	Cloro, ppm	Éster 3-MCPDE, ppm
A	Control	5,17 $\pm$ 0,57	4,34 $\pm$ 0,13
	Lavado	2,58 $\pm$ 0,39	2,03 $\pm$ 0,11
B	Control	3,55 $\pm$ 0,24	2,60 $\pm$ 0,09
	Lavado	1,78 $\pm$ 0,12	1,26 $\pm$ 0,15

Si bien la mayoría de los esfuerzos de mitigación se centraron en la reducción del cloro, no hay énfasis en otros factores que contribuyan a la formación de 3-MCPDE. Por lo tanto, los autores sugirieron extender los esfuerzos de mitigación a la reducción de AGL, DAG y MAG. Esta podría realizarse mejorando las técnicas de recolección y procesamiento para reducir la reacción de hidrólisis que produce AGL, DAG y MAG en el APC. Eventualmente, la reducción de estos compuestos podría disminuir la formación de 3-MCPDE durante el refinado. Dicha estrategia de mitigación ha sido revisada recientemente por Chew *et al.* (2021)<sup>35</sup>.

Otra estrategia de mitigación importante es la prevención de la formación de 3-MCPDE en refinación. Algunos investigadores han sugerido el uso de desgomado con agua como un proceso de lavado alternativo en el refinado del aceite<sup>36, 37, 38</sup>. En esta etapa, los precursores polares que contienen cloro del 3-MCPDE pueden removerse del aceite. Sin embargo, el desgomado con agua es menos efectivo en la reducción de fosfátidos, hierro y color en comparación con el procedimiento estándar de desgomado ácido del APC.

Curiosamente, una mayor cantidad de uso de agua (1-5 %) durante el desgomado con agua podría eliminar aún más las impurezas y lograr la especificación de color rojo de menos de 3,0<sup>38</sup>. Además, se sugerirían las arcillas naturales como un medio alternativo a la arcilla de blanqueo activada por ácido, debido a su pH neutro que no promueve la formación de 3-MCPDE. Sin embargo, las arcillas naturales suelen tener una superficie más baja que podría afectar la calidad del aceite refinado, ya que la capacidad adsorbente de los minerales depende de la distribución del tamaño de las partículas, la porosidad y la acidez

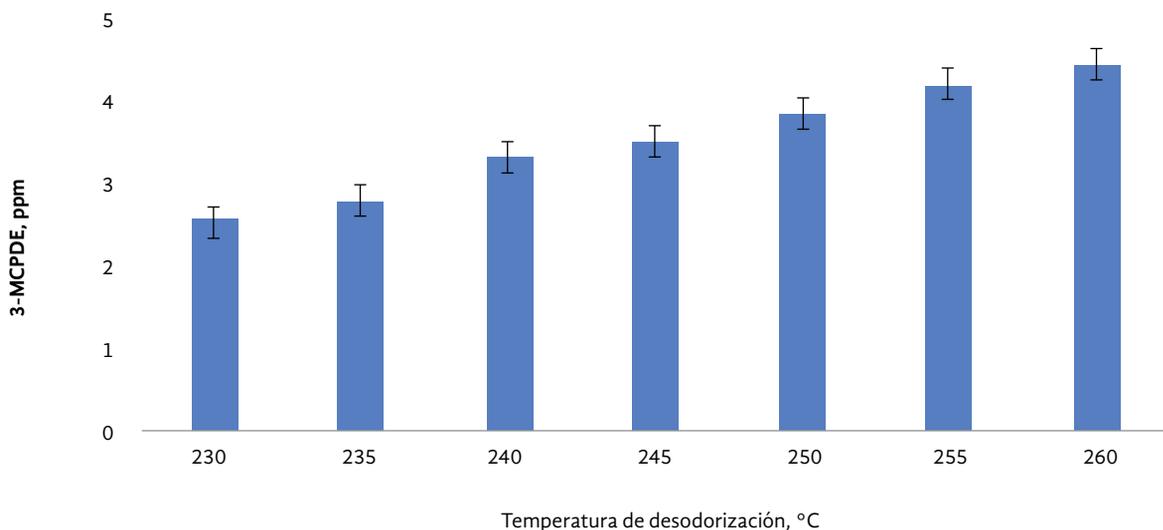
de la superficie. Además, se propusieron trabajos de investigación sobre el uso de silicato de magnesio como arcilla blanqueadora, lo que muestra una reducción significativa de 3-MCPDE en comparación con la arcilla activada y natural, especialmente con el desgomado con agua<sup>37</sup>.

La desodorización es el factor crítico para la formación de 3-MCPDE. Cabe aclarar que este es un proceso dependiente de la temperatura. La desodorización a altas temperaturas puede provocar reacciones de cloruros en aceites con acilgliceroles.

Se realizó un estudio que demostró que la formación de 3-MCPDE está directamente correlacionada con la temperatura de desodorización. En este, se sometió el APC (con un contenido de AGL del 4,2 % y 4,75 ppm de cloro) a temperaturas de desodorización de 230 °C y 260 °C durante 90 minutos. Como se esperaba, se observaron las cantidades más altas de 3-MCPDE en las muestras desodorizadas a 260 °C (Figura 4).

En la Figura 5 se resumen las diversas opciones de mitigación posibles para disminuir el problema del 3-MCPDE en toda la cadena de suministro del aceite de palma. La iniciativa debe comenzar en el sector *upstream*, donde el cultivo de palma de aceite puede mejorar la calidad de las plantas reduciendo sus fuentes de cloro. Como mitigación posterior, puede producirse APC de alta calidad con bajo contenido de DAG y cloruro a través de la mejora del proceso de la planta de beneficio. Por último, la reducción de la formación de 3-MCPDE puede lograrse mediante la mejora de las condiciones de refinado. Con todos los esfuerzos combinados, se puede abordar la cuestión del 3-MCPDE en la industria del aceite de palma.

**Figura 4:** Efecto de la temperatura de desodorización sobre la formación de 3-MCPDE. Los resultados representan los valores medios y las barras de error indican la desviación estándar de la media (n = 3).



**Figura 5:** Propuestas de estrategias de mitigación para la reducción de 3-MCPDE en la cadena de suministro de aceite de palma



## 4. Conclusión

El procesamiento del aceite de palma comienza en la plantación de palma de aceite, donde se cosechan sus frutos. Estos son entregados a las plantas de beneficio para la extracción del aceite antes de ser convertido en aceite de palma comestible o refinado. Los estudios muestran que la presencia de los precursores de 3-MCPDE, como el contenido de DAG y cloro en el

APC, promueven la formación de 3-MCPDE durante la etapa de refinado (debido a la inducción de calor). La integración de las estrategias de mitigación en el procesamiento del aceite de palma podría ser un enfoque prometedor para abordar el problema del 3-MCPDE. Se propone que estas se inicien en las plantaciones y plantas de beneficio, abordando los precursores del 3-MCPDE, particularmente las fuentes de cloro y de formación de DAG. El enfoque es se-

guido por la mejora de la condición del proceso en la refinería, centrándose en minimizar la formación de 3-MCPDE. A través de la extensa investigación sobre este tema, se han descubierto los principios de for-

mación, sus factores y precursores. Estos hallazgos conducen a varias estrategias de mitigación posibles, y al combinar todos estos esfuerzos, se puede abordar la cuestión de los contaminantes del proceso.

---

## Referencias

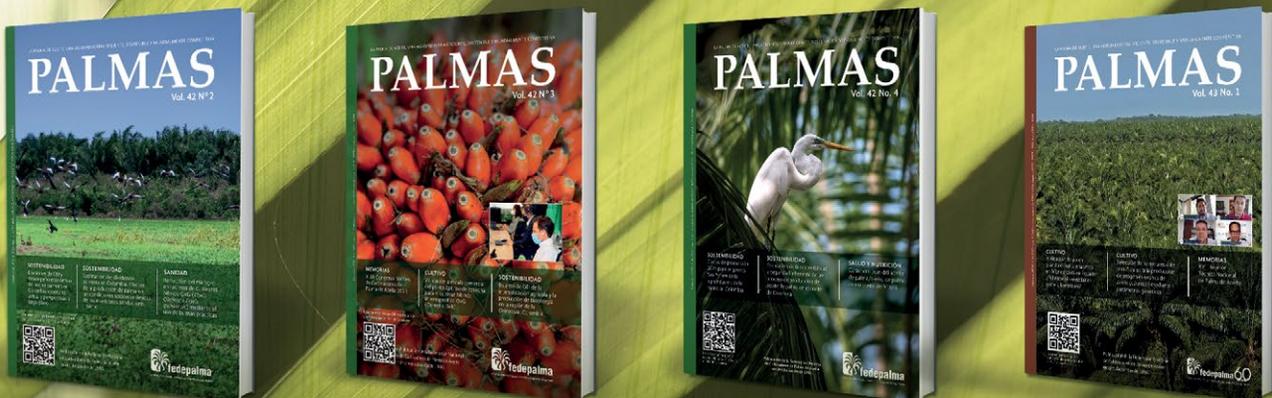
1. Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). (2021). Oilseeds: World Markets and Trade. Recuperado de [https:// apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf](https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf) (consultado el 25 de marzo de 2021).
2. Sundram, K., Sambanthamurthi, R. & Tan, Y. -A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12, 355-362.
3. Aila, N. & Lida N. (2018) 'Usage of Palm Oil, Palm Kernel Oil and their Fractions as Confectionery Fats', *Journal of Oil Palm Research*. 29(3). pp. 301-310 <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.2903.01>
4. Mancini, A. *et al.* (2015). 'Biological and Nutritional Properties of Palm Oil and Palmitic Acid: Effects on Health', pp. 17339-17361. <https://doi.org/10.3390/molecules200917339>.
5. DeMan, J. (2000). 'Use of Palm Stearin as a Component of Interesterified Blends', *SCI lecture papers series*, pp. 1-2. Recuperado de <https://www.soci.org/-/media/Files/Lecture-Series/pb86.ashx?la=en> (consultado el 22 de diciembre 2019).
6. Chong, C. L. (2012). Measurement and Maintenance of Palm Oil Quality. En O. -M. Lai, C. -P. Tan, & C. C. Akoh (Eds.), *Palm Oil*, (pp. 431-470). Urbana: AOCS Press.
7. PORAM. PORAM Standard Specifications for Processed Palm Oil. (2000). Recuperado de <http://poram.org.my/p/wp-content/uploads/2013/12/1.-PORAM-Standard-Specification.pdf> (consultado el 29 de noviembre de 2019).
8. MPOB, Malaysian Palm Oil Board Licensing and Enforcement Division. (2019). Enforcement of additional licencing conditions imposed on licensees of palm oil mill (mf), palm oil refinery (rf), palm oil products exporter (px) and palm oil products importer (pm) categories: food safety & good quality palm oil. Enforcement Circular (Licensing) MPOB, Pk (EL) MPOB 01/2019, 1-4.
9. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Risks for human health related to the presence of 3-and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *Efsa Journal*, 14(5), p.e04426. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426> (consultado el 22 de diciembre de 2019).
10. International Agency for Research on Cancer. (1997). IARC working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans: silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Recuperado de <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol68/mono68.pdf>. (consultado el 25 de diciembre de 2019).

