

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

PALMAS

Vol. 44 N°. 3

PROCESAMIENTO

Actividad antioxidante frente al radical libre DPPH• y contenido total de compuestos fenólicos en el aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari × La Mé)

SOSTENIBILIDAD

Estudio de costos de producción 2022 para plantaciones de palma de aceite referentes por su productividad

INSTITUCIONALIDAD

Niveles de madurez tecnológica: una oportunidad para categorizar los productos de Cenipalma



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

 **fedepalma**

CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

Gracias a la oportuna contribución de los palmicultores al **Fondo de Fomento Palmero,**

trabajamos por una
palmicultura colombiana
competitiva y sostenible



La cuenta del Fondo
de Fomento Palmero
es administrada por la
Federación Nacional de
Cultivadores de Palma
de Aceite, Fedepalma



Calle 98 No. 70-91
Tel: (601) 313 86 00
web.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
Hernán Mauricio Romero Angulo
Juliana Franco Acevedo

Comité Científico

Álvaro Campo Cabal, Ph.D.
Álvaro Silva, Ph.D.
Fernando Munévar, Ph.D.

Coordinación Editorial

Mónica Silva Saldaña

Especialista en Publicaciones digitales

Gabriel Alejandro Molano Rojas

Responsable de Publicaciones

Yolanda Moreno Muñoz

Centro de Información y Documentación

Giovanny E. Cortés

Traductor

Carlos Arenas

Diseño y diagramación

Lida R. Chaparro S.

CONTENIDO

EDITORIAL

- 6 Seguimos avanzando en la ruta de la sostenibilidad de la agroindustria
We persist in our journey towards enhancing the sustainability of agro-industry
Nicolás Pérez Marulanda

PROCESAMIENTO

- 8 Actividad antioxidante frente al radical libre DPPH• y contenido total de compuestos fenólicos en el aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari × La Mé)
DPPH•-free radical scavenging activity and total phenolic content of high-oleic palm oil (Coari × La Mé)
González-Díaz, Alexis; García Núñez, Jesús Alberto
- 30 Metodología analítica para la determinación del contenido de cloro total en aceite de palma crudo mediante análisis elemental (oxidativo y microcoulombimetría)
Analytical methodology for the determination of total chlorine content in crude palm oil by elemental analysis (oxidative and microcoulometry)
Zárate Jiménez, Juliana Maritza; Rodríguez Palacio, Néstor Javier; Baquero Giraldo, Brayan Alonso; García-Núñez, Jesús Alberto

SOSTENIBILIDAD

- 43 Estudio de costos de producción 2022 para plantaciones de palma de aceite referentes por su productividad
2022 Production Cost Study on High Yield Oil Palm plantations
Mosquera-Montoya, Mauricio; Ruiz-Álvarez, Elizabeth; Munévar-Martínez, Daniel Eduardo; Guerrero, Anderson; Cala, Silvia L.; Silva, Andrés; Arteaga, Juan S.

COMERCIALIZACIÓN Y MERCADOS

56 Índice de costos para la palma de aceite (ICPA)

Cost index for oil palm (ICPA)

Mosquera-Montoya, Mauricio; Ruiz-Álvarez, Elizabeth; Munévar Martínez, Daniel E.; Estupiñán-Villamil, María C.; Sinisterra-Ortiz, Kelly X.

INSTITUCIONALIDAD

70 Niveles de madurez tecnológica: una oportunidad para categorizar los productos de Cenipalma

Technology readiness levels (TRL): an opportunity to categorize Cenipalma products

Rivera Méndez, Yurany Dayanna; Romero, Hernán Mauricio

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)
- 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 y desde allí se hará el contacto con el pautante.

Editorial Policy for Palmas Journal

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

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

The journal is aimed at the entire oil palm sector, plantation managers, directors, and agronomists, the representative bodies of the agricultural sector in general, the different institutions of the government, the oils and fats industries, animal feed industry, industries with non-edible applications of palm oils, and national and international research and educational centers 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 process via OJS through 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, Institutional, 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.

Seguimos avanzando en la ruta de la sostenibilidad de la agroindustria

Finaliza el 2023, y después de un continuo trabajo por parte de la Federación, estamos satisfechos de los avances presentados en el sector. Muchos de los logros de este año están relacionados con la sostenibilidad de nuestra agroindustria, una de nuestras grandes apuestas.

Esta edición incluye, por una parte, un artículo en el que se determinó el contenido total de compuestos fenólicos, al igual que la capacidad antioxidante en extractos metanólicos de aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari × La Mé), crudo y comercial, de distinta procedencia.

Adicionalmente, se aborda una metodología analítica para la determinación del contenido de cloro total en aceite de palma crudo, importante para los aceites que están sujetos a controles de calidad y seguridad alimentaria. En materia económica, se presentan los resultados de la estimación de costos de producción en empresas referentes de adopción de tecnología y altos rendimientos del cultivo.

Otro de los artículos reseña los coeficientes técnicos para el cultivo de palma de aceite de *E. guineensis* y cultivares OxG a partir de la construcción de un Índice de costos para el cultivo de la palma de aceite (ICPA). Finalmente, se presenta la categorización tecnológica de los productos de Cenipalma por medio de una guía que determina el Nivel de Madurez Tecnológica de un proyecto.

Quiero terminar este editorial reconociendo la valiosa información que esta revista comparte con el palmicultor y resaltando la investigación y la transferencia tecnológica como herramientas para superar barreras de nuestra cadena de valor. Indudablemente, estos contenidos aportan al fortalecimiento del sector palmicultor como motor de transformación sostenible e inclusiva del campo colombiano.

Para el siguiente período ratificamos nuestro compromiso de continuar desarrollando y compartiendo conocimiento e información de valor que les permita tomar decisiones más informadas.

Les deseo a todos un próspero y venturoso 2024.

NICOLÁS PÉREZ MARULANDA
Presidente Ejecutivo de Fedepalma

We persist in our journey towards enhancing the sustainability of agro-industry

As we bid farewell to 2023, the Federation is satisfied by the continuous efforts that have propelled progress within our sector. The strides made this year echo our unwavering commitment to the sustainability of our agribusiness—a cornerstone of our strategic endeavors.

This edition unfolds with an insightful article delving into the meticulous determination of phenolic compound content and antioxidant capacity in methanolic extracts of palm oil, distinguishing between Coari ax La Mé varieties, both crude and commercial, originating from diverse sources. A parallel exploration tackles the critical analytical methodology for gauging total chlorine content in crude palm oil—an essential facet for oils subject to stringent quality and food safety controls.

In the realm of economics, we present the outcomes of estimating production costs in industry-leading companies embracing technological adoption and achieving high crop yields. Another article undertakes a comprehensive review of technical coefficients pertinent to oil palm cultivation, drawing insights from *E. guineensis* and OxG cultivars, elucidated through the formulation of a Cultivation Cost Index (ICPA, acronym in Spanish).

Our editorial journey concludes with a meticulous presentation of the technological categorization of Cenipalma products. A guide delineates the Technological Maturity Level of projects, providing stakeholders with a nuanced understanding.

In closing, I express my recognition for the invaluable information shared within these pages—a wealth of knowledge for palm growers. The emphasis on research and technology transfer emerges as instrumental in surmounting obstacles within our value chain. These contents undeniably fortify the palm oil sector, positioning it as a catalyst for sustainable and inclusive transformation across the Colombian countryside.

As we embark on the next period, our commitment remains resolute. We pledge to persist in developing and disseminating knowledge, empowering informed decision-making.

I wish you all a prosperous and joyous 2024.

NICOLÁS PÉREZ MARULANDA
CEO of Fedepalma

Actividad antioxidante frente al radical libre DPPH• y contenido total de compuestos fenólicos en el aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari × La Mé)

DPPH•-free radical scavenging activity and total phenolic content of high-oleic palm oil (Coari × La Mé)

CITACIÓN: González-Díaz, A., & García-Núñez, J. A. (2023). Actividad antioxidante frente al radical libre DPPH• y contenido total de compuestos fenólicos en el aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari × La Mé). *Palmas*, 44(3), 8-29.

PALABRAS CLAVE: aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico – APAO, polifenoles, radicales libres, antioxidantes, vitamina E.

KEYWORDS: high oleic palm oil – HOPO, polyphenols, free radicals, antioxidants, vitamin E.

ALEXIS GONZÁLEZ-DÍAZ

Asistente de Investigación I, Programa de Procesamiento.

JESÚS ALBERTO GARCÍA-NÚÑEZ

Investigador Titular, Coordinador Programa de Procesamiento.

Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.

Autor para correspondencia:
agonzalezd@cenipalma.org;
jgarcia@cenipalma.org

ACRÓNIMOS

2,2-difenil-1-picrilhidracilo	DPPH•
Aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico	APAO
Aceite de palma crudo	APC
Ácido gálico	AG
Cultivar híbrido Coari × La Mé	O×G C×L
Equivalentes de ácido gálico	EAG
Especies reactivas de oxígeno	EROs

Resumen

El aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari × La Mé) es un sustrato rico en compuestos menores con actividad biológica y funcional que, en dosis adecuadas, promueven el correcto desarrollo de la visión, facilitan la reparación del tejido conjuntivo, estimulan el sis-

tema inmunitario y brindan protección frente a especies reactivas de oxígeno. Los radicales libres son especies químicas altamente reactivas que pueden ocasionar perturbaciones a nivel celular, al facilitar la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y de los aminoácidos que constituyen las proteínas. El consumo regular de alimentos ricos en antioxidantes naturales como carotenoides, tocotrienoles, tocoferoles, fenoles, polifenoles e isoprenoides minimiza la reactividad de los agentes oxidantes a nivel celular y son aliados para combatir el estrés oxidativo.