11. Destailats, F., Craft, B. D., Dubois, M. & Nagy, K.. (2012). Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part I: Formation mechanism. Food Chemistry, 131(4), pp.1391-1398. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.006>
12. Rahn A. K. K., Yaylayan V. A. (2011). 'What do we know about the molecular mechanism of 3-MCPD ester formation', Eur. J. Lipid Sci. Technol., 113, 323-329. <https://doi.org/10.1002/ejlt.20100031>
13. Destailats, F., Craft, B. D., Sandoz, L. & Nagy, K. (2012). Formation mechanisms of monochloropropanediol (MCPD) fatty acid diesters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Food Additives & Contaminants: Part A, 29(1), pp.29-37.
14. JECFA. (2002). '3-Chloro-1,2-propane- diol. En Safety evaluation of certain food additives and contaminants', Prepared by the fiftyseventh meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO Food Additives Series 48. Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v48je18.htm> (consultado el 25 de diciembre de 2019).
15. European Food Safety Authority (EFSA). (2008). Statement of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain (CONTAM) on a request from the European Commission related to 3-MCPD esters. EFSA Journal, 6, 1048. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.1048>
16. Craft, B. D., Nagy, K., Seefelder, W., Dubois, M. & Destailats, F. (2012). Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part II: Practical recommendations for effective mitigation. Food Chemistry, 132, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.034>
17. Šmidrkal, J., Tesařová, M., Hrádková, I., Berčíková, M., Adamčíková, A. & Filip, V. (2016). Mechanism of formation of 3- chloropropan-1,2-diol(3-MCPD) esters under conditions of the vegetable oil refining. Food Chemistry, 211, 124-129. <https://doi.org/10.2903/j.foodchem.2016.05.039>
18. Tiong, S. H., Saporin, N., The, H. F., Ng, T. L. M., Md Zain, M. Z. b., Neoh, B. K., Md Noor, A., Tan, C. P., Lai, O. M. & Appleton, D. R. (2018). Natural Organochlorines as Precursors of 3- Monochloropropanediol Esters in Vegetable Oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66, 999-1007. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04995>
19. Weißhaar, R. (2008). 3-MCPD-esters in edible fats and oils-a new and worldwide problem. European journal of lipid science and technology, 110(8), 671-672.
20. Hrnčirik, K. & van Duijn, G. (2011). An initial study on the formation of 3-MCPD esters during oil refining. European Journal of Lipid Science and Technology, 113(3), 374-379.
21. Zhang, X., Gao, B., Qin, F., Shi, H., Jiang, Y., Xu, X. & Yu, L. (2013). Free radical mediated formation of 3-monochloropropanediol (3-MCPD) fatty acid diesters. Journal of agricultural and food chemistry, 61(10), 2548-2555.
22. Freudenstein, A., Weking, J. & Matthäus, B. (2013). Influence of precursors on the formation of 3-MCPD and glycidyl esters in a model oil under simulated deodorisation conditions. European Journal of Lipid Science and Technology, 115(3), 286-294.

23. Shimizu, M., Vosmann, K. & Matthäus, B. (2012). Generation of 3-monochloro-1, 2-propanediol and related materials from tri-, di-, and monoolein at deodorisation temperature. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(11), 1268-1273.
24. Ermacora, A. & Hrnčirik, K. (2014). Influence of oil composition on the formation of fatty acid esters of 2-chloropropane-1, 3-diol (2-MCPD) and 3- chloropropane-1, 2-diol (3-MCPD) under conditions simulating oil refining. *Food chemistry*, 161, 383-389.
25. Che Man, Y. B., Haryati, T., Ghazali, H. M. & Asbi, B. A. (1999). Composition and thermal profile of crude palm oil and its products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(2), 237-242.
26. Nagy, K., Sandoz, L., Craft, B. D. & Destailats, F. (2011). Mass-defect filtering of isotope signatures to reveal the source of chlorinated palm oil contaminants. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(11), 1492-1500.
27. Chew, C. L., S. Hilmi S. M. H., Saparin N., M. Hassan N. S., M. Siran Y., Asis A. J., Chan E. S., Tang S. Y. (2018). Effect of Steriliser Condensate and Empty Fruit Bunch's Liquor Restreaming on the Physicochemical Properties and Stability of Palm Oil. *Monash Science Symposium 2018, Monash University Malaysia*, 21-23 November, 2018.
28. MPOB: 4th Asia-Pacific International Food Safety Conference & 7th Asian Conference on Food and Nutrition safety, October 11-13 (2016). Penang, Malaysia.
29. Pudel, F., Benecke, P., Fehling, P., Freudenstein, A., Matthäus, B. & Schwaf, (2011). On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters. *European journal of lipid science and technology*, 113(3), 368- 373. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000460>
30. Matthäus, B., Pudel, F., Fehling, P., Vosmann, K. & Freudenstein, A. (2011). Strategies for the reduction of 3-MCPD esters and related compounds in vegetable oils. *European journal of lipid science and technology*, 113(3), 380-386.
31. Syed Hilmi, S. M. H., Othman, N. H., Saparin, N., Jahaya, S. S., Md Noor, A., Asis, A. J. (2018). Process for producing a refined palm fruit oil having a reduced 3- mcpd content. WO2019027315. Recuperado de <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019027315> (consultado el 5 de febrero de 2020).
32. Mat Hassan, N. S., Chew, C. L., Mohd Tahir, Z., Md Zain, A. B., Asis, A. J., Mohd Siran, Y., Wok, K., Mohammed Yunus, M. F., Jahaya, S. S., Md Rejab, S. A., Mustaner, M., Syed Hilmi, S. M. H. (2018). An integrated oil extractor apparatus for sterilising, digesting and pressing oil palm loose fruitlets. WO2019216757. Recuperado de <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019216757> (consultado el 5 de febrero de 2020).
33. Rahmat, N., Syed Mohd Hadi S. H., Norliza, S., Syahril Anuar, M. R., Yosri, M. S., Mohammed Faisal, M. Y.; Ahmadilfitri, M. N. & Ahmad Jaril, A. (2019). Production of High Quality Crude Palm Oil (CPO) and Low 3-MCPD Ester RBD Palm Oil. *Palm Oil Engineering Bulletin*, No. 131, 24-28.
34. Spaparin N., Krishnan A. & Md Noor A. (2018). Process for producing a refined vegetable oil. WO2018182396A1. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/WO2018182396A1/en> (consultado el 5 de febrero de 2020).

35. Chew, C. L., Low, L. E., Chia, W. Y., Chew, K. W., Liew, Z. K., Chan, E. S., Chan, Y. J., Kong, P. S. & Show, P. L. (2021). Prospects of palm fruit extraction technology: Palm oil recovery processes and quality enhancement. *Food Reviews International*.
36. Ramli, M. R., Siew, W. L., Ibrahim, N. A., Hussein, R., Kuntom, A., Abd. Razak, R. A. & Nesaretam, K. (2011). Effects of degumming and bleaching on 3-MCPD esters formation during physical refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(11), 1839-1844. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1858-0>.
37. Zulkurnain, M., Lai, O. M., Latip, R. A., Nehdi, I. A., Ling, T. C. & Tan, C. P. (2012). The effects of physical refining on the formation of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters in relation to palm oil minor components. *Food Chemistry*, 135(2), 799-805. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.144>.
38. Zulkurnain, M., Lai, O. M., Tan, S. C., Abdul Latip, R. & Tan, C. P. (2013). Optimisation of palm oil physical refining process for reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) ester formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(13), 3341-3349. <https://doi.org/10.1021/jf4009185>

# Paute con nosotros



**Comercialización**

**Jairo Almonacid Guerrero**  
 jalmonacid@fedepalma.org  
 Celular: 317 573 1521

# Código de prácticas para la reducción de ésteres de 3-MCPD y ésteres de glicidilo por Codex: ¿Estamos listos para adoptarlo?\*

Code of Practice for Reduction of 3-MCPD Esters and Glycidyl Esters by Codex: Are We Ready to Adopt?

**CITACIÓN:** Nuzul Amri Ibrahim, Che Rahmat Che Mat, Mohd Shahrin Rahami, Mohd Zulhili Wan Salleh & Muhamad Roddy Ramli. (2022). Código de prácticas para la reducción de ésteres de 3-MCPD y ésteres de glicidilo por Codex: ¿Estamos listos para adoptarlo? (Traductor Arenas C.). *Palmas*, 43(2), 52-58.

**PALABRAS CLAVE:** Codex Alimentarius, 3-MCPD, Ésteres de glicidilo, Malasia.

**KEYWORDS:** Codex Alimentarius, 3-MCPD, Glycidyl esters, Malaysia.

\* Traducido del original Code of Practice for Reduction of 3-MCPD Esters and Glycidyl Esters by Codex: Are We Ready to Adopt? De Palm Oil Engineering Bulletin 136, (January-April 2021), 15-19. Recuperado de <http://pob.mpo.gov.my/code-of-practice-for-reduction-of-3-mcpd-esters-and-glycidyl-esters-by-codex-are-we-ready-to-adopt/>

Derechos de autor: El material de esta publicación se puede usar o reproducir libremente, siempre que la fuente de información se registre con precisión y se haga el reconocimiento a la Junta de Aceite de Palma de Malasia. Esta publicación en línea es compilada electrónicamente por Palm Information Centre, Malaysian Palm Oil Board (MPOB).

## **NUZUL AMRI IBRAHIM**

Consejo Malasio sobre el Aceite de Palma (MPOB\*\*)

## **CHE RAHMA**

Consejo Malasio sobre el Aceite de Palma (MPOB\*\*)

## **CHE MAT**

Consejo Malasio sobre el Aceite de Palma (MPOB\*\*)

## **MOHD SHAHRIN RAHAMI**

Consejo Malasio sobre el Aceite de Palma (MPOB\*\*)

## **MOHD ZULHILMI WAN SALLEH**

Consejo Malasio sobre el Aceite de Palma (MPOB\*\*)

## **MUHAMAD RODDY RAMLI**

Consejo Malasio sobre el Aceite de Palma (MPOB\*\*)

\*\*Por sus siglas en inglés.

## Introducción

Los ésteres de 3-monocloropropanediol (3-MCPDE) y los ésteres de glicidilo (EG) son contaminantes alimentarios procesados que se forman cuando el aceite vegetal se calienta a 180 °C (Hrncirik y van Duijin, 2011). Los precursores son cloro o cloruro para el primero y diacilglicerol para el segundo (Destailats,

2012a y 2012b). Cuando se consume, el 3-MCPDE se hidroliza en 3-MCPD, mientras que el EG se hidroliza en glicidol en el tracto intestinal (JECFA, 2016). Se ha informado de que ambos productos hidrolizados son potencialmente cancerígenos para los seres humanos (monografías IARC, 2000 y 2012). Un estudio de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2018) concluyó que el 3-MCPDE podría in-

ducir una reducción de la mortalidad espermática e hiperplasia tubular renal.

El Codex Alimentarius (Codex) o Código de Alimentos es una colección de normas, directrices y códigos de prácticas reconocidos internacionalmente y adoptados por la Comisión del Codex Alimentarius (FAO, 2020). La Organización Mundial del Comercio reconoce al Codex Alimentarius como punto de referencia internacional para la solución de controversias relativas a la inocuidad de los alimentos y la protección del consumidor. Debido a los efectos nocivos del 3-MCPDE y del EG, el Codex ha establecido un código de prácticas (CdP) para reducir la formación de contaminantes en aceites refinados, que es aplicable a todos los aceites y grasas (Codex, 2019). Las recomendaciones se muestran en las Tablas 1 y 2. El CdP cubre tres estrategias, a saber, buenas prácticas agrícolas, buenas prácticas de manufactura y selección y usos de aceites refinados en productos alimenticios.