En este estudio se determinó el contenido total de compuestos fenólicos, al igual que la capacidad antioxidante en extractos metanólicos de aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico, crudo y comercial, de distinta procedencia, por medio del ensayo de Folin-Ciocalteu y del método del radical libre DPPH[•] (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), correspondientemente. En los extractos metanólicos del aceite crudo, recolectado en dos plantas de beneficio de palma de aceite (A y B), se estimaron concentraciones medias de fenoles totales expresadas en términos equivalentes de ácido gálico, de $22,4 \pm 1,93$ mg EAG·100g⁻¹ y de $21,5 \pm 2,80$ mg EAG·100g⁻¹, respectivamente, mientras que en los extractos metanólicos del aceite comercial Nolí[®] se determinó un contenido promedio equivalente de $15,8 \pm 0,82$ mg EAG·100g⁻¹. De otro lado, los extractos metanólicos del aceite crudo tomado en las plantas de beneficio A y B inhibieron el radical libre DPPH[•] en cerca del 77,7 % y del 74,0 %, correspondientemente. Asimismo, los extractos metanólicos del aceite comercial Nolí[®] lograron inhibir el mismo radical en un promedio de 76,4 %.

Tanto el contenido total de fenoles como el porcentaje de inhibición del radical libre DPPH[•] fueron propiedades que se mostraron superiores en los extractos metanólicos del aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico, crudo y comercial, al hacer un contraste con estas mismas características, pero determinadas en extractos metanólicos de aceite de palma crudo extraído de cultivares de palma tipo *tenera* cruce Dura × Pisifera – D×P, de *Elaeis guineensis* Jacq.

Abstract

High oleic palm oil is rich in minor compounds with biological and functional activity that, at adequate doses, promote correct visual development, facilitate connective tissue repair, stimulate the immune system, and protect against reactive oxygen species. Free radicals are highly reactive chemical species that can cause cellular disturbances by facilitating the oxidation of polyunsaturated fatty acids and amino acids that constitute proteins. Regular consumption of foods rich in natural antioxidants such as carotenoids, tocotrienols, tocopherols, phenols, polyphenols, and isoprenoids minimize the reactivity of oxidative agents at the cellular level and is allies in combating oxidative stress.

In this study, the total phenolics content and antioxidant capacity of crude and commercial high oleic palm oil methanolic extracts from different sources was determined by the Folin-Ciocalteu test and the DPPH[•] (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) free radical method, respectively. In the methanolic extracts of the crude oil collected in two palm oil mills (A and B), the mean total phenol content expressed in gallic acid equivalents was 22.4 ± 1.93 mg GAE·100g⁻¹ and 21.5 ± 2.80 mg GAE·100g⁻¹, respectively, while in the methanolic extracts of the Nolí[®] commercial oil, the mean equivalent content was 15.8 ± 0.82 mg GAE·100 g⁻¹. The methanolic extracts of the crude oil collected from palm oil processing mills A and B inhibited DPPH[•] by approximately 77.7% and 74.0%, respectively. Likewise, the methanolic extracts of the Nolí[®] commercial oil inhibited the same radical by an average of 76.4%.

Both the total phenol content and the percentage inhibition of the free radical DPPH[•] were properties that were superior in the methanolic extracts of palm oil with higher oleic acid content, crude and commercial, in contrast with these same characteristics, but determined in methanolic extracts of crude palm oil extracted from palm cultivars *Elaeis guineensis* Jacq. type *tenera* Dura × Pisifera – D×P.

1. Introducción

Más del 35 % del consumo total de aceites vegetales en el mundo está dominado por el aceite de palma (K. Kumar, 2016). Para el año 2022, cerca de 77.744 Mt de aceite de palma fueron producidas en todo el mundo (USDA-FAS, 2023). Siendo Indonesia (46.000 Mt), Malasia (18.600 Mt), Tailandia (3.415 Mt), Colombia (1.768 Mt) y Nigeria (1.400 Mt) los mayores productores a nivel mundial (USDA-FAS, 2023). En las plantas de beneficio, el aceite de palma crudo (APC) se obtiene por extracción mecánica, bajo condiciones específicas de presión y de temperatura, de los frutos maduros producidos por los cultivares de palma africana de *Elaeis guineensis* Jacq. tipo *tenera* (i.e. Dura × Pisifera (D×P)) o de los híbridos interespecíficos entre las especies *Elaeis oleifera* [Kunth] Cortés y *Elaeis guineensis* Jacq., comúnmente conocidos como híbridos O×G.

Elaeis oleifera [Kunth] Cortés es una palma del género *Elaeis*, endémica de América, extendida en el sur y centro del continente americano (Osorio-Guarín *et al.*, 2019). *Elaeis oleifera* se hibrida fácilmente con *Elaeis guineensis* Jacq. para ofrecer cultivares de palma con rasgos vegetativos diferenciados y favorables para la cosecha (e.g., lenta tasa de crecimiento) o para el cultivo (e.g., mayor resistencia a plagas y enfermedades) (Almeida *et al.*, 2019; Alvarado, Escobar, & Henry, 2013). Motivo por el cual, los híbridos O×G fueron propuestos como una alternativa para enfrentar la problemática fitosanitaria provocada por la enfermedad de la pudrición del cogollo (PC), que arrasó con numerosas plantaciones de palma en distintas zonas de Colombia y de Latinoamérica (Corredor *et al.*, 2008; Meléndez & Ponce, 2016; Torres *et al.*, 2016).

El aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (APAO) es extraído del cultivar híbrido “Coari × La Mé” (C×L). El APAO presenta una concentración de ácidos grasos insaturados superior a la del aceite de palma procedente de los cultivares de palma *tenera* D×P, e incluso, mayor al de otros cultivares de híbridos O×G (e.g. Manaos × Compacta, Cereté × Deli o Brasil × Djongo) (González-Díaz *et al.*, 2022). Cerca del 68,5±3,2 % m/m del APAO está constituido

por ácidos grasos insaturados, de los que se destacan el ácido oleico (ácido graso monoinsaturado, 54,9±3,5 % m/m) y el ácido linoleico (ácido graso poliinsaturado, 10,6±1,5 % m/m) (Urrego M. *et al.*, 2019). Por otra parte, la vitamina E (α-, β-, δ- y γ-tocoferol y α-, β-, δ- y γ-tocotrienol), los carotenoides (α- y β-caroteno, principalmente), el escualeno y los fitoesteres (stigmasterol, β-sitosterol, campesterol y colesterol) conforman la mayor parte del grupo de constituyentes minoritarios del APAO (1 % m/m del aceite) (González-Díaz *et al.*, 2021b, 2021a; Ojeda *et al.*, 2017).

En APAO crudo extraído de racimos de fruta fresca en la etapa fenológica 807, que corresponde al punto óptimo de cosecha para el cultivar híbrido C×L, Rincón-Miranda *et al.* (2013) determinaron concentraciones promedio de vitamina E, de carotenoides y de fitoesteres, de 1.316 mg·kg⁻¹, de 820 mg·kg⁻¹ y de 941 mg·kg⁻¹, respectivamente. Por otra parte, el escualeno fue reportado por Mozzon, Pacetti, Frega, & Lucci (2015), en un promedio de 2.474±33 mg·kg⁻¹ en la fracción insaponificable del APAO. En contraste, el contenido de escualeno en aceites vegetales producidos a partir de otras oleaginosas se ha determinado en: 22-26 mg·kg⁻¹ en aceite de girasol (Pramparo *et al.*, 2005); 100-270 mg·kg⁻¹ en aceite de maíz (Sugihara *et al.*, 2010); 12-1.800 mg·kg⁻¹ en aceite de soja (Gunawan *et al.*, 2008); y en 5.020 mg·kg⁻¹ en aceite de oliva (Beltrán *et al.*, 2016).

Desde otra perspectiva, el APAO para consumo humano disponible en superficies comerciales bajo la marca Nolí[®] corresponde a oleína roja fraccionada en frío del APC extraído de los híbridos interespecíficos O×G C×L, previamente neutralizado, secado y desodorizado al vacío, a temperaturas inferiores a los 140 °C. De conformidad con lo establecido en la ficha técnica del producto, el contenido de vitamina E y de carotenoides en el APAO Nolí[®] puede abarcar un rango comprendido entre 900-1.100 mg·kg⁻¹ y entre 1.100-1.400 mg·kg⁻¹, correspondientemente (Hacienda la Cabaña S.A, 2012). De manera complementaria, el APAO se destaca por ser un producto de origen natural, no modificado genéticamente.