Los sectores cubiertos por las prácticas agrícolas son el cultivo, la recolección, el transporte y el almacenamiento. El ámbito de aplicación de las buenas prácticas de fabricación se divide en dos categorías: el prensado y el refinado. Los procesos de prensado son la esterilización y la extracción de aceite, mientras que para el refinado son el desgomado, la neutralización, el blanqueo y la desodorización.

Aunque el Codex no ha implementado ningún nivel permisible de 3-MCPDE y EG en aceites y grasas, la industria debe ser proactiva adoptando los procedimientos necesarios para reducir el nivel de estos contaminantes en el aceite de palma refinado. Una vez que se aplique el nivel máximo, este será aceptado globalmente, ya que el Codex es reconocido internacionalmente. El CdP desarrollado por el Codex es una directriz para que los actores de la industria aborden estas cuestiones. En este artículo se analizan

solo las prácticas que son relevantes para las industrias de palma de aceite y aceite de palma.

El Consejo Malasio sobre el Aceite de Palma (MPOB por sus siglas en inglés) había lanzado un plan de certificación voluntaria conocido como código de buenas prácticas para toda la cadena de suministro de la industria del aceite de palma, a saber, viveros, fincas, plantas de beneficio de aceite de palma, trituradoras de almendras, refinerías e instalaciones de acopio. Los participantes fueron auditados sobre la base de los requisitos del sistema y se les otorgaron los certificados pertinentes si se cumplían todos los requisitos. La información contenida en este artículo está basada en la observación general durante los ejercicios de auditoría de fincas, plantas de beneficio de aceite de palma y refinerías.

## Buenas prácticas agrícolas

La Tabla 1 contiene una directriz para el sector agrícola en lo que respecta a la formación de los dos contaminantes. Las medidas de mitigación recomendadas comenzaron con prácticas para dicho sector porque este es el punto de partida para la industria de la palma de aceite. Como primer paso, se sugirió sembrar palma de aceite con baja actividad de lipasa, si esto es posible. Lamentablemente, este material de plantación de palma de aceite todavía no está disponible porque esta cuestión es relativamente nueva para la industria. La producción de tal plántula podría tomar varios años. Todo esto, mientras los mejoradores se han concentrado en la producción de materiales de plantación que podrían dar alto rendimiento, palmas enanas y resistentes al ataque de ganoderma, tales como, GenomeSelect (Sime Darby, 2020), PS 1 (Kushairi *et al.*, 1999) y YangambiGT1 (FGV, 2020), respectivamente. Por lo tanto, esta opción no es posible en un futuro próximo.

**Tabla 1.** Posibles medidas de mitigación para reducir el 3-MCPDE y el GE en la agricultura.

Sector	Medidas de mitigación
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar variedades de plantas de palma de aceite con baja actividad de lipasa, si está disponible.</li> <li>• Minimizar el uso de sustancias como fertilizantes, plaguicidas y agua de riego que contengan una cantidad excesiva de compuestos que tienen cloro durante el cultivo de plantas/palmas oleaginosas.</li> <li>• Cosechar los frutos de la palma de aceite cuando estén a una madurez óptima. Minimizar el manejo de los frutos. Evitar el uso de los dañados o excesivamente maduros.</li> <li>• Transportar los frutos a las plantas de beneficio lo antes posible.</li> </ul>

Fuente: Codex Alimentarius, CXC 79-2019.

El resto de las recomendaciones sobre buenas prácticas agrícolas están siendo implementadas por los agricultores. Todas las plantaciones han adoptado una técnica integrada de manejo de plagas mediante la siembra de plantas beneficiosas como *Cassia cobanensis* y *Turnera subulata* (Figura 1). Los depredadores son atraídos a las flores de las plantas por el néctar y se convierten en un agente biológico en el control de la población de orugas de saquito (Norman *et al.*, 1996). Algunas plantaciones utilizan búho de granero (*Tyto alba*) (Figura 2) para controlar la población de ratas en lugar de plaguicidas con base química y combinar la aplicación de fertilizantes químicos con compost, lo que reduciría el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos, respectivamente. Estas prácticas minimizarían la aplicación de sustancias que contienen cloro durante el cultivo.

Los recolectores están entrenados y constantemente se les recuerda que cosechen solamente racimos de fruta fresca (RFF) de madurez óptima para evitar ser penalizados por las plantas de beneficio de aceite de palma al entregar racimos inmaduros o insuficientemente maduros. Todos los RFF deben ofrecerse a las plantas de beneficio de aceite de palma dentro de 24 horas y deben ser clasificados por un evaluador cualificado según el Manual de Clasificación del MPOB (MPOB, 2015), para garantizar que la planta de beneficio procese únicamente frutos de buena calidad. La entrega de los RFF no debe retrasarse para reducir al mínimo la formación de ácidos grasos libres (AGL). La liberación de AGL por hidrólisis del glicerol llevó a un aumento del diacilglicerol (DAG), precursor de la formación de EG. Por lo tanto, suprimir la formación de AGL minimizaría inadvertidamente el nivel de DAG.

**Figura 1.** Plantas beneficiosas: A. *Cassia cobanensis* y B. *Turnera subulata*



A.

B.

**Figura 2.** Búho de granero (*Tyto alba*).



Muchas plantaciones han dejado de usar una rampa intermedia para recolectar RFF con el fin de minimizar la manipulación del fruto. Como alternativa, se cargan en grandes contenedores de acero y se transportan a las plantas de beneficio de aceite de palma. La eliminación de las rampas intermedias en las plantaciones causa menos manipulación de los RFF, minimizando así las magulladuras de los frutos y, en consecuencia, reduciendo la formación de AGL que suprime inadvertidamente la formación de DAG. La lipasa aceleraría la hidrólisis, especialmente en la fruta magullada (Swoboda, 1980). La entrega rápida de RFF sin daños a las plantas de beneficio controlaría la formación de AGL y, por consiguiente, mantendría al DAG al nivel más bajo posible.

## Buenas prácticas de fabricación

### Prensado

Los RFF se llevan a las plantas de beneficio de aceite de palma para la extracción de aceite mediante un proceso mecánico. Los procesos implicados son la esterilización, pelado, digestión, extracción de aceite, cribado, clarificación, purificación y secado al vacío. Durante la esterilización, se suministra vapor a una temperatura de alrededor de 130 °C para desactivar la lipasa y aflojar las frutas de las espigas. Este proceso genera un condensado esterilizador que contiene una pequeña cantidad de aceite que normalmente se recupera y se vuelve a colocar en la línea de producción junto con un licor de racimo de fruta vacío como diluyente. Esta práctica afectaría negativamen-

te la calidad del aceite de palma crudo (APC), ya que el condensado contiene una gran cantidad de cloruro (Rahmat *et al.*, 2019). A fin de cumplir con las directrices del Codex mencionadas en la Tabla 2, los aceites recuperados y otros aceites residuales deben venderse por separado como aceite de grado industrial. Los AGL, DOBI, la humedad y las impurezas se controlan regularmente, ya que forman parte del contrato de venta. Con los problemas emergentes de 3-MCPDE y EG, lo más probable es que, en el futuro, se incluyan los contenidos de cloruro y DAG como parte del parámetro de calidad.

Varios ensayos de lavado de APC con agua municipal realizados por el MPOB lograron reducir el nivel de cloruro total en el aceite lavado. Esto ha dado lugar a ensayos de lavado a escala industrial en los que el cloruro total se redujo con éxito de 10 a menos de 1 mg kg<sup>-1</sup>. No es necesario utilizar agua sin cloro como recomienda el Codex, ya que el lavado con agua clorada ha demostrado ser una medida de control eficaz para reducir el contenido total de cloruro, que es un precursor de la formación de 3-MCPDE. La Figura 3 muestra un flujo típico del proceso de lavado de APC.

## Refinado

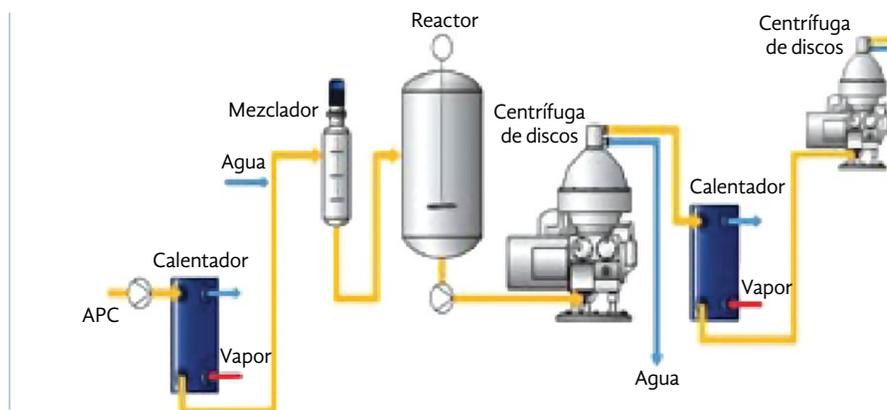
El APC entregado a las refinerías será analizado para determinar el contenido de AGL y DOBI en el momento de su recepción para asegurar la conformidad con el contrato y también para establecer la condición de refinado. La cantidad de ácido fosfórico para el desgomado osciló entre 0,05 % y 0,2 %, mientras que la tierra de blanqueo osciló entre 0,8 % y 2,0 % de la cantidad de APC (Basiron, 2005). La calidad de este determinaría la dosis aplicada, pues el aceite de buena calidad requiere una cantidad más baja de

ácido y de tierra blanqueadora. El aceite de entrada también podría ser primero desgomado con agua, seguido de ácido para eliminar los fosfátidos hidratables y no hidratables, respectivamente. Esta técnica de desgomado requeriría una dosis de ácido más baja y haría que el proceso fuera menos ácido, como se recomienda en la Tabla 2.

La segunda etapa de la refinación es el blanqueo, donde las impurezas y el ácido se eliminan del aceite de entrada mediante tierra de blanqueo. La arcilla activada con ácido se usa comúnmente para blanquear porque tiene una mejor eficiencia de absorción en comparación con la arcilla natural. Se recomendó utilizar una mayor cantidad de tierra blanqueadora con pH neutro. Sin embargo, esto llevará a una mayor pérdida de aceite que los refinadores tienen que soportar para producir aceite de palma refinado, blanqueado y desodorizado (AP RBD) con un contenido bajo de 3-MCPDE y EG. La arcilla neutra solo puede utilizarse en APC de calidad excepcionalmente buena, es decir, con AGL muy bajos y DOBI altos.

Se ha informado que las temperaturas extremas influyen en la formación de 3-MCPDE y EG. La temperatura de desodorización para el refinado físico está dentro del rango de 260 °C a 270 °C. Por lo tanto, esta tiene que ser bajada para reducir el nivel de los contaminantes siempre que el desodorizador tenga un vacío muy fuerte y lo más probable es que el tiempo de residencia tenga que ser prolongado. Los refinadores también pueden utilizar desodorizaciones dobles (desodorizaciones en 2 etapas), es decir, una combinación de periodos de desodorización más cortos (por ejemplo, 5 minutos a 250 °C) y más largos (por ejemplo, 120 minutos a 200 °C). El objetivo es reducir la carga térmica en el aceite como medida de control para la formación de contaminantes.