De otro lado, los radicales libres y sus derivados, los iones de oxígeno y los peróxidos orgánicos e in-

orgánicos forman parte del grupo de compuestos denominados como especies reactivas de oxígeno (EROs) (Liochev, 2013). Las EROs son moléculas altamente reactivas que pueden tener efectos nocivos a nivel celular, están involucradas en la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y de los aminoácidos en las proteínas, además, ocasionan perturbaciones en el ADN (Allen & Tresini, 2000). La formación de las EROs tiene lugar de manera espontánea en la cadena respiratoria mitocondrial, aunque también se encuentran de forma natural en el medio ambiente (Winterbourn, 2015). A nivel celular, el estrés oxidativo es ocasionado por el desequilibrio entre la producción de EROs y la incapacidad del sistema biológico de decodificar rápidamente y generar reactivos intermedios antioxidantes (Liguori *et al.*, 2018). La vitamina E es un antioxidante potente, capaz de neutralizar radicales libres al donar átomos de hidrógeno presentes en el grupo hidroxilo-fenólico asociado a su estructura (Peh *et al.*, 2016), lo que resulta en un compuesto de alto valor nutricional capaz de combatir el estrés oxidativo causado por la presencia de EROs en sistemas biológicos (Goon *et al.*, 2017). De otro lado, el escualeno es una sustancia bioactiva perteneciente a la clase de antioxidantes denominados como isoprenoides, que tienen la capacidad de prevenir los efectos nocivos de las EROs sobre componentes celulares (Buddhan *et al.*, 2007; Narayan Bhilwade *et al.*, 2010). Por otra parte, el β -caroteno actúa como un potente antioxidante que combate los radicales libres presentes de manera natural en el ambiente (Fiedor & Burda, 2014), razón por la que es empleado como aditivo en productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos (Balić & Mokos, 2019; Dini & Laneri, 2019; Meléndez-Martínez *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2018a; Stahl & Sies, 2012). Otros estudios indican que este grupo de fitoquímicos, especialmente los tocotrienoles, los tocoferoles y el β -caroteno tienen una capacidad para la neutralización de radicales libres similar a la de los polifenoles (Beta & Hwang, 2018; Bohm *et al.*, 2002; Siriamornpun & Kaewseejan, 2017).

En adición a lo anterior, varios estudios han identificado los efectos benéficos que tienen los polifenoles en el cuerpo humano, especialmente sobre el sistema cardiovascular (Cardona *et al.*, 2013; Ma & Chen, 2020). Los polifenoles disminuyen la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Giacco *et al.*, 2020;

Majidinia *et al.*, 2020), lo que es de vital importancia ya que son consideradas la primera causa de muerte en el mundo. Según la evidencia, los polifenoles son vasodilatadores y mejoran el perfil lipídico en sangre (Grabež *et al.*, 2020), y atenúan la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL – *low density lipoprotein*– por sus siglas en inglés) (Luo *et al.*, 2020). Además de lo anterior, los polifenoles poseen efectos antiinflamatorios y son potentes antioxidantes (Quiñones *et al.*, 2012).

Ahora bien, ¿qué se sabe de la actividad antioxidante y del contenido total de compuestos fenólicos en el APAO?, ¿cómo poder evaluar estos parámetros? Se conoce entonces que el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH $\cdot$) es susceptible de reaccionar con compuestos antioxidantes por medio de un mecanismo de reacción caracterizado por la transferencia de un átomo de hidrógeno procedente del sustrato antioxidante (Goupy *et al.*, 2003). Por esta razón, el radical libre DPPH $\cdot$ es utilizado de manera frecuente para determinar la capacidad antioxidante de distintos extractos orgánicos (Agarwal *et al.*, 2018; Ofori-Boateng & Lee, 2013; Ribeiro *et al.*, 2018b; Teh & Birch, 2014). En otra medida, el ensayo de Folin-Ciocalteu permite estimar la concentración de compuestos fenólicos y polifenólicos totales en una muestra líquida, al evaluar la capacidad reductora de estos sustratos frente al complejo de molibdeno (VI) presente en solución (Piechowiak *et al.*, 2020).

El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad antioxidante y el contenido total de compuestos fenólicos en APAO, crudo y comercial, de diferente procedencia. Este trabajo pretende generar información nueva y valiosa para los diferentes actores relacionados con la producción y comercialización del APAO, así como promover la manufactura de productos funcionales con las mejores características de calidad y beneficios nutricionales para los consumidores.

2. Materiales y métodos

2.1. Recolección de las muestras

Las muestras de APAO crudo fueron recolectadas en las plantas de beneficio de Guaicaramo S.A.S. (Barranca de Upía, Meta) ($n = 120$) y de Hacienda La Cabaña S.A. (Cumará, Meta) ($n = 120$), siguiendo las

recomendaciones y buenas prácticas establecidas en el método C1-47 de la *American Oil Chemists' Society* (AOCS, 2017). Adicionalmente, un grupo conformado únicamente por muestras de APC extraído de los cultivares de palma tipo *tenera* D×P - APC D×P ($n = 120$) fue colectado en la planta de beneficio de Guaicaramo S.A.S. con el propósito de realizar un contraste entre el poder de inhibición del radical libre DPPH• y el contenido total de compuestos fenólicos en el APAO, versus estas mismas variables determinadas en el APC D×P. Las muestras de APAO comercial Nolí® fueron adquiridas con Del Llano Alto Oleico S.A.S ($n = 10$). Todas las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Procesamiento de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, ubicado en el Campo Experimental Palmar de las Corocoras, CEPC (Paratebueno, Cundinamarca).

2.2. Obtención de los extractos metanólicos de APAO y de APC D×P

La obtención de los extractos metanólicos del APAO crudo, del APAO comercial Nolí® y del APC D×P se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Szydłowska-Czerniak, Trokowski, Karlovits, & Szłyk (2011), con algunas modificaciones. Para lo cual, 3,0 g de cada una de las muestras de APAO crudo o comercial Nolí®, o de APC D×P, fueron sometidas a extracción sólido-líquido durante 10 minutos (min) empleando metanol (Merck Millipore-LiChrosolv®) y un agitador Vortex (Velp Scientifica, Usmate Velate (MB) - Italy). Posteriormente, el sobrenadante (extracto metanólico) fue dispuesto en viales de vidrio color ámbar y almacenado a -20 °C hasta su análisis.

2.3. Determinación de la capacidad antioxidante en los aceites de estudio por el método del radical libre DPPH•

La determinación de la capacidad antioxidante por el método de reducción del radical DPPH• se realizó conforme a lo descrito por Brand-Williams, Cuvelier, & Berset (1995), con algunas modificaciones. En este estudio, 150 µL de extracto metanólico de cada una de las muestras de APAO crudo y comercial, de APC D×P o del respectivo patrón de calibración de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-

carboxílico) fueron dispuestos en un tubo de ensayo de 10 mL de capacidad color ámbar. Posteriormente, 2,85 mL de la solución del radical libre DPPH• (70 µM en metanol) fueron agregados al tubo de ensayo. La solución se homogenizó por 20 segundos (s) en un agitador Vortex (Velp Scientifica, Usmate Velate (MB) - Italy) y se incubó a 37 °C durante 1 hora. Finalmente, se determinó la absorbancia de las muestras o la absorbancia de los patrones de calibración de Trolox en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 516 nm (Thermo Scientific™ UV Vis Genesys™ 10S), utilizando metanol o la solución del radical libre DPPH• como blancos de la metodología, correspondientemente. La curva de calibración fue preparada a partir de soluciones patrón de Trolox (Merck Millipore) en metanol, con concentraciones entre 99,29 µM y 595,78 µM, en presencia de la solución del radical libre DPPH• (Merck Millipore), siguiendo el procedimiento anteriormente descrito. El porcentaje de inhibición del radical libre DPPH• para la generación de la curva de calibración se calculó según la Ecuación 1.

$$\text{Inhibición del radical libre DPPH}^\bullet (\%) = \frac{A_{\text{DPPH}^\bullet} - A_{\text{Muestra}}}{A_{\text{DPPH}^\bullet}} \times 100$$

Ecuación 1. Estimación del porcentaje de inhibición del radical libre DPPH• frente a Trolox. En donde: $A_{\text{DPPH}^\bullet}$: absorbancia a 516 nm de la solución del radical libre DPPH• en metanol y A_{Muestra} : absorbancia a 516 nm de la solución del radical libre DPPH• + extracto de aceite (o patrón de calibración de Trolox).

2.4. Determinación de la concentración equivalente de compuestos fenólicos totales en los aceites de estudio por el método de Folin-Ciocalteu

El contenido equivalente de fenoles totales en los extractos metanólicos de las muestras de estudio se determinó siguiendo la metodología descrita por Wootton-Beard, Moran, & Ryan (2011), con algunas modificaciones. En este trabajo, 200 µL de extracto metanólico de cada una de las muestras de APAO crudo y comercial, de APC D×P o del respectivo patrón de calibración de ácido gálico, fueron adicionados a 400 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10 v/v, en agua destilada ultrapura), contenidos en un tubo

de ensayo color ámbar, la solución se agitó durante 10 s en Vortex (Velp Scientifica, Usmate Velate (MB) - Italy) y se almacenó protegida de la luz. Pasados 5 minutos, 1.600 μL de solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) (700,4 nM) fueron agregados al tubo de ensayo. Posteriormente, las muestras y los patrones de calibración de ácido gálico se incubaron durante 2 horas a temperatura ambiente. Por último, la absorbancia de las muestras o la absorbancia de los patrones de calibración de ácido gálico fue determinada a una longitud de onda de 768 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific™ UV Vis Genesys™ 10S). La curva de calibración fue preparada a partir de soluciones patrón de ácido gálico (Merck Millipore) con concentraciones entre 58,99 μM y 1.179,78 μM , en presencia del reactivo de Folin-Ciocalteu, siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.

2.5. Análisis estadístico

Los resultados se presentan como medias aritméticas de al menos tres réplicas más o menos sus desviaciones estándar ($\pm$). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y una comparación de medias empleando la prueba t de Student para muestras independientes (distribución t de Student), con un nivel de significancia de 0,05 ($\alpha = 0,05$). El ajuste de las curvas de calibración de los métodos analíticos desa-

rollados se evaluó con base en el valor de R^2 de las regresiones lineales simples obtenidas por triplicado. Las pruebas estadísticas se realizaron empleando el Software Minitab® 19 (Minitab Inc., PA, USA).