**Figura 3.** Flujo típico del proceso de lavado de aceite de palma crudo (APC)



**Tabla 2.** Posibles medidas de mitigación para reducir el 3-MCPDE y el EG para el prensado y refinado.

Sector	Medidas de mitigación
Prensado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterilizar el fruto de palma de aceite a una temperatura de 140°C o inferior. Limpiar, secar y calentar las semillas oleaginosas para desactivar las lipasas.</li> <li>• Lavar el aceite vegetal crudo con agua sin cloro.</li> <li>• Evitar el uso de aceite vegetal residual recuperado de disolventes o extracciones.</li> <li>• Evaluar los precursores (por ejemplo, DAG, AGL y compuestos clorados) en lotes de aceite vegetal crudo para ajustar los parámetros de refinado.</li> <li>• Preferentemente, refinar el aceite vegetal crudo con bajas concentraciones de precursores.</li> </ul>
Refinado	<p><b>Desgomado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar condiciones más suaves y menos ácidas (por ejemplo, desgomado con baja concentración de ácido o desgomado de agua).</li> <li>• Bajar la temperatura de desgomado.</li> </ul>
	<p><b>Neutralización</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar el refinado químico (es decir, la neutralización) como alternativa al refinado físico.</li> </ul>
	<p><b>Blanqueo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar una mayor cantidad de arcilla blanqueadora.</li> <li>• Utilizar más arcillas con pH neutro para reducir la acidez.</li> </ul>
	<p><b>Desodorización</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevar a cabo la desodorización a una menor temperatura. Estas variarán en función del tiempo de permanencia del aceite.</li> <li>• Realizar la desodorización doble (desodorización en dos etapas) como alternativa a la desodorización tradicional.</li> <li>• Utilizar un vacío más fuerte para facilitar la evaporación de compuestos volátiles y reducir las temperaturas de desodorización.</li> </ul>

Fuente: Codex Alimentarius, CXC 79-2019.

Aunque el refinado físico es la práctica más común en Malasia, algunas empresas han construido refinerías químicas a pequeña escala para satisfacer las necesidades de los clientes europeos de un bajo contenido de 3-MCPDE en aceite de palma refinado. Este último tiene un proceso extra de neutralización, en el cual se añade álcali al aceite de alimentación para neutralizar el FFA seguido de la adición de agua caliente para eliminar el jabón de la fase de aceite como se muestra en la Figura 4. Esto proporciona un tipo de efecto de lavado al aceite donde el cloruro inorgánico y otras impurezas solubles en agua se eliminan junto con el jabón.

## Conclusiones

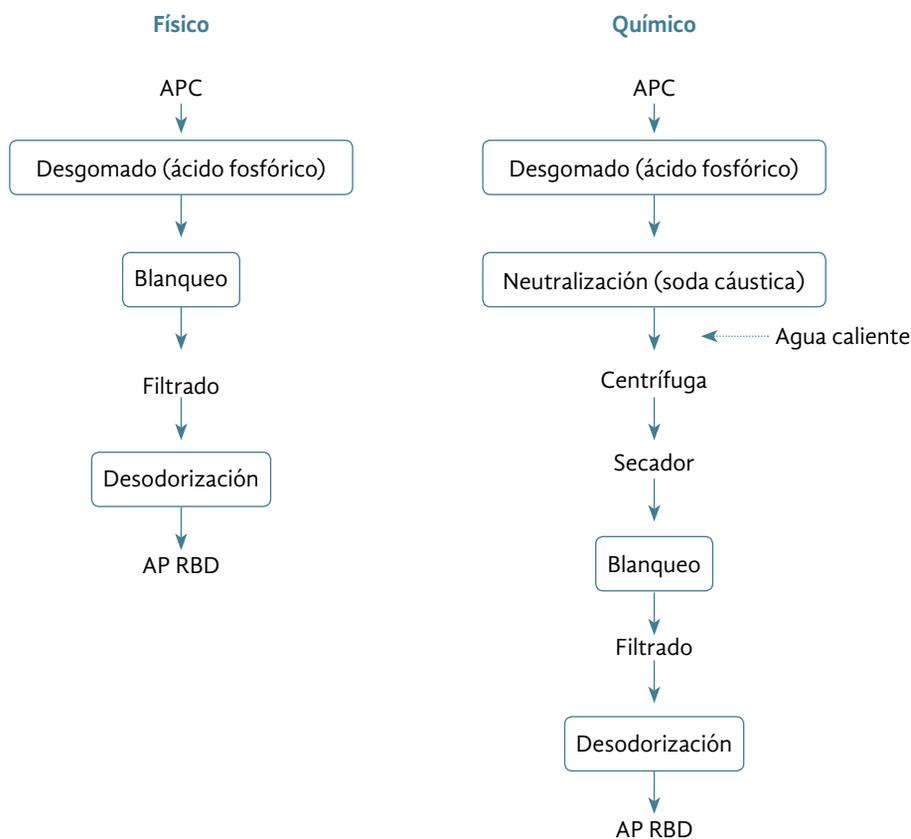
Algunas de las recomendaciones del Codex han sido aplicadas por nuestros agentes del sector, mientras que otras pueden ser adoptadas con algunos ajustes y

modificaciones, especialmente para las industrias de fabricación. El lavado de APC, el uso de altas dosis de tierra de blanqueo y la doble desodorización son la nueva norma para el procesamiento de aceite de palma y así reducir el nivel de 3-MCPDE y EG en el refinado. De este modo se garantiza la seguridad del aceite de palma cumpliendo con el límite máximo establecido por la Unión Europea (UE), mejorando su imagen y manteniendo su posición en el mercado mundial altamente competitivo como el camino a seguir. Una observación general fue que los cultivadores, fabricantes y refinadores locales están dispuestos a adoptar la mayor parte de la directriz del Codex.

## Reconocimientos

Los autores desean dar las gracias al Director General del MPOB por su permiso para publicar este artículo.

**Figura 4.** Diagrama de flujo del refinado químico y físico



## Referencias

- Basiron, Y. (2005). Palm Oil. *Bailey's Industrial Oil and Fat products, Sixth Edition Volume 2 Edible Oil and Fat products: Edible Oil* (Shahidi, F ed), John Wiley and Sons, USA, p. 333-429.
- Codex Alimentarius. (2019). Code of practice for the reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPDEs) and glycidyl esters (GEs) in refined oils and food products made with refined oils, CXC 79-2019.
- Destailats, F; Craft, B D; Dubois, M & Nagy, K (2012a). Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part I: Formation mechanism. *Food Chemistry*, 131: 1391-1398.
- Destailats, F; Craft, B D; Sandoz, L & Nagy, K. (2012b). Formation mechanisms of monochloropropanediol (MCPD) fatty acid diesters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. *Food Addit. Contam.*, 29: 29-37.

- EFSA Journal. (2018). Update of the risk assessment on 3-monochloropropane diol and its fatty acid esters. doi: 10.2903/j.efsa.2018.5083.
- FGV (2020). Media release: FGV launch Malaysia's first *ganoderma* tolerant oil palm planting material. Recuperado de [www.fgvholdings.com](http://www.fgvholdings.com), acceso el 19 de agosto de 2020.
- Food and Agriculture Organization. (2020). Codex Alimentarius. Recuperado de [www.fao.org/fao-who-codexalimentarius](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius), acceso el 18 de agosto de 2020.
- Hrncirik, K & van Duijn, G. (2011). An initial study on the formation of 3-MCPD esters during oil refining. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 113: 374-379.
- International Agency for Research on Cancer (IARC) Monographs. (2012). *Some chemicals present in industrial and consumer products, food and drinking water*, Volume 101, World Health Organization Press.
- International Agency for Research on Cancer (IARC) Monographs. (2000). *The evaluation of carcinogenic risks to human, some industrial chemicals*, Volume 77, IARC Press.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) (2016). Summario y conclusiones de la 18 reunión, 8-17 noviembre de 2016, Rome, JECFA/83/SC.
- Kushairi, A; Rajanaidu, N; Jalani B S & Mohd Isa, Z A. (1999). PORIM Series 1- PORIM Elite oil palm planting materials, PORIM Information Series No. 15.
- Norman, K; Walker, A K; Basri, M W; Lasalle, J & Polaszek, A. (1996). *Hymenopterous parasitoids associated with the bagworm *Metisa plana* and *Mahasena corbetti* (Lepidoptera: Psychidae) on oil palms in Peninsular Malaysia*, *Bulletin of Entomological Research*, 86: 432-439.
- MPOB. (2015). Manual penggredan buah kelapa sawit MPOB Edisi Ketiga.
- Rahmat, N; Syed Mohd Hadi, S H; Norliza, S, Syahril Anuar, M R; Yosri, M S; Mohammed Faisal, MY; Ahmadilfitri, M N & Ahmad Jaril, A. (2019). Production of high quality crude palm oil (CPO) and low 3-MCPD esters RBD palm oil, *Palm Oil Engineering Bulletin* 131, p 24-28.
- Sime Darby. (2020). GenomeSelect. Recuperado de [www.simedarbyplantation.com](http://www.simedarbyplantation.com) , acceso el 19 de agosto de 2020.
- Swoboda; P A T (1980). Chemical changes causing deterioration of palm oil quality, *Oil Palm Bulletin No 1*, 4-8.

## Enfoque de costos de producción y contabilidad de costos del flujo de materiales como un paso hacia el aumento de la responsabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad (RES): el caso de una planta de beneficio de aceite de palma en Banten, Indonesia\*

Production Cost Approach and Material Flow Cost Accounting as a Step Towards Increasing Responsibility, Efficiency, and Sustainability (RES): The Case of Palm Oil Mill in Banten Indonesia

**CITACIÓN:** Kurniawan, M. P., Guritno, A. D., Purwantana, B. & Supartono, W. (2022). Enfoque de costos de producción y contabilidad de costos del flujo de materiales como un paso hacia el aumento de la responsabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad (RES): el caso de una planta de beneficio de aceite de palma en Banten, Indonesia (Traductor Arenas, C.). *Palmas*, 43(2), 59-69.

**PALABRAS CLAVE:** Planta de beneficio, Indonesia, Costos de producción, Aceite de palma.

**KEYWORDS:** Mill, Indonesia, Production cost, Palm Oil.

\* Traducido del original *Production Cost Approach and Material Flow Cost Accounting as a Step Towards Increasing Responsibility, Efficiency, and Sustainability (RES): The Case of Palm Oil Mill in Banten Indonesia*. M. P. Kurniawan et al. 2020 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 425 012042. doi:10.1088/1755-1315/425/1/012042

**DERECHOS DE AUTOR:** El contenido de esta obra puede utilizarse bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 3.0. Cualquier otra distribución debe mantener la atribución al autor o autores y el título de la obra, la cita de la revista y el DOI. Publicado bajo licencia de IOP Publishing Ltd.

### M. P. KURNIAWAN

Departamento de Tecnología Agroindustrial, facultad de Tecnología Agrícola, Universidad Cadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia 55281.  
Autor de correspondencia:  
kurniawan\_prasetya@ugm.ac.id

### A. D. GURITNO

Departamento de Tecnología Agroindustrial, facultad de Tecnología Agrícola, Universidad Cadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia 55281.