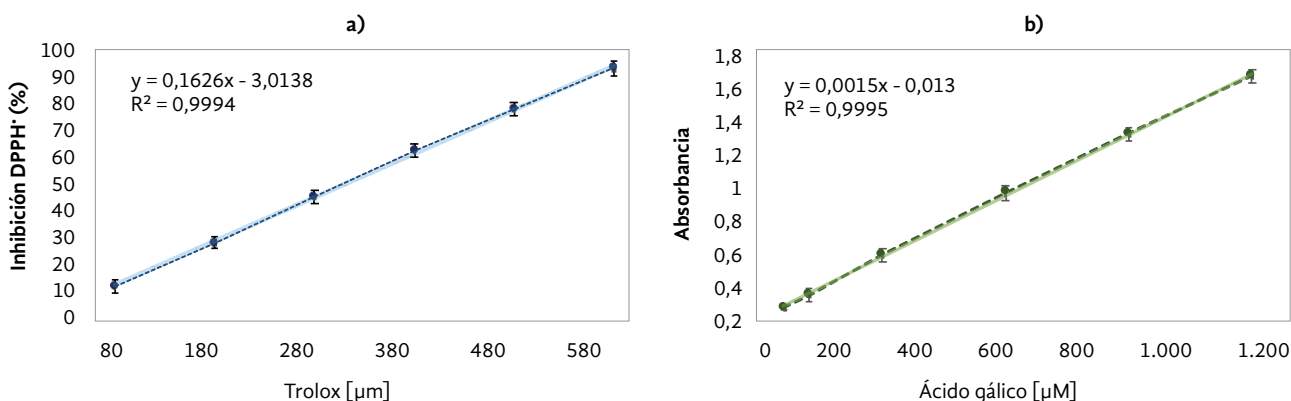
3. Resultados y discusión

3.1. Estandarización de las metodologías analíticas

La Figura 1 muestra las calibraciones logradas en la estandarización de las metodologías analíticas. Cada uno de los puntos en las curvas de calibración para la estimación de las variables en este estudio (Figura 1-a y Figura 1-b) fueron analizados por triplicado para determinar la precisión, la exactitud y la linealidad de los modelos obtenidos espectrofotométricamente.

Con base en los criterios de aceptación establecidos en los trabajos por de Menezes Nogueira *et al.* (2019); Muharis *et al.* (2010); Song *et al.* (2017); Szydłowska-Czerniak & Łaszewska (2015) y Teixeira *et al.* (2013), un R^2 para la recta de ajuste superior a 0,995 y una desviación estándar relativa (DER) inferior al 5,0 %, son admisibles en calibraciones espectrofotométricas para la determinación de la capacidad antioxidante por el método del radical libre DPPH•, al igual que para la estimación de la concen-

Figura 1. Curva de calibración para: a) estimación del porcentaje de inhibición del radical libre DPPH• y b) cuantificación del contenido total de compuestos fenólicos y polifenólicos, en los aceites de estudio.



tración de compuestos fenólicos y polifenólicos totales siguiendo la metodología de Folin-Ciocalteu. Conforme lo anterior, las curvas de calibración desarrolladas en este estudio para la caracterización de las dos variables en cuestión (Figura 1) cumplen con los criterios determinados en los trabajos por los autores mencionados previamente.

Tanto el método del radical libre DPPH[•] como el método de Folin-Ciocalteu, en este estudio, se caracterizaron por una repetibilidad satisfactoria con una DER del 2,03 % y del 3,22 %, respectivamente (Tabla 1). Los valores de los parámetros de estandarización para ambas metodologías se presentan en la Tabla 1.

Los dos métodos resultaron ser aplicables para la caracterización de ambas variables en los extractos metanólicos de APAO crudo y comercial y de APC D×P. La técnica del radical libre DPPH[•] presentó niveles más altos de detección que la metodología de Folin-Ciocalteu; no obstante, ambas técnicas mostraron resultados satisfactorios en lo relacionado con la recuperación de analitos, superiores al 95 %, para ambos casos (Tabla 1). El porcentaje medio de recuperación del Trolox [μM] en el método del radical libre DPPH[•] fue del 97,32 %, mientras que el porcentaje promedio de recuperación del ácido gálico, siguiendo la técnica de Folin-Ciocalteu, fue del 96,77 %. Resultados similares se encontraron en trabajos por Abbas *et al.* (2014) y Qarah *et al.* (2017).

3.2. Capacidad antioxidante y contenido total de fenoles en APAO y en APC D×P

En la Figura 2 se presenta el porcentaje promedio de inhibición del radical libre DPPH[•] por los extractos metanólicos de las muestras de APAO crudo y comercial y de APC D×P. En los extractos metanólicos de las muestras de APAO de la planta de beneficio

A se determinaron porcentajes mínimos y máximos de inhibición del radical libre DPPH[•] de 73,67±1,43 % y de 87,83±2,03 %, respectivamente; mientras que en los extractos metanólicos de las muestras de APAO de la planta de beneficio B se estimaron valores mínimos y máximos para la misma variable de 70,83±1,13 % y de 81,92±3,13 %, correspondientemente. El APAO comercial Nolí[®] mostró valores mínimos de 72,28±0,93 % y máximos de 78,67±2,45 %, en el ensayo de inhibición del radical libre DPPH[•]; en contraste, los extractos metanólicos del APC D×P inhibieron el radical libre DPPH[•] en un mínimo del 41,73±2,12 % y en un máximo del 58,57±1,91 %. En otros estudios, (Ferreira *et al.*, 2016) evaluaron el poder de inhibición del radical libre DPPH[•] por extractos de APC D×P con un resultado promedio de 56,83±2,49 %. El resultado anterior fue consistente con la media aritmética estimada para la misma variable, en el presente estudio, para las 120 muestras analizadas de APC D×P. Además, se mantuvo dentro de los valores límites mínimos y máximos determinados en el análisis de este mismo tipo de aceite (Figura 2).

Así pues, un porcentaje mayor de inhibición del radical libre DPPH[•] por los extractos metanólicos del APAO puede ser atribuido a un contenido superior de compuestos con propiedades antioxidantes en dicho sustrato (e.g., tocoferoles, tocotrienoles, fenoles, escualeno y carotenoides), en comparación con la concentración de estos mismos compuestos encontrados de forma regular en el APC D×P. Como evidencia de lo anterior y de conformidad con lo estipulado en el *Report of the 26th Session of the Codex Committee on Fats and Oils* (2019), el APAO puede contener hasta 1.417 mg·kg⁻¹ de vitamina E, mientras que en el APC D×P es común encontrar concentraciones de este mismo complejo vitamínico de entre

Tabla 1. Parámetros de estandarización asociados a cada método analítico.

Prueba	Rango de linealidad	LDM*	LCM**	DER***	R ²	Recuperación (%)
Radical libre DPPH [•] (μM Trolox)	99,296 - 595,78 μM	0,021 μM	99,29 μM	0,0203	0,9991	97,32
Folin-Ciocalteu (μM Ácido gálico)	58,99 - 1.179,78 μM	0,042 μM	58,99 μM	0,0322	0,9988	96,77

*LDM: Límite de detección del método analítico; **LDC: Límite de cuantificación del método analítico; ***DER: desviación estándar relativa.

500–800 mg·kg⁻¹ (Sambanthamurthi *et al.*, 2000). De igual manera, el contenido de carotenoides en el APAO puede alcanzar valores promedio de 1.172,1 mg·kg⁻¹, de acuerdo con el trabajo por Chaves, Ligarreto-Moreno y Cayon-Salinas (2018), mientras que puede comprender valores entre 500–700 mg·kg⁻¹ en el APC D×P (Zou *et al.*, 2012).

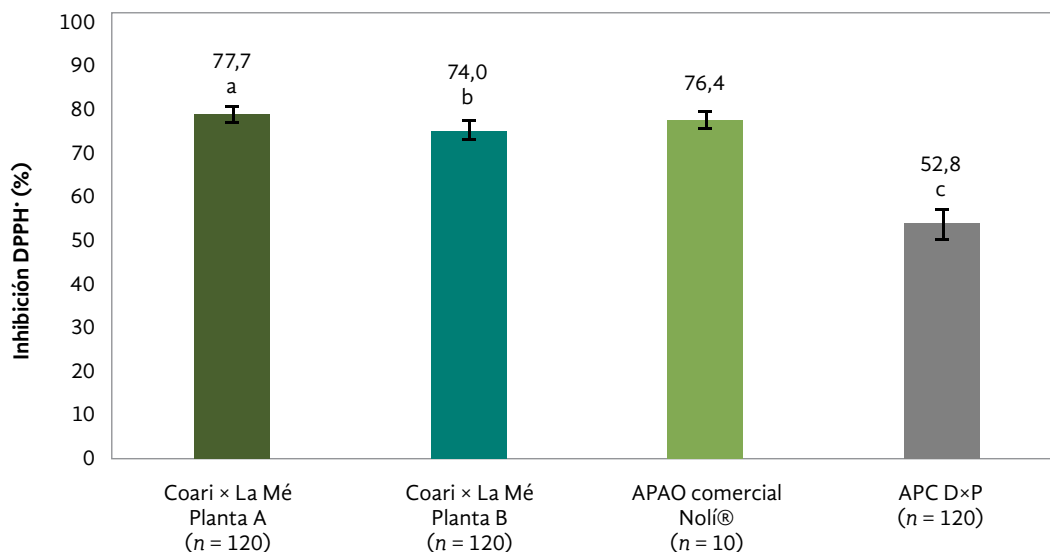
En este estudio, la metodología analítica descrita para la determinación de la capacidad antioxidante por el método del radical libre DPPH[•], implementa Trolox como estándar de referencia. El Trolox es un análogo de la vitamina E, utilizado como antioxidante en aplicaciones biológicas o bioquímicas para reducir el estrés oxidativo o evitar alteraciones o daños causados por las EROs (Grajeda-Iglesias *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2015a). En laboratorio, el Trolox es usado de manera regular para representar la cantidad, en forma equivalente, de compuestos con actividad antioxidante en un sustrato previamente disuelto en una solución, suele denotarse como: μmol Trolox·100g⁻¹ (Piang-Siong *et al.*, 2017). En promedio, las muestras de APAO recolectadas en las plantas de beneficio A y B, al igual que las muestras de Nolí[®] presentaron un

contenido equivalente al Trolox de 82,2±1,43 μmol Trolox·100g⁻¹, de 79,4±1,17 μmol Trolox·100g⁻¹ y de 80,3±3,21 μmol Trolox·100g⁻¹, respectivamente.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al contenido equivalente al Trolox de compuestos antioxidantes o al porcentaje de inhibición del radical libre DPPH[•], entre las muestras de APAO crudo recolectadas en las plantas de beneficio A (*n* = 120) y B (*n* = 120) (*p* > 0,05).

A pesar de que el porcentaje de inhibición del radical libre DPPH[•] por los extractos metanólicos de las muestras de APAO comercial Nolí[®] se comporta aparentemente similar al exhibido por las muestras de APAO crudo de ambas plantas de beneficio, no se pueden atribuir diferencias o semejanzas estadísticas para la variable en estudio entre los aceites crudos y refinados, dada la cantidad de muestras analizadas para el APAO comercial (*n* = 10). Sin embargo, puede llegarse a considerar que, bajo las condiciones de este trabajo, el contenido de compuestos con actividad antioxidante en el APAO no decrece ni se modifica de manera sustancial entre las etapas de su extracción en las plantas de beneficio, durante su re-

Figura 2. Porcentaje de inhibición del radical libre DPPH[•] por extractos metanólicos de APAO crudo, de APAO comercial Nolí[®] y de APC D×P. Las barras de error corresponden al error estándar de la media. Los valores con las letras “a” y “b” no son estadísticamente diferentes entre ellos según la prueba t de Student (*p* > 0,05), con α = 0,05. Los valores con la letra “c” son significativamente diferentes de los valores con las letras “a” y “b”, según el ANOVA (*p* < 0,0021), con α = 0,05.



finación por cristalización secuencial en frío en las refinadoras (Ramli *et al.*, 2008), o durante su empaquetado y comercialización, lo que podría resultar en un factor de alto impacto para la salud de los consumidores y en valor agregado para la cadena de producción comercial de este tipo de aceite. No obstante, se hace necesario incrementar el número de muestras analizadas de APAO comercial Nolí® para la variable << porcentaje de inhibición del radical libre DPPH*>>, para poder validar la anterior afirmación.

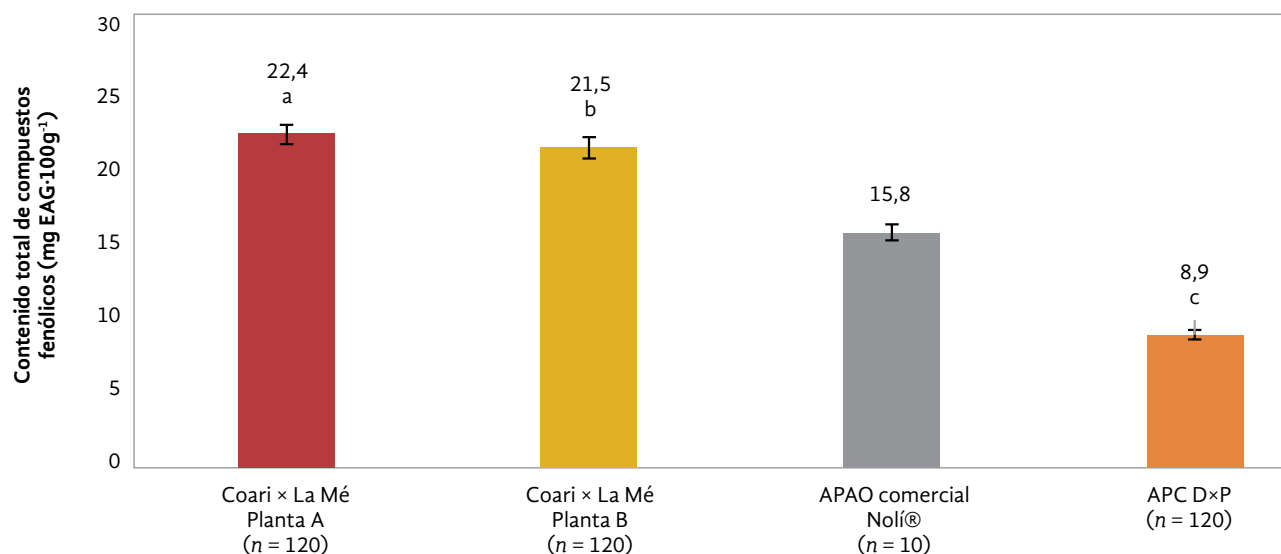
De otro lado, las muestras de APC D×P presentaron un contenido promedio equivalente al Trolox de $54,7 \pm 1,08 \mu\text{mol Trolox} \cdot 100\text{g}^{-1}$, muy por debajo del valor promedio encontrado en las muestras de APAO crudo y comercial. Además, tanto el contenido equivalente al Trolox de compuestos antioxidantes, como el porcentaje de inhibición del radical libre DPPH* por las muestras de APC D×P fueron estadísticamente diferentes a las mismas variables medidas en el APAO crudo recolectado en las plantas de beneficio A ($n = 120$) y B ($n = 120$) ($p < 0,0011$). Este resultado pudo atribuirse a una concentración mayor de vitamina E ($937,6$ – $1.549,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), de carotenoi-

des ($1.172,1$ – $1.449,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) y de otros antioxidantes, que se encuentra de forma natural y en mayor medida en el APAO, de acuerdo con el estudio por Chaves *et al.* (2018).

Por otra parte, el contenido total de compuestos fenólicos en las muestras de APAO crudo y comercial y de APC D×P se presenta en la Figura 3. El ácido gálico (AG) es el compuesto de referencia empleado de manera genérica para la cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu (Ojeda *et al.*, 2017; Wootton-Beard *et al.*, 2011b; Zhang *et al.*, 2015b). Los resultados a continuación son expresados en términos de concentración equivalente de ácido gálico – EAG ($\text{mg EAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$), de acuerdo con lo propuesto por Perry *et al.* (2001).

De los resultados se destaca que las muestras de APAO recolectadas en las plantas de beneficio A y B presentaron una concentración media equivalente de ácido gálico de $22,4 \pm 1,93 \text{ mg EAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$ y de $21,5 \pm 2,80 \text{ mg EAG} \cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente (Figura 3). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la concentración total de compuestos fenólicos, expresada en esta misma uni-

Figura 3. Compuestos fenólicos y polifenólicos totales en las muestras de APAO crudo y comercial y en las muestras de APC D×P. Las barras de error corresponden al error estándar de la media. Los valores con las letras “a” y “b” no son estadísticamente diferentes entre ellos según la prueba t de Student ($p > 0,05$), con $\alpha = 0,05$. Los valores con la letra “c” son significativamente diferentes de los valores con las letras “a” y “b”, según el ANOVA ($p < 0,0001$), con $\alpha = 0,05$.



dad, entre las muestras de APAO crudo recolectadas en ambas plantas de beneficio ($p > 0,05$). Por otra parte, el contenido total de compuestos fenólicos en las muestras de APAO comercial Nolí[®] fue en promedio de $15,8 \pm 0,82$ mg EAG·100g⁻¹.

En aceites vegetales, la disminución en la cantidad total de compuestos fenólicos y antioxidantes en general, puede estar asociada a diferentes factores, dentro de los que se destacan: la calidad de la materia prima (Alves *et al.*, 2020); el tiempo entre la cosecha y la extracción de los aceites (Rodríguez *et al.*, 2016a); la temperatura y la humedad durante la extracción de los aceites y durante su almacenamiento (Chinenye, 2020); la temperatura y los tratamientos químicos empleados durante la refinación física o química de los aceites vegetales (Guo *et al.*, 2016; Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2011b), y el deterioro causado por la oxidación enzimática y fotolítica (Morales & Przybylski, 2013). Así pues, un contenido inferior de fenoles totales en las muestras APAO comercial Nolí[®], en comparación con la cantidad de estos mismos compuestos en las muestras de APAO crudo, puede ser atribuido a uno o varios de los factores mencionados anteriormente. Además, la concentración de fenoles totales en las muestras de APAO crudo y comercial Nolí[®] fue en promedio superior a la cantidad de estos mismos compuestos determinada en las muestras de APC D×P ($8,9 \pm 1,06$ mg EAG·100g⁻¹). Resultados similares fueron reportados en los trabajos por Kumar & Krishna (2014) y por Szydłowska-Czerniak *et al.* (2011), en los que se determinaron contenidos totales de fenoles en APC D×P de $8,43 \pm 0,9$ mg EAG·100g⁻¹ y de $9,1 \pm 0,6$ mg EAG·100g⁻¹, respectivamente.