### B. PURWANTANA

Departamento de Ingeniería Agrícola y Biosistema, facultad de Tecnología Agrícola, Universidad Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia 55281.

### W. SUPARTONO

Departamento de Tecnología Agroindustrial, facultad de Tecnología Agrícola, Universidad Cadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia 55281.

## Resumen

Con base en el Programa de Indonesia para el Control, la Evaluación y la Clasificación de la Contaminación (PROPER por sus siglas en inglés), es más probable que las industrias del aceite de palma se preocupen por la gestión de residuos peligrosos en lugar de la eficiencia de los recursos. Es muy importante equilibrar y lograr objetivos económicos y ecológicos median-

te la identificación de ineficiencias materiales y energéticas que tengan impacto económico significativo. La aplicación de la producción estándar y sostenible también desempeña un papel importante para las empresas de palma de aceite que hasta ahora tienen más del 70 % de los materiales energéticos de biomasa, tales como cáscaras, polvos, fibras y racimos vacíos secos. El estudio utilizó el enfoque de costos de producción y la contabilidad de costos del flujo de materiales para reducir el consumo de materiales y minimizar los residuos. Para determinar el área de mejora se utilizó la identificación de la eficiencia de los recursos. Los resultados muestran que la empresa de aceite de palma tiene más probabilidades de gestionar los residuos totales, los residuos peligrosos y las materias primas consumidas, que la eficiencia de los materiales. En términos financieros, es probable que la relación de costos y rentabilidad afecten las decisiones de las empresas en cuanto a la gestión del flujo de materiales para reducir la proporción de residuos peligrosos. Esto podría apoyar las relaciones comerciales a largo plazo que pueden establecerse y negociarse entre la industria del aceite de palma como proveedor de residuos orgánicos y el productor de bioenergía, revelando beneficios económicos y ambientales para ambos actores, al tiempo que contribuyen al desarrollo de responsabilidad, eficacia y sostenibilidad (RES por sus siglas en inglés).

## Abstract

Based on Indonesia Program for Pollution Control, Evaluation and Rating (PROPER), palm oil industries are more likely to care about hazardous waste management rather than resource efficiency. It is very important to balance and achieve economic and ecological targets by identifying material and energy inefficiencies with significant economic impact. The application of standard and sustainable production also plays important role for oil palm companies which so far have more than 70% of biomass energy materials such as shells, powders, fibres, and dried empty bunches. This study used the production cost approach and material flow cost accounting to reduce material consumption and waste minimization. Identifying resource efficiencies were used to determine area for improvement. The results show that palm oil company more likely to manage total waste, hazardous waste, and raw materials consumed than material efficiencies. In terms of financial factors, cost ratio and profitability are likely to affect firm decisions regarding to manage the material flow for reducing hazardous waste ratio. This could support long-term business relationships which can be established and negotiated between the palm oil industry as organic waste supplier and the bioenergy producer, revealing economic and environmental benefits for both actors while contributing to the development of responsibility, effectiveness and sustainable (RES).

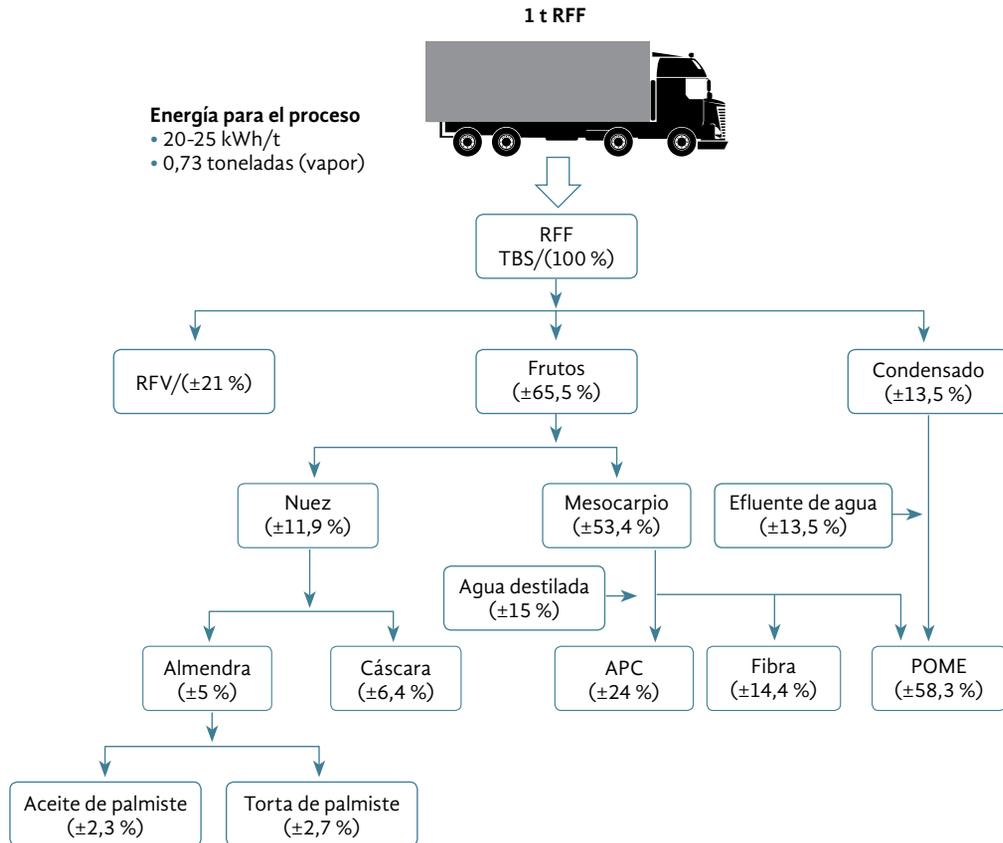
## 1. Introducción

Con base en los logros de la publicación del Programa de Control de la Contaminación Ambiental (PROPER por sus siglas en inglés), la ineficiencia de los materiales causó la pérdida del margen de ingresos [1]. Esta pérdida es la que enfrenta la industria del aceite de palma en su proceso de producción. La mayor parte del material de entrada debe ser procesado tanto en productos como subproductos y residuos. Para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del sector del aceite de palma a través de PROPER, el procesamiento de las materias primas como productos terminados debe ir seguido de la mitigación de las pérdidas mediante el uso de

los residuos para obtener resultados más valiosos [2]. La falta de conocimiento del análisis del flujo de materiales y la cantidad de recursos naturales que se necesitan en la producción generaron más residuos y producción de subproductos [1]. Los residuos sólidos del aceite de palma no se han utilizado de forma óptima y algunos se usan como fertilizantes o se desechan en vertederos.

Los racimos de fruta fresca contienen aceite, fibra, cáscaras y racimos vacíos que pueden convertirse en energía (materiales que llevan energía). Estos pueden procesarse en aceite de palma crudo (APC) utilizando la energía que contienen. En la etapa preliminar se usan subproductos o materiales que no se han utili-

**Figura 1.** Proporción de uso y material de los racimos de fruta fresca (RFF) [5].



zado de manera óptima, como fuente de energía. Si no es suficiente, entonces en la siguiente etapa puede utilizar parte del contenido principal (aceite/grasa) para producir energía. El procesamiento de una tonelada de racimo de fruta fresca de palma de aceite producirá residuos en forma de 21-25 % o 210-250

kg de racimos de frutas vacíos de palma de aceite, 6,4 % o 64 kg de cáscaras, 27 % o 270 kg de agua de lavado y condensado después de mezclarlos con agua y otros materiales, 14,4 % o 144 kg de fibra y 58,3 % o 583 kg de efluentes líquidos (POME por sus siglas en inglés) (Figura 1) [5].

**Tabla 1.** Ahorros y valor económico de la implementación del Programa de Control de la Contaminación Ambiental (PROPER).

Parámetro	Miles de millones (IDR)	Valor
Eficiencia energética	9,3	273,6 mil. GJ
Reducción de emisiones de GEI	4,34	38,02 mil. tCO <sub>2eq</sub>
Eficiencia hídrica	63,3	545 mil. m <sup>3</sup>
Reducción de emisiones convencionales	5,34	18,7 mil. t
3R residuos peligrosos	10,1	16 mil. t
3R residuos no peligrosos	3,91	6,8 mil. t
Reducción de la carga de agua residual	63,3	31,7 mil. t

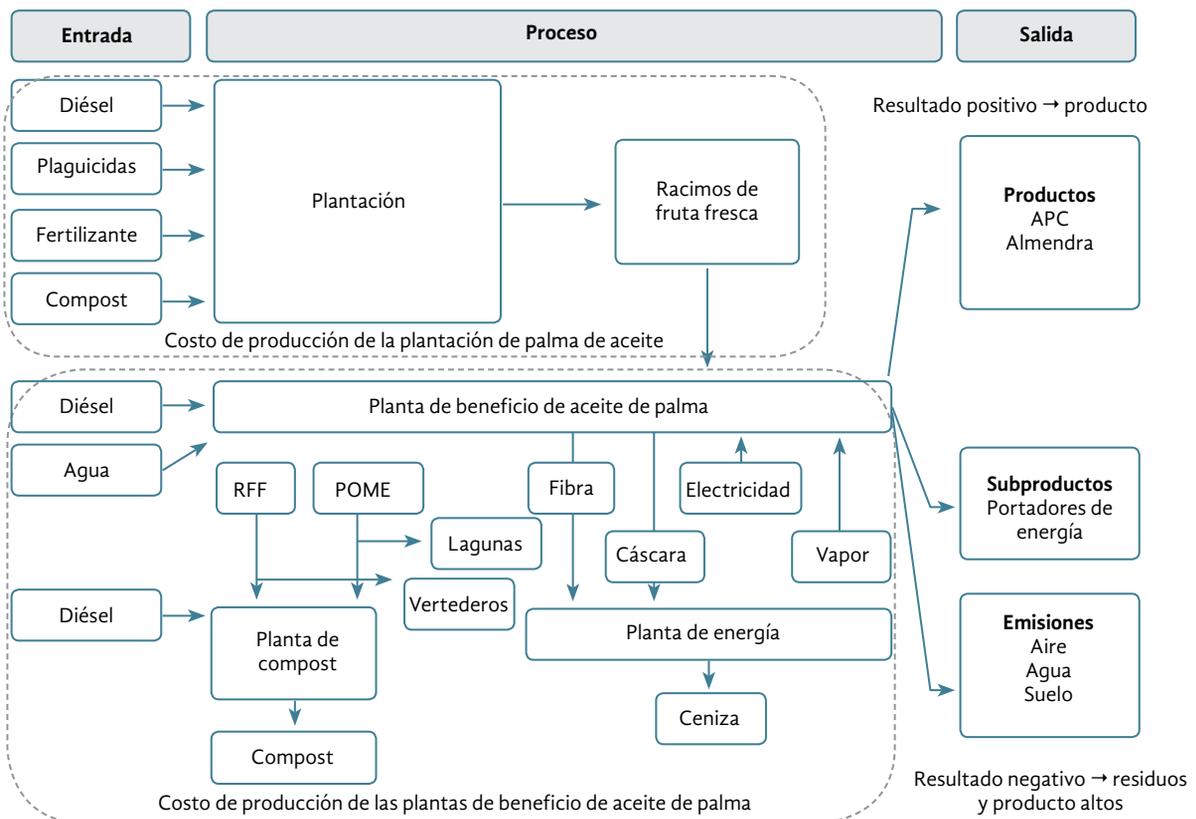
Descargo de responsabilidad: basado en los datos de 437 empresas candidatas verdes (Ministerio de Medio Ambiente y Bosques, 2019).

Se trata de un desafío que debe resolverse mediante el concepto y la aplicación de una producción más limpia en la industria del aceite de palma. El enfoque de costos de producción y la contabilidad de costos del flujo de materiales (CCFM por sus siglas en inglés) determinan cómo aumentar la eficacia para controlar la fuga de ingresos. Este estudio describe el financiamiento en el proceso de cultivo, procesamiento y manejo en la industria del aceite de palma como base para mejoras tanto en términos físicos como financieros [3]. El flujo de entrada de material durante el proceso de producción se compara con el flujo de salida y los posibles daños. Se espera que la adopción de la CCFM pueda reducir los residuos en el proceso de producción y sea la base para la toma de decisiones [4]. También que las oportunidades de mejora económica y reducción de costos estén en consonancia con la mitigación de los impactos ambientales gracias a una mayor productividad del aceite de palma. Con base en los resultados, la industria del sector privado produce la mayor cantidad de aceite de palma con

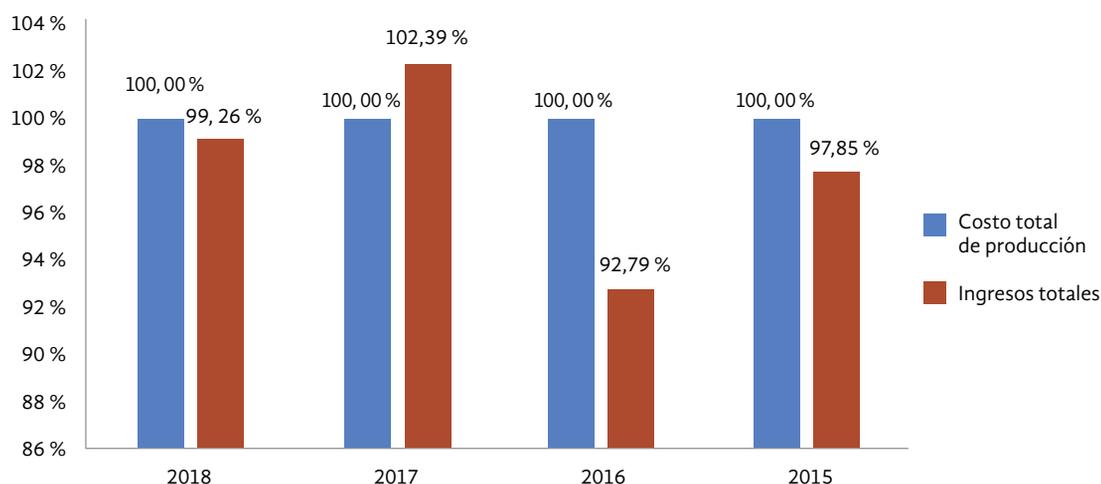
26,5 millones de toneladas, es decir, un 51 %. Además, las plantaciones privadas contribuyeron con 14 millones de toneladas de APC, o 33 %, mientras que las estatales contribuyeron con solo 2,5 millones de toneladas de APC, o 6 % [5]. Según la Dirección General de Plantaciones del Ministerio de Agricultura de la República de Indonesia, uno de los factores que impulsan el rendimiento es la exactitud del sistema de producción y el rendimiento de la infraestructura. La eficiencia en el consumo de materiales requirió el apoyo de actividades de mitigación que impiden la fluidez de material en las líneas de producción y el financiamiento.

Los residuos y la ineficiencia afectan el rendimiento de las plantas de beneficio de aceite de palma debido a su cantidad de subproductos y residuos. Por lo general, la generación de no productos se considera un fenómeno de *iceberg* como un costo oculto en forma de residuos. La cartografía de las áreas de mejora y la creación de capacidades en materia de

**Figura 2.** Esquema de plantaciones de palma de aceite y plantas de beneficio



**Figura 3.** Producción e ingresos totales de la planta de beneficio de aceite de palma [6]



recursos humanos requiere transparencia en el flujo de materiales y energía y el impacto en el medio ambiente (Figura 2). Como organización gubernamental, la industria del aceite de palma busca aumentar los ingresos armonizando la economía de la empresa a través de los sectores de plantaciones de té, caucho, quinina y frutas. Se contribuyen mutuamente para satisfacer su falta de ganancias [6].

La Figura 3 muestra que los costos totales de producción para 2018, 2016 y 2015 son más altos que los ingresos totales, y la relación de rendimiento de 2017 es solo del 2,39 % [6]. Esto hará que las plantas de beneficio de aceite de palma tengan más pérdidas. La generación de residuos se considera una función directa de las operaciones ineficientes [8], de modo que se espera que los resultados de la búsqueda mejoren el conocimiento, las habilidades y la conciencia de las partes interesadas para lograr un mejor manejo. La transparencia en el costo de producción y el flujo de materiales permitieron a los actores empresariales y los responsables de la formulación de políticas, clasificar las ineficiencias en la línea de producción como base para tomar decisiones sobre el uso de la tecnología adaptable [9]. Estos podrían integrarse para educar y proporcionar sostenibilidad social, económica y ambiental.

## 2. Métodos

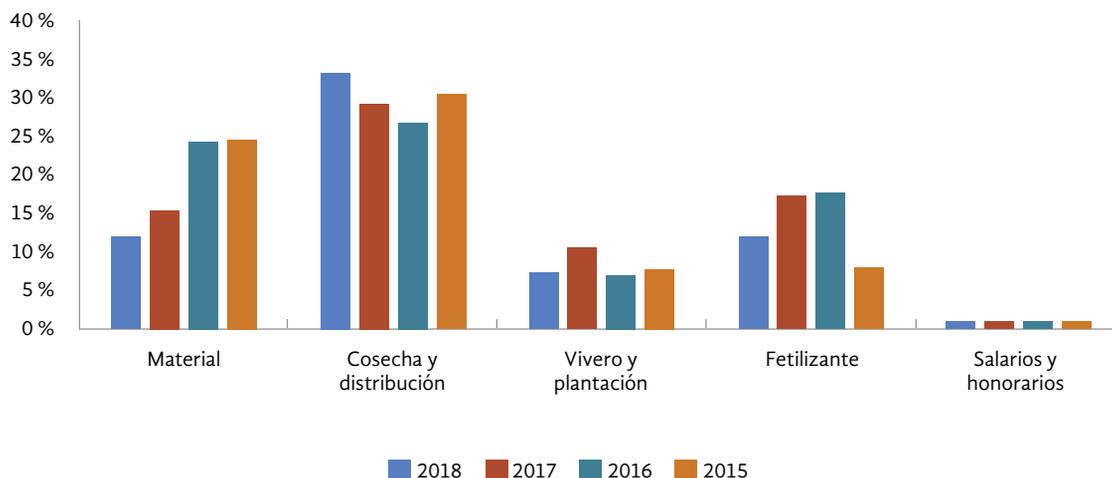
Este estudio se llevó a cabo en plantaciones de aceite de palma de escala media y plantas de beneficio

que tienen una capacidad de 45 toneladas de RFF por hora, con un promedio de 30 toneladas de RFF por hora. Los datos se recolectaron mediante observación, entrevistas en profundidad con directores de plantas de beneficio, análisis de bases de datos de empresas y discusiones en grupos focales. Se identificaron los principales factores que afectan los costos de producción de APC a través de un enfoque cuantitativo de los costos de producción, el flujo de materiales y el financiamiento de residuos y materiales de desecho para comprender el proceso e identificar los componentes de costos de fábrica ocultos, los datos operacionales y la selección de indicadores apropiados para este marco. El enfoque de contabilidad de costos del flujo de materiales se realizó a través de la relación entre la fuente de los residuos, la ubicación y la etapa de actividad de cada unidad operativa. Se estableció la cantidad de material y el uso de energía para determinar el área de mejora (punto clave).

## 3. Resultados y discusión

El precio promedio del APC el año pasado fue de USD 595 por tonelada métrica, o un 17 % menor que el año anterior (USD 714,3 por tonelada métrica). Esta baja en el precio se debió a un aumento en las reservas de APC como resultado de la guerra comercial entre Estados Unidos y China y un crecimiento económico mundial más lento. Según GAPKI, las exportaciones de APC contribuyeron USD 20,35 miles de millones en divisas el año pasado, una suma lige-

Figura 4. Asignación porcentual del componente de costo en la plantación 2015-2018 [6]



ramente más baja que la del año anterior (USD 22,97 miles de millones). Para 2019, GAPKI proyecta que la producción de APC y aceite de palmiste de Indonesia aumente entre un 4 y un 5 % [10].

### 3.1. Enfoque de costos de producción

Los resultados de la medición y registro de los costos de producción muestran que 19,53 % de los costos corresponden a la etapa de plantación, el 30,57 % a la recolección y distribución, el 8,45 % al mantenimiento de cultivos, el 14,13 % a la fertilización y el 0,86 % a los salarios. Respecto al costo de procesamiento de los racimos de fruta fresca en la planta, el 4,64 % se identificó como costos de procesamiento, el 4,64 % como mantenimiento de infraestructura, el 0,2 % como sueldos y salarios, el 0,06 % como seguros y el 16,89 % como depreciación. Hasta la fecha, las etapas de limpieza y preparación de la tierra no se han identificado en este estudio. Esto se debe a que todavía hay un cambio de función de la tierra de caucho a palma de aceite. Las plantas de beneficio de aceite de palma requieren una gran cantidad de energía para operar. Los requisitos de energía para las operaciones se deben principalmente a las calderas que utilizan la fibra y las cáscaras como materiales energéticos. Con una capacidad de diseño de 45 toneladas RFF/hora, esta planta de beneficio de aceite de palma procesa un promedio de 30-35 toneladas RFF/ hora. El uso

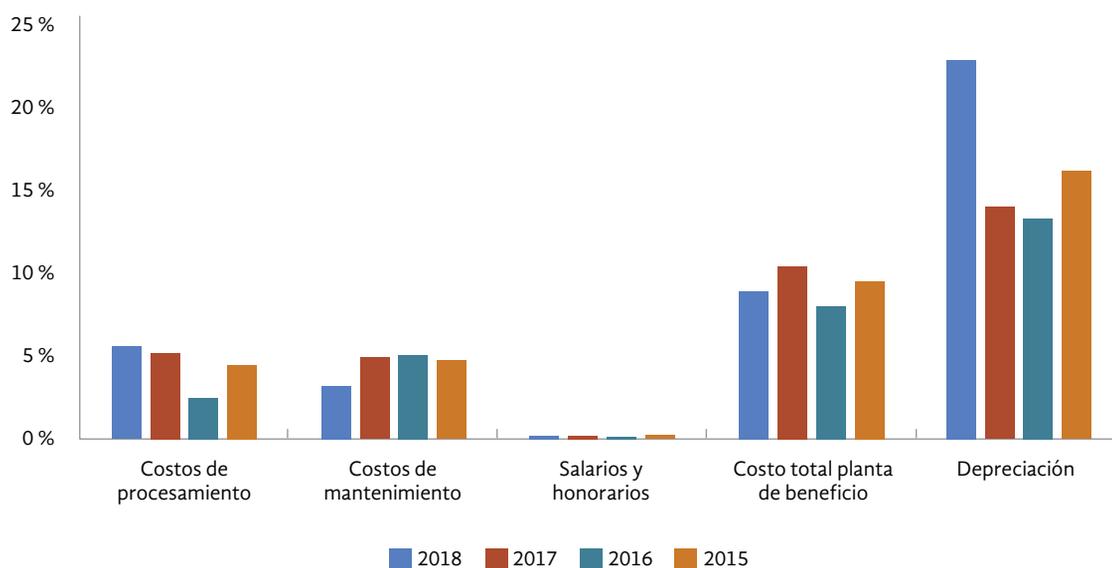
de combustibles fósiles se asigna a motores diésel en previsión de los generadores y vehículos de campo. La empresa aún no ha identificado el financiamiento para la energía de biomasa y ha determinado el valor de su uso.