Por último, el contenido total de compuestos fenólicos en las muestras de APC D×P fue estadísticamente diferente a la misma variable medida en el APAO crudo recolectado en las plantas de beneficio A ($n = 120$) y B ($n = 120$) ($p < 0,0001$).

3.3. Coari × La Mé como fuente natural de compuestos antioxidantes liposolubles

En la Tabla 2 se indica el porcentaje de inhibición del radical libre DPPH[•] al igual que el contenido total de compuestos fenólicos en aceites vegetales extraídos de distintas oleaginosas. De conformidad con lo descrito en la Tabla 2, el APAO crudo, el Nolí[®], el aceite de sésamo y el aceite de soja crudo muestran

los niveles más altos de inhibición frente al radical libre DPPH[•] que otros de los aceites de origen vegetal relacionados allí mismo. De manera complementaria, es importante destacar que el APAO crudo y el Nolí[®] caracterizados en este trabajo, mantuvieron porcentajes de inhibición superiores a los reportados en el aceite de oliva crudo por Kalantzakis *et al.* (2006), frente al mismo radical (Tabla 2), lo que resulta ser en factor determinante para la explotación comercial del APAO que añade valor a la cadena de producción de este tipo de aceite. El APAO crudo y el APAO comercial son fuente natural de compuestos químicos de origen natural con propiedades antioxidantes ampliamente estudiadas, como los tocoferoles y los tocotrienoles (Seppanen *et al.*, 2010), los carotenoides (Fiedor & Burda, 2014), el escualeno (Sumi *et al.*, 2018) y los fenoles (Teow *et al.*, 2007), que al formar parte de las materias primas para la producción de alimentos (e.g., galletería, helados, salsas y aderezos, mayonesas, mantequilla de maní y derivados lácteos) y cosméticos (e.g., pintalabios, jabones de tocador, champús y cremas) puede aportar gran parte de los beneficios atribuidos a las propiedades químicas y biológicas de los compuestos mencionados anteriormente.

Por otra parte, el APC D×P caracterizado en este estudio, al igual que el APC D×P evaluado en los trabajos por Ferreira *et al.* (2016) y por Szydłowska-Czerniak *et al.* (2011), y el aceite de girasol estudiado por Janu *et al.* (2014), mostraron semejanzas en cuanto a los porcentajes de inhibición del radical libre DPPH[•] (Tabla 2), mientras que el aceite de oliva refinado en el trabajo por Gouvinhas *et al.* (2014) y el APC D×P blanqueado y desodorizado en el estudio por Szydłowska-Czerniak *et al.* (2011), presentaron los niveles más bajos de inhibición frente al mismo radical (Tabla 2).

En otro orden de ideas, el mayor contenido de compuestos fenólicos en los aceites vegetales relacionados en la Tabla 2 está presente en el aceite de soja crudo (Mohdaly *et al.*, 2017), seguido por el APAO crudo caracterizado en este estudio y por los aceites de semillas de algodón, de coco, Nolí[®], de oliva crudo y refinado, por el APC D×P y por el APC D×P blanqueado y desodorizado, por los aceites de girasol y de sésamo. Tanto en el APAO como en el aceite de oliva se presenta una disminución en el contenido total de fenoles después de la refinación de ambos aceites; sin

Tabla 2. Capacidad antioxidante y contenido fenólico total en aceites de origen vegetal.

Material	Inhibición radical libre DPPH* (%)	Fenoles (mg EAG·100g ⁻¹)	Referencias
APAO crudo	74,4±1,82 ^a -77,7±2,12 ^a	21,5±0,50 ^a -22,4±0,93 ^a	Este estudio
APAO comercial (Noli [®])	76,4±1,02 ^a	15,8±0,26 ^a	
APC D×P	52,8±1,17 ^a	8,9±0,16 ^a	
APC D×P	56,83±2,49	9,1±0,6	(Ferreira <i>et al.</i> , 2016b; Szydlowska-Czerniak <i>et al.</i> , 2011a)
APC D×P blanqueado y desodorizado	19,6-21,2	4,5±0,1	(Szydlowska-Czerniak <i>et al.</i> , 2011a)
Aceite de oliva crudo	N.R	~15,33 (7,28±0,38* + 8,04±0,69**)	(Gouvinhas <i>et al.</i> , 2014)
	37,5±0,3-44,0±0,1	15,1±0,3-16,2±0,4	(Kalantzakis <i>et al.</i> , 2006)
Aceite de oliva comercial – refinado	N.R	~ 13,44 (9,74±0,11* + 3,70± 0,11**)	(Gouvinhas <i>et al.</i> , 2014)
	28,4±0,3	N.R	(Kalantzakis <i>et al.</i> , 2006)
Aceite de soja crudo	~76	64,37±0,54	(Mohdaly <i>et al.</i> , 2017)
Aceite de semilla de algodón	~68	19,73±0,27	
Aceite de coco	66 [†] -71 ^{††}	18 [†] -25 ^{††}	(Marina <i>et al.</i> , 2009)
Aceite de girasol	~50	0,49	(Janu <i>et al.</i> , 2014)
Aceite de sésamo	~74	0,33	

N.R: no reportado; *: cada valor representa la media ± la desviación estándar de tres réplicas; *: polifenoles; **: *orto*-difenoles; †: aceite de coco virgen obtenido mediante la técnica de enfriamiento; ††: aceite de coco virgen obtenido mediante la técnica de fermentación.

embargo, la cantidad de dichos compuestos se mantiene cuantitativamente superior en el APAO comercial Noli[®] (Tabla 2).

El APAO contiene cantidades importantes de fitohormonas fenólicas (e.g., ácido *p*-salicílico), de ácidos fenólicos (e.g., ácido gálico, ácido protocatéquico, ácido ferúlico y ácido vanílico) y de aldehídos fenólicos (e.g., protocatchualdehído) (Rodríguez *et al.*, 2016b), que constituyen en mayor medida el grupo de compuestos fenólicos en este tipo de aceite. Estos metabolitos secundarios disponen de valiosas propiedades como antioxidantes naturales, atribuidas a la capacidad que tienen los grupos hidroxilos presentes en los anillos aromáticos de su estructura molecular de actuar como agentes reductores al do-

nar átomos de hidrógeno y comportarse como quelantes de cationes divalentes e inhibidores de radicales libres (Darvin *et al.*, 2011; Liochev, 2013; Nimse & Pal, 2015). De manera tal, que la implementación del APAO en preparados alimenticios como sustituto de otros aceites vegetales o de grasas animales resulta en la adición de antioxidantes potencialmente aprovechables por el organismo y en alimentos funcionales de valor biológico.

Sumado a lo anterior, la concentración total de fenoles en el APAO crudo, determinada en el presente trabajo, guarda semejanza con la cantidad de los mismos compuestos reportada por Marina *et al.* (2009) en el aceite de coco. En el APC D×P, el contenido fenólico decrece cuando el aceite es blanqueado

y desodorizado (Tabla 2), resultado que puede ser imputado a factores como la temperatura empleada durante dichas operaciones, que repercute de manera negativa sobre la estabilidad de dichos compuestos (Forero-Doria *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2019).

3.4. Explotación de nutraceuticos y formulación de alimentos funcionales como un campo potencial de aplicación para el APAO

Los fitoquímicos presentes en la dieta humana que han sido asociados con beneficios para la salud comprenden un amplio y variado grupo de sustancias, dentro de las que se destacan los compuestos azufrados de las Aliáceas (Hafez Ghoran *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2006), los terpenoides (carotenoides, fitoesteroles, escualeno y monoterpenos), los glucosinolatos (Prieto *et al.*, 2019), los tocoferoles y los tocotrienoles (Miyazawa *et al.*, 2019; Reddy *et al.*, 2017) y diferentes grupos de polifenoles (estilbenoides, antocianinas, isoflavonas, flavonas, entre otros) (Gul *et al.*, 2016). El APAO es un sustrato lipídico con concentraciones importantes de la mayor parte de los fitoquímicos mencionados previamente, que puede ser explotado tanto para la extracción, concentración y purificación de este tipo de compuestos así como para la formulación y la producción de alimentos funcionales con una abundante carga de antioxidantes que puedan contribuir o tratar, por ejemplo, el déficit o el desequilibrio de vitaminas liposolubles en el organismo.

Los alimentos funcionales ricos en nutraceuticos son aquellos que, cuando se consumen de manera regular, ejercen un efecto específico benéfico para la salud del consumidor que va más allá del atribuido a los componentes nutricionales regulares del alimento mismo (Gul *et al.*, 2016). La expresión “nutraceuticos” nace de la conjugación híbrida entre los términos “nutrientes” y “productos farmacéuticos”, por la imposibilidad de clasificar al anterior grupo de fitoquímicos como alimentos, de acuerdo con Gul *et al.* (2016). Actualmente, los nutraceuticos han recibido mucha atención por parte de la comunidad científica, de los fabricantes de alimentos y de los consumidores, además, el número de estudios que respaldan su aptitud como ingredientes alimentarios benéficos para la salud va en aumento (Diez-Gutiérrez *et al.*,

2020; Fernandes *et al.*, 2018; Poli *et al.*, 2018; Yeung *et al.*, 2018). Tomando como base el contexto anterior, es factible que el APAO pueda incursionar a través de estrategias de comunicación y de promoción de consumo en los mercados de alimentos saludables y consiga formar parte de agregados alimenticios y de alimentos funcionales ricos en fitoquímicos de palma, en virtud de las propiedades de interés biológico, funcional y nutricional que destacan en este tipo de aceite.