El monto de los costos de producción y la determinación de las asignaciones de financiamiento tienen una intensidad de proceso que varía de un área a otra [11]. El costo de procesamiento se recolectó y analizó para la toma de decisiones. La planta de beneficio de aceite de palma mide y registra las ventas de datos para diversos canales de distribución, rendimientos, costos generales, insumos y mano de obra.

La Figura 4 muestra los logros de la empresa entre 2015 y 2018. Los costos de adquisición de RFF y de fertilizantes han disminuido, pero los de recolección y distribución han aumentado. El alto costo de recolección y distribución se debe a los altos costos logísticos. Mejorar la capacidad de rastreo y seguimiento podría permitir una utilización óptima de los recursos, transparencia en el proceso de producción y una mayor eficiencia en los costos.

La Figura 5 muestra los mayores costos totales de producción en 2018 debido a la elevada depreciación de las instalaciones de producción y la infraestructura. Los bajos costos de mantenimiento son la causa de muchos problemas cuando estaban en funcionamiento.

**Figura 5.** Asignación porcentual del componente de costos en la planta de beneficio de aceite de palma 2015-2018 [6]



**Tabla 2.** Detalles del componente de costo de producción.

Componente de costo	Total (IDR)
Costo fijo	535.196.014
Costos variables de materiales	63.234.696.517
Utilidad	227.470.598
Embalaje total	63.462.167.115
Costo semivariable de mano de obra	668.385.240
Administración y control	63.898.510,00
Mantenimiento	15.140.306.793
Suministros de operaciones Laboratorio	148.337.650
Costo general	177.687.114.934
Costos fijos	156.757.901
Total	193.864.801.028
Ventas totales	503.097.279.225

Fuente: observación e informe anual [6]

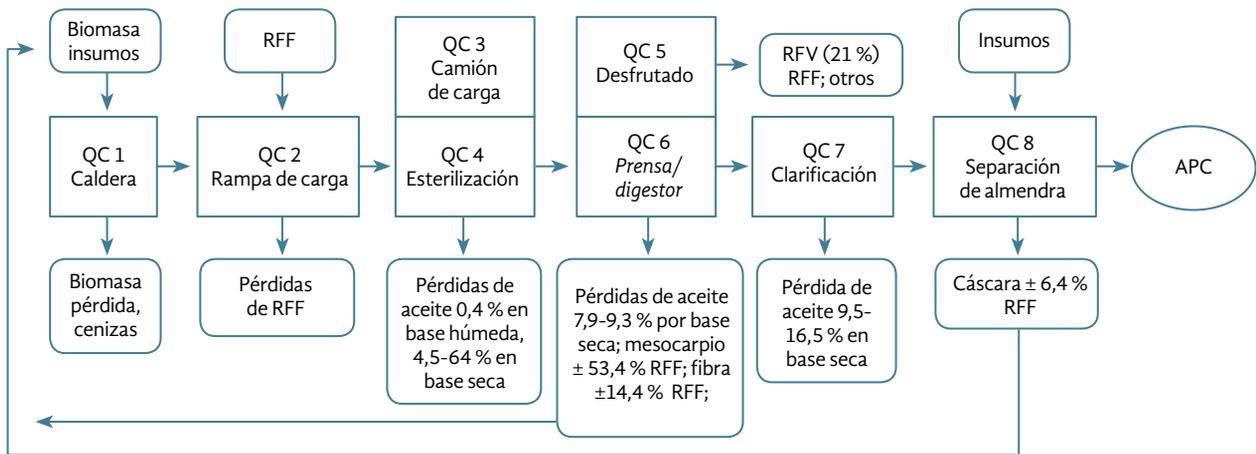
Los componentes de costos de producción se midieron calculando la cantidad de material que genera costos de producción, tales como insumos, rendimientos y ventas [7]. El mantenimiento de registros macroeconómicos incluyó actividades que se relacio-

nan directa o indirectamente con la producción, la mano de obra y otras asignaciones presupuestarias como insumos [7]. El proceso de rastreo y seguimiento del material utilizado estuvo asociado con las empresas más rentables y menos rentables. La gestión de costos se llevó a cabo para anticipar fluctuaciones en los precios de los productos y los insumos que pueden aumentar. El control de los costos de producción a la eficiencia requirió información precisa sobre precios, incluidos los costos de producción, las tendencias históricas, la experiencia, las capacidades de la competencia y los costos de comercialización [12].

### 3.2. Contabilidad de costos del flujo de materiales

Se refiere a la contabilidad de costos que se centra en las diferentes actividades realizadas en una organización. Esta técnica utiliza un proceso de asignación de varias etapas en plantaciones de palma de aceite y plantas de beneficio de aceite de palma, que consiste en varios centros de costos basados en actividades. El enfoque de costos de producción evita la distorsión de los costos resultante de los costos convencionales, donde todos no se combinan directamente en una única agrupación de costos [14]. Con base en el resultado de los componentes detallados de los costos de producción, la recolección y distribución contribu-

**Figura 6.** Enfoque de contabilidad de costos del flujo de materiales [3], [7]



yen al costo más alto debido a las características del material. El sistema de control de calidad desempeña un papel importante en la reducción de costos, en la recolección, distribución y aumento de ingresos de la industria [11]. La Tabla 2 representa el enfoque de los costos de producción. En la Tabla 1 se identifican los costos de cada etapa de la actividad productiva; los generales se clasifican y se cargan al respectivo centro de costos para el aceite de palma crudo y el palmiste. Cada costo de actividad está relacionado con el producto, que ofrece una visión del movimiento de costos en las plantas de beneficio de aceite de palma. Esta es una forma eficaz de supervisar la eficiencia en la línea de producción [12].

El enfoque del costo de producción con la contabilidad de costos del flujo de materiales se centra en cada actividad que involucra materiales, materiales energéticos y recursos humanos. Se utiliza el balance de masa y el balance energético para identificar el centro de actividad que contiene los materiales, la energía, los residuos y los costos generales que se especificarán en los costos de producto. Se evalúa la eficacia de la asignación de los recursos de la empresa identificados para distribuir o apoyar las actividades de soporte del producto [13]. La identificación del nivel monetario en los costos generales mostrará las áreas de ahorro y prevención de acumulación de materiales de desecho. La parte de rediseño y mejora del proceso se lleva a cabo utilizando un modelo de costos de logística para maximizar los beneficios de la empresa y minimizar los impactos ambientales. El nivel de calidad de cada producto se considera un

motor del rendimiento económico como resultado del aumento del rendimiento ambiental. El principal obstáculo es la falta de un sistema integrado de información que impide la recopilación de algunos datos contables sobre material, logística, energía, sistema y tratamiento de residuos en las plantaciones de palma de aceite y en las plantas de beneficio de aceite de palma, por lo que la información detallada es insuficiente.

Se utilizó la contabilidad de costos del flujo de materiales para involucrar a los operadores y a la gerencia en el desempeño ambiental basado en parámetros monetarios. La Figura 6 muestra una representación visual de las entradas y pérdidas de materiales en el procesamiento de los racimos de fruta fresca (RFF). La línea de producción, el flujo del producto y el de los residuos indican las áreas que necesitan ser mejoradas en el proceso como la esterilización y clarificación para reducir la cantidad de aceite perdido. Este resultado identificó posibilidades de mejora, un modelo de producción de entrada hacia el logro de una producción más sostenible y un enfoque de ahorro perdido para priorizar la evaluación. La gestión ambiental basada en el flujo de generación de residuos y la disponibilidad en el proceso de desfrutado y prensado requiere evaluar la financiación y el valor de los residuos producidos para apoyar las decisiones de ecoeficiencia. La cantidad de material involucrado (centro de cantidad) y el costo (centro de costo) que conecta la información física y financiera en un concepto basado en insumos (materiales, energía, agua

y otros insumos y salidas (productos/subproductos, residuos, residuos líquidos, emisiones)), como centro de cantidad para el cálculo de los componentes implicados en la CCFM, se basa en la información sobre la entrada de los racimos de fruta fresca procesados, los racimos de fruta vacíos (RFV), la fibra, las cáscaras y otras cantidades de biomasa para el enfoque de costos necesario durante la manipulación. La CCFM propone demostrar cómo es de necesaria la operacionalización para cambiar su comportamiento

y apunta a la ventaja de utilizar el costo como factor impulsor del diseño del entorno. También se utiliza la CCFM para integrar las actividades de los procesos económicos y ambientales mediante procesos mejorados para identificar los niveles de utilización, energía y costos del sistema incurridos para los productos y la producción potencial (Tabla 3).

La Tabla 3 muestra el nivel de uso de los subproductos generados en plantación y planta de beneficio

**Tabla 3.** Detalle y utilización de residuos

Residuos y subproductos	Cantidad	Uso	Nivel de uso	Producción potencial
<b>Plantación</b>				
Hojas	10 toneladas/ha	NA	Muy alto	Piensos, fertilizante verde
Tronco	80-90 toneladas/ha	NA	Muy alto	Briquetas de carbón, alimentación de caldera
<b>Planta de beneficio de aceite de palma</b>				
Racimo de fruta vacío	20-23 % de RFF	Hongos, fertilizante, biogás	Muy alto	Digestor de biogás
Fibra	12-3 % de RFF	Alimentación de la caldera	Muy alto	Briquetas de carbón
Cáscara	6-8 % de RFF	Alimentación de la caldera	Muy alto	Carbón activado, briquetas de carbón para materas
Ceniza de la caldera	0,4-0,6 % de RFF	Fertilizante	Baja	Fertilizante
Condensados de esterilización	12-20 % de RFF	Tratamiento de aguas residuales	Muy alto	Celulosa, proteína unicelular
Residuos de centrifugadoras	40-50 % de RFF	Tratamiento de aguas residuales	Muy alto	NA
Efluente del decantador	30-40 % de RFF	Tratamiento de aguas residuales	Muy alto	NA
Aguas del hidrociclón %	5-11 % de RFF	Tratamiento de aguas residuales	Muy alto	NA
Agua de lavados de la fábrica	4-8 % de RFF	Tratamiento de aguas residuales	Alto	NA
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>				
Torta de lodos de fondo	NA	Fertilizante y piensos	Medio a Alto	NA
Sólido anaeróbico	5-10 % de RFF	Fertilizante	Muy alto	NA
Sólidos aeróbico	< 5 % de RFF	Fertilizante	Alto	NA
Biogás	28 m3 / tonelada de RFV	Digestor de biogás	Muy baja	Electricidad y calor

de aceite de palma. Las necesidades de gestión y diseño prácticos del entorno son el camino a seguir para desafiar el estándar de producción existente, lo que podría implicar un efecto de escalado positivo más amplio en el aceite de palma. [3,6]. La empresa todavía no ha desarrollado la transformación de residuos en productos más valiosos de forma óptima y todavía se limita a mantener la producción y el rendimiento nacionales. La integración de los sistemas entrada-salida y la educación de las partes interesadas en relación con los impactos ambientales requiere que la disponibilidad de información sobre las cantidades y costos reales para comparar los resultados positivos en forma de productos y los resultados negativos en forma de residuos que requieren tratamiento. La transparencia de esta información supone una mejora de la responsabilidad y un proceso eficiente hacia la industria sostenible de aceite de palma.

Los residuos generados por las plantas de beneficio de aceite de palma se devuelven parcialmente a las zonas de cultivo y plantación como fertilizante agrícola o se venden a terceros para obtener un valor agregado [14]. El uso de los residuos sólidos, incluidos los procedentes de las emisiones atmosféricas y los depósitos de POME (efluente de la planta de beneficio de aceite de palma), tienen en realidad una función de alto valor agregado grande. La limitación de la tecnología de tratamiento de aguas residuales no productivas, el POME y los residuos sólidos da lugar a una acumulación y desequilibrio incontrolados en la fase final [15]. Es necesario ofrecer incentivos en forma de innovación y mejora para fomentar la coherencia de los resultados basados en el sistema de flujo de materiales. La comunicación y coordinación efectivas entre los actores empresariales son esenciales para mejorar la productividad en el uso de materiales y energía, y la eficiencia de los recursos.

El resumen de la contabilidad de costos del flujo de materiales (CCFM) en la Tabla 4 muestra que el costo perdido de la energía contribuye al nivel más alto con base en el parámetro monetario [6]. Se espera que se lleven a cabo instalaciones de procesamiento de aguas residuales y residuos sólidos en productos de alto valor para mejorar la sostenibilidad de la industria del aceite de palma de Indonesia. Dirigida al desarrollo de la energía renovable y la independencia energética, se adoptó la contabilidad de costos de flujo de materiales como técnica viable en la identificación y reducción de residuos en el proceso de producción, que juega un papel importante para la toma de decisiones eficaces para conocer las pérdidas y reducir los productos negativos. El mejoramiento y la evaluación de las actividades deben referirse a mecanismos para reducir los residuos y el uso de materiales, mejorar la calidad y la consistencia de los resultados, vincular la información física y monetaria basada en el análisis del flujo de materiales, y frenar la fuga de ingresos en la línea de producción.

#### 4. Conclusión

El enfoque de costos de producción y la contabilidad de costos del flujo de materiales proporcionan una mejor información sobre materiales, energía, sistemas y residuos para permitir a los responsables de la toma de decisiones gestionar los residuos de forma transparente, reduciendo así las fugas de ingresos y aumentando la eficiencia en las líneas de producción. La evaluación y la mejora continua son necesarias para adoptar una herramienta para frenar la fuga de ingresos en la línea de producción. El aumento de los costos de producción, que alcanzó el 4,9 % anual, no es comparable al aumento de los precios del APC, que solo ascendió al 1,5 % anual.

**Tabla 4.** Resumen de la CCFM.

Costo	Material (IDR)	Energía (IDR)	Sistema (IDR)	Tratamiento de residuos (IDR)	Total (IDR)
APC como producto	494.587.350				494.587.350
Pérdidas	-	22.631.992.529	18.823.080.724	505.106.310	41.960.179.563
Total	494.587.350	22.631.992.529	18.823.080.724	505.106.310	42.454.766.913

## Reconocimientos

Queremos agradecer a Aditio Hanugro Laksono, Ibnu Titis y Muhammad Iman Abdurrahman por la recopilación de datos, el encuestador y la fructífe-

ra discusión. Se agradece a Annisa DWI Astari por ser la mejor presentadora de este estudio y también a PTPN 8 PKS Kertajaya por compartir más experiencias y conocimientos en la industria del aceite de palma.

---

## Referencias

1. Rating of Company Performance in Environmental Management Program. 2018. PROPER. Ministerio de Medio Ambiente y Bosques, República de Indonesia.
2. Rating of Company Performance in Environmental Management Program. 2017. PROPER. Ministerio de Medio Ambiente y Bosques, República de Indonesia.
3. Yagi M & Kokubu K 2018 *J. Clean. Prod.* **198** 763-775.
4. Sophie A, Archer S A, Murphy R J & Wilckens R S 2018 *Renew. Sust. Energ. Rev.* **94** 694704.
5. Dirección General de Plantaciones. Ministerio de Agricultura Plantation Development Policy 2015-2019.
6. PTPN VIII. Annual Report: Asset and Optimization Through Property Investment 2016-2018.
7. Marota R, Marimin & Sasongko 2015 *J. Manage. Agrib.* **12** 92-105.
8. Ong H C, Mahlia T M I, Masjuki H & Honnery D 2012 *Fuel* **98** 131-139.
9. Lim C I & Biswas W 2015 *Sustainability* **7** 16561-87.
10. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia [GAPKI] <https://gapki.id/news/14263/refleksiindustri-industri-kelapa-sawit-2018-prospek-2019> [consultado el 19 de noviembre de 2019].
11. Wahid M B & Simeh M A 2009 *Oil Palm Industry Economic J.* **9** 1-12.
12. Ismail A, Simeh M A & Noor M 2003 *Oil Palm Industry Economic J.* **3** 1-7.
13. Noor M, Simeh M A, Ismail A & Latif J 2004 *Oil Palm Industry Economic J.* **4** 32-40.
14. Foong S Y & Teruki N A 2009 *Asian Rev. Account.* **17** 212-225.
15. Kim T H & Tae S H 2016 *Int. J. Environ. Res. Public Health* **13** 1074.

## Publicaciones de Cenipalma en otros medios

### Publications by Cenipalma in other Media

---

En esta edición se comparten tres trabajos de investigadores de Cenipalma que fueron publicados en medios internacionales.

#### Artículo:

Gestión de la huella de carbono para un cultivo sostenible de palma de aceite

**Autores:** David Arturo Munar, Nidia Ramírez-Contreras, Yurany Rivera-Méndez, Jesús Alberto García-Núñez y Hernán Mauricio Romero.

**Publicado en:** Carbon Footprint Management for a Sustainable Oil Palm Crop. En Ren, J. (eds) *Advances of Footprint Family for Sustainable Energy and Industrial Systems. Green Energy and Technology*. Springer, Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76441-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76441-8_5)

**Resumen:** La palma de aceite produce entre 5 y 10 veces más aceite por hectárea año que otros cultivos oleaginosos. Menos de 10 % de la tierra plantada con estos cultivos produce más de 35 % del aceite que se consume en el mundo. Esta, necesita menos tierra, pesticidas, fertilizantes y energía, por lo que genera un menor impacto en el medio ambiente. Este cultivo ha sido criticado por su impacto en las emisiones de GEI y la pérdida de reservas de carbono en los suelos de turba, especialmente en Malasia e Indonesia. Sin embargo, en Colombia, la expansión del cultivo se ha producido principalmente en tierras con suelos degradados o tierras dedicadas a la ganadería o a otras plantaciones. Para hacer un mejor seguimiento de los impactos ambientales de este cultivo, se han realizado análisis de la huella de carbono y del ciclo de vida en varios países. Aquí resumimos los resultados de esos estudios con especial referencia al caso colombiano. Asimismo, presentamos la comparación entre diferentes calculadoras de huella de carbono utilizadas para medir las emisiones de GEI de la palma de aceite. Finalmente, discutimos el uso de las estimaciones de la huella de carbono y su papel en la mejora de la sostenibilidad del cultivo.

## Artículo

Adsorción de amonio y fosfatos por el biocarbón producido a partir de cáscaras de palma de aceite: efectos de las condiciones de producción

**Autores:** David Arturo Munar-Flórez, Darlis Adriana Varón-Cárdenas, Nidia Elizabeth Ramírez-Contreras y Jesús Alberto García-Núñez.

**Publicado en:** *Chemistry*, volumen 3, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2021.100119>

**Resumen:** Este estudio investigó los efectos de las condiciones de producción en la capacidad de adsorción de amonio y fosfato del biocarbón de cuesco de palma de aceite. El biocarbón se preparó a 3 temperaturas de pirólisis (350, 650 y 750 °C), bajo 3 condiciones de activación (sin oxidación, oxidación parcial a 250 °C y activación química con  $K_2CO_3$ ) y utilizando 3 métodos de lavado (sin lavado, lavado ácido y agua caliente). Las propiedades fisicoquímicas de algunas muestras de biocarbón se caracterizaron mediante SEM, CHON-S, XRF, FTIR y área BET. La mayor capacidad de adsorción de amonio (1,49 mg/g) se observó en el biocarbón activado químicamente y pirolizado a 650 °C sin lavado. La mejor capacidad de adsorción de fosfato (0,89 mg/g) se observó en el biocarbón parcialmente oxidado pirolizado a 650 °C con lavado ácido. El área superficial BET osciló entre 4 y 253 m<sup>2</sup>/g. El biocarbón producido a 350 °C sin lavado reportó más grupos funcionales en la superficie que el producido a temperaturas más altas. El proceso de activación química promovió el desarrollo de numerosos grupos funcionales en la superficie del biocarbón.

## Artículo

Evaluación técnica y económica de dos herramientas para la cosecha de palmas de aceite *Elaeis oleifera* x *E. guineensis* jóvenes

**Autores:** Elizabeth Ruiz, Jhon Banguera, Wilson Pérez Toro, Juan Hernández Hernández, Javier Arévalo y Mauricio Mosquera Montoya

**Publicado en:** *Agronomía Colombiana*, 38(3), 418-428. doi: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n3.85303>

**Resumen:** La cosecha de racimos de palma de aceite representa 25 % del costo total de producción de una tonelada de racimos de fruta fresca (RFF) y nueve décimas partes de ese costo (es decir, la cosecha) corresponde a mano de obra. Este estudio tuvo como objetivo comparar la productividad de la mano de obra y los costos de cosecha en palma joven de la especie *Elaeis oleifera* x *E. guineensis* (OxG) utilizando 2 herramientas diferentes de corte. La primera, fue un palín y, la segunda, un palín mecanizado. Desde el punto de vista metodológico, se realizó un estudio de tiempos y movimientos. Los resultados indican que el número de palmas cosechadas por un trabajador que utiliza un palín fue de 320 por día de trabajo (y cortó una media de 291 racimos de fruta fresca por día de trabajo). De otra parte, un trabajador que utilizó un palín mecanizado cosechó 546 palmas por día de trabajo (y en promedio cortó 551 racimos de fruta fresca por día de trabajo). Finalmente, el costo por tonelada de racimos de fruta fresca (RFF) cosechado disminuyó en 15 % usando el palín mecanizado. En otras palabras, el uso de la herramienta mecanizada es rentable.

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 43, Número 2, fue editada por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma. Se terminó de imprimir y encuadernar en los talleres de Estudio 45-8 S. A. S. en la ciudad de Bogotá-Colombia, con un tiraje de 1.500 ejemplares sobre papel Bond blanco de 90 g.