4. Conclusiones y apreciaciones

De los resultados se destaca que los extractos metanólicos de APAO crudo y comercial Noli[®] lograron inhibir más del 70 % del radical libre DPPH[•] bajo las condiciones de los ensayos en este estudio. Además, las muestras de APAO crudo presentaron una concentración equivalente de ácido gálico superior a los 20 mg EAG-100g⁻¹. Tanto el contenido de fenoles totales como la capacidad antioxidante determinada en las muestras de APAO crudo y comercial superaron los valores de estas mismas variables determinadas en las muestras de APC D×P.

El APAO es un sustrato rico en compuestos activos que tienen la capacidad de brindar protección a organismos biológicos frente a radicales libres, iones de oxígeno y peróxidos orgánicos e inorgánicos resultantes del metabolismo celular y/o presentes de manera natural en el ambiente. El grupo de tocoferoles y tocotrienoles, el conjunto de compuestos fenólicos (fitohormonas fenólicas, ácidos fenólicos y de aldehídos fenólicos), los carotenoides (α - y β -caroteno, mayormente) y el escualeno presente en el APAO, son considerados como el conjunto de fitoquímicos con actividad antioxidante presente en este tipo de aceite.

Este trabajo busca mostrar los atributos y los beneficios del APAO y pretende proponerlo como materia prima para la elaboración de alimentos funcionales ricos en fitoquímicos naturales de valor biológico y nutricional.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por la finan-

ciación de este estudio, a la Corporación Centro de Investigación en Palma de aceite, Cenipalma, a las plantas de beneficio de Guaicaramo S.A.S. y de Ha-

cienda La Cabaña S.A. por las muestras de APAO crudo y a Del Llano Alto Oleico S.A.S. por las muestras de Nolí”.

Referencias bibliográficas

- Abbas, S. R., Sabir, S. M., Ahmad, S. D., Boligon, A. A., & Athayde, M. L. (2014). Phenolic profile, antioxidant potential and DNA damage protecting activity of sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Food Chemistry*, 147, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.113>
- Agarwal, C., Máthé, K., Hofmann, T., & Csóka, L. (2018). Ultrasound-Assisted Extraction of Cannabinoids from Cannabis Sativa L. Optimized by Response Surface Methodology. *Journal of Food Science*, 83(3), 700–710. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14075>
- Allen, R. G., & Tresini, M. (2000). Oxidative stress and gene regulation. *Free Radical Biology and Medicine*, 28(3), 463–499. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(99\)00242-7](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(99)00242-7)
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-01545-8>
- Alvarado, A., Escobar, R., & Henry, J. (2013). El híbrido OxG Amazon : una alternativa para regiones afectadas por Pudrición del cogollo en palma de aceite. *Palmas*, 34, 305–314. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10689>
- Alves, E., Simoes, A., & Domingues, M. R. (2020). Fruit seeds and their oils as promising sources of value-added lipids from agro-industrial byproducts: oil content, lipid composition, lipid analysis, biological activity and potential biotechnological applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(8), 1305–1339. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1757617>
- Collison, M. W. (7th). (2017). *Official methods and recommended practices of the AOCS*. American Oil Chemists' Society.
- Balić, & Mokos. (2019). Do We Utilize Our Knowledge of the Skin Protective Effects of Carotenoids Enough? *Antioxidants*, 8(8), 259. <https://doi.org/10.3390/antiox8080259>
- Beltrán, G., Bucheli, M. E., Aguilera, M. P., Belaj, A., & Jimenez, A. (2015). Squalene in virgin olive oil: Screening of variability in olive cultivars. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(8), 1250–1253. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500295>

- Beta, T., & Hwang, T. (2018). Influence of heat and moisture treatment on carotenoids, phenolic content, and antioxidant capacity of orange maize flour. *Food Chemistry*, 246, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.150>
- Böhm, V., Puspitasari-Nienaber, N. L., Ferruzzi, M., & Schwartz, S. (2002). Trolox Equivalent Antioxidant Capacity of Different Geometrical Isomers of α -Carotene, β -Carotene, Lycopene, and Zeaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 221–226. <https://doi.org/10.1021/jf010888q>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Buddhan, S., Sivakumar, R., Dhandapani, N., Ganesan, B., & Anandan, R. (2007). Protective effect of dietary squalene supplementation on mitochondrial function in liver of aged rats. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 76(6), 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2007.05.001>
- Cardona, F., Andrés-Lacueva, C., Tulipani, S., Tinahones, F. J., & Queipo-Ortuño, M. I. (2013). Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 24(8), 1415–1422. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.05.001>
- Chaves, G., Ligarreto-Moreno, G. A., & Cayon-Salinas, D. G. (2018). Physicochemical characterization of bunches from American oil palm (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes) and their hybrids with African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Acta Agronomica*, 67(1), 168–176. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.62028>
- Chinenye, C. (2020). Storage Oxidation Stability of Crude Palm Oil with some Traditional Nigerian Spices. *IOSR Journal of Environmental Science*, 14(8), 1–09. <https://doi.org/10.9790/2402-1408020109>
- 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. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1353>
- Darvin, M. E., Fluhr, J. W., Meinke, M. C., Zastrow, L., Sterry, W., & Lademann, J. (2011). Topical beta-carotene protects against infra-red-light-induced free radicals. *Experimental Dermatology*, 20(2), 125–129. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0625.2010.01191.x>
- de Menezes Nogueira, I., Avelino, F., de Oliveira, D. R., Souza, N. F., Rosa, M. F., Mazzetto, S. E., & Lomonaco, D. (2019). Organic solvent fractionation of acetosolv palm oil lignin: The role of its structure on the antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 1163–1172. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.066>
- Diez-Gutiérrez, L., San Vicente, L., R. Barrón, L. J., Villarán, M. del C., & Chávarri, M. (2020). Gamma-aminobutyric acid and probiotics: Multiple health benefits and their future in the global functional food and nutraceuticals market. *Journal of Functional Foods*, 64, 103669. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103669>
- Dini, I., & Laneri, S. (2019). Nutricosmetics: A brief overview. *Phytotherapy Research*, 33(12), 1–10. <https://doi.org/10.1002/ptr.6494>

- Fernandes, S. S., Coelho, M. S., & Salas-Mellado, M. de las M. (2018). Bioactive Compounds as Ingredients of Functional Foods: Polyphenols, Carotenoids, Peptides From Animal and Plant Sources New. *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*, 129–142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00007-4>
- Ferreira, C. D., da Conceição, E. J. L., Machado, B. A. S., Hermes, V. S., de Oliveira Rios, A., Druzian, J. I., & Nunes, I. L. (2016). Physicochemical Characterization and Oxidative Stability of Microencapsulated Crude Palm Oil by Spray Drying. *Food and Bioprocess Technology*, 9, 124–136. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1603-z>
- Fiedor, J., & Burda, K. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, 6(2), 466–488. <https://doi.org/10.3390/nu6020466>
- Forero-Doria, O., García, M. F., Vergara, C. E., & Guzmán, L. (2017). Thermal analysis and antioxidant activity of oil extracted from pulp of ripe avocados. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130, 959–966. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6488-9>
- Giacco, R., Costabile, G., Fatati, G., Frittitta, L., Maiorino, M. I., Marelli, G., Parillo, M., Pistis, D., Tubili, C., Vetrani, C., & Vitale, M. (2020). Effects of polyphenols on cardio-metabolic risk factors and risk of type 2 diabetes. A joint position statement of the Diabetes and Nutrition Study Group of the Italian Society of Diabetology (SID), the Italian Association of Dietetics and Clinical Nutrition (ADI) and the Italian Association of Medical Diabetologists (AMD). *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 30(3), 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2019.11.015>
- González Díaz, A., García Núñez, J. A., Cortés Barreto, I. L., Díaz Oviedo, J. S., & Dueñas Solarte, J. (2022). Compositional Indicators in Palm Oil Fatty Acid Chemistry. How Relevant is the Iodine Value? *Palmas*, 43(2), 26–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.56866/01212923.13711>
- González-Díaz, A., Pataquiva-Mateus, A., & García-Núñez, J. A. (2021). Characterization and response surface optimization driven ultrasonic nanoemulsification of oil with high phytonutrient concentration recovered from palm oil biodiesel distillation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 612, 125961. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125961>
- González-Díaz, A., Pataquiva-Mateus, A., & García-Núñez, J. A. (2021). Recovery of palm phytonutrients as a potential market for the by-products generated by palm oil mills and refineries-A review. *Food Bioscience*, 41, 100916. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100916>
- Goon, J. A., Nor Azman, N. H. E., Abdul Ghani, S. M., Hamid, Z., & Wan Ngah, W. Z. (2017). Comparing palm oil tocotrienol rich fraction with α -tocopherol supplementation on oxidative stress in healthy older adults. *Clinical Nutrition ESPEN*, 21, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2017.07.004>
- Goupy, P., Dufour, C., Loonis, M., & Dangles, O. (2003). Quantitative Kinetic Analysis of Hydrogen Transfer Reactions from Dietary Polyphenols to the DPPH Radical. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 615–622. <https://doi.org/10.1021/jf025938l>

- Gouvinhas, I., Machado, J., Gomes, S., Lopes, J., Martins-Lopes, P., & Barros, A. I. R. N. A. (2014). Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Monovarietal and Commercial Portuguese Olive Oils. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(7), 1197–1203. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2462-x>
- Grabež, M., Škrbić, R., Stojiljković, M. P., Rudić-Grujić, V., Paunović, M., Arsić, A., Petrović, S., Vučić, V., Mirjanić-Azarić, B., Šavikin, K., Menković, N., Janković, T., & Vasiljević, N. (2020). Beneficial effects of pomegranate peel extract on plasma lipid profile, fatty acids levels and blood pressure in patients with diabetes mellitus type-2: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Journal of Functional Foods*, 64, 103692. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103692>
- Grajeda-Iglesias, C., Salas, E., Barouh, N., Baréa, B., Panya, A., & Figueroa-Espinoza, M. C. (2016). Antioxidant activity of protocatechuates evaluated by DPPH, ORAC, and CAT methods. *Food Chemistry*, 194, 749–757. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.119>
- Gul, K., Singh, A. K., & Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and Functional Foods: The Foods for the Future World. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(16), 2617–2627. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.903384>
- Gunawan, S., Kasim, N. S., & Ju, Y.-H. (2008). Separation and purification of squalene from soybean oil deodorizer distillate. *Separation and Purification Technology*, 60(2), 128–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.08.001>
- Guo, Q., Gao, S., Sun, Y., Gao, Y., Wang, X., & Zhang, Z. (2016). Antioxidant efficacy of rosemary ethanol extract in palm oil during frying and accelerated storage. *Industrial Crops and Products*, 94, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.032>
- Hacienda La Cabaña S. A. (2012). *Ficha técnica de calidad - Aceite Crudo de Palma Alto Oleico*. Hacienda La Cabaña S. A. <http://www.lacabana.com.co/wp-content/uploads/2016/02/Ficha-Técnica-Aceite-Crudo-de-Palma-Alto-Oleico.pdf>
- Hafez Ghoran, S., Rahimi, H., Kazemi, A., Scognamiglio, M., Naderian, M., Iraj, A., & Bordbar, F. (2021). *Allium hooshidaryae* (Alliaceae); Chemical compositions, biological and ethnomedicine uses. *Journal of Ethnopharmacology*, 274, 113918. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113918>
- Janu, C., Kumar, D. R. S., Reshma, M. V., Jayamurthy, P., Sundaresan, A., & Nisha, P. (2014). Comparative Study on the Total Phenolic Content and Radical Scavenging Activity of Common Edible Vegetable Oils. *Journal of Food Biochemistry*, 38(1), 38–49. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12023>
- Kalantzakis, G., Blekas, G., Pegklidou, K., & Boskou, D. (2006). Stability and radical-scavenging activity of heated olive oil and other vegetable oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(4), 329–335. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200500314>
- Kim, S., Kubec, R., & Musah, R. A. (2006). Antibacterial and antifungal activity of sulfur-containing compounds from *Petiveria alliacea* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 104(1–2), 188–192. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.08.072>

- Kumar, K. (2017). El aceite de palma en el mercado global y sus oportunidades en Estados Unidos. *Revista Palmas*, 37, 319–321. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11953>
- Kumar, P. K. P., & Krishna, A. G. G. (2014). Physico-chemical characteristics and nutraceutical distribution of crude palm oil and its fractions. *Grasas y Aceites*, 65, 18–35.
- Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., Gargiulo, G., Testa, G., Cacciatore, F., Bonaduce, D., & Abete, P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. *Clinical Interventions in Aging*, 13, 757–772. <https://doi.org/10.2147/CIA.S158513>
- Liochev, S. I. (2013). Reactive oxygen species and the free radical theory of aging. *Free Radical Biology and Medicine*, 60, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.02.011>
- Luo, K., Ma, C., Xing, S., An, Y., Feng, J., Dang, H., Huang, W., Qiao, L., Cheng, J., & Xie, L. (2020). White tea and its active polyphenols lower cholesterol through reduction of very-low-density lipoprotein production and induction of LDLR expression. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 127, 110146. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110146>
- Ma, G., & Chen, Y. (2020). Polyphenol supplementation benefits human health via gut microbiota: A systematic review via meta-analysis. *Journal of Functional Foods*, 66, 103829. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103829>
- Majidinia, M., Karimian, A., Alemi, F., Yousefi, B., & Safa, A. (2020). Targeting miRNAs by polyphenols: Novel therapeutic strategy for aging. *Biochemical Pharmacology*, 173, 113688. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2019.113688>
- Marina, A. M., Che Man, Y. B., Nazimah, S. A. H., & Amin, I. (2009). Antioxidant capacity and phenolic acids of virgin coconut oil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup2), 114–123. <https://doi.org/10.1080/09637480802549127>
- 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. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638196>
- Meléndez-Martínez, A. J., Stinco, C. M., & Mapelli-Brahm, P. (2019). Skin Carotenoids in Public Health and Nutricosmetics: The Emerging Roles and Applications of the UV Radiation-Absorbing Colourless Carotenoids Phytoene and Phytofluene. *Nutrients*, 11(5), 1093. <https://doi.org/10.3390/nu11051093>
- Miyazawa, T., Burdeos, G. C., Itaya, M., Nakagawa, K., & Miyazawa, T. (2019). Vitamin E: Regulatory Redox Interactions. *IUBMB Life*, 71(4), 430–441. <https://doi.org/10.1002/iub.2008>
- Mohdaly, A. A. E.-R., El-Hameed Seliem, K. A., Maher Abu EL-Hassan, A. E.-M., & Mahmoud, A. A. T. (2017). Effect of Refining Process on the Quality Characteristics of Soybean and Cotton seed Oils. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(1), 207–222. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.601.026>

- Morales, M. T., & Przybylski, R. (2013). Olive Oil Oxidation en R. Aparicio y J. Harwood (Eds.), *Handbook of Olive Oil: Analysis and Properties* (pp. 479–522). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7777-8_13
- Mozzon, M., Pacetti, D., Frega, N. G., & Lucci, P. (2015). Crude Palm Oil from Interspecific Hybrid *Elaeis oleifera* × *E. guineensis*: Alcoholic Constituents of Unsaponifiable Matter. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(5), 717–724. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2628-1>
- Muharis, S. P., Top, A. G. M., Murugan, D., & Mustafa, M. R. (2010). Palm oil tocotrienol fractions restore endothelium dependent relaxation in aortic rings of streptozotocin-induced diabetic and spontaneously hypertensive rats. *Nutrition Research*, 30(3), 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2010.03.005>
- Narayan Bhilwade, H., Tatewaki, N., Nishida, H., & Konishi, T. (2010). Squalene as Novel Food Factor. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11(8), 875–880. <https://doi.org/10.2174/138920110793262088>
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5(35), 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/c4ra13315c>
- Ofori-Boateng, C., & Lee, K. T. (2013). Sustainable utilization of oil palm wastes for bioactive phytochemicals for the benefit of the oil palm and nutraceutical industries. *Phytochemistry Reviews*, 12, 173–190. <https://doi.org/10.1007/s11101-013-9270-z>
- Ojeda, M., Borrero, M., Sequeda, G., Diez, O., Castro, V., García, Á., Ruiz, Á., Pacetti, D., Frega, N., Gagliardi, R., & Lucci, P. (2017). Hybrid palm oil (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) supplementation improves plasma antioxidant capacity in humans. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(2), 1600070. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600070>
- Osorio-Guarín, J. A., Garzón-Martínez, G. A., Delgadillo-Duran, 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* × *Elaeis guineensis*) population. *BMC Plant Biology*, 19, 533. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2153-8>
- Peh, H. Y., Tan, W. S. D., Liao, W., & Wong, W. S. F. (2016). Vitamin E therapy beyond cancer: Tocopherol versus tocotrienol. *Pharmacology and Therapeutics*, 162, 152–169. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.12.003>
- Perry, N. B., Burgess, E. J., & Glennie, V. leAnne. (2001). *Echinacea* Standardization: Analytical Methods for Phenolic Compounds and Typical Levels in Medicinal Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(4), 1702–1706. <https://doi.org/10.1021/jf001331y>
- Piang-Siong, W., de Caro, P., Marvilliers, A., Chasseray, X., Payet, B., Shum Cheong Sing, A., & Illien, B. (2017). Contribution of *trans*-aconitic acid to DPPH scavenging ability in different media. *Food Chemistry*, 214, 447–452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.083>

- Piechowiak, T., Grzelak-Błaszczak, K., Bonikowski, R., & Balawejder, M. (2020). Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. *LWT*, 117, 108614. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108614>
- Poli, A., Barbagallo, C. M., Cicero, A. F. G., Corsini, A., Manzato, E., Trimarco, B., Bernini, F., Visioli, F., Bianchi, A., Canzone, G., Crescini, C., de Kreutzenberg, S., Ferrara, N., Gambacciani, M., Ghiselli, A., Lubrano, C., Marelli, G., Marrocco, W., Montemurro, V., Marangoni, F. (2018). Nutraceuticals and functional foods for the control of plasma cholesterol levels. An intersociety position paper. *Pharmacological Research*, 134, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2018.05.015>
- Pramparo, M., Prizzon, S., & Martinello, M. A. (2005). Study of purification of fatty acids, tocopherols, and sterols from deodorization distillate. *Grasas y Aceites*, 56(3), 228–234. <https://doi.org/10.3989/gya.2005.v56.i3.112>
- Prieto, M. A., López, C. J., & Simal-Gandara, J. (2019). Chapter Six - Glucosinolates: Molecular structure, breakdown, genetic, bioavailability, properties, and healthy and adverse effects en I. C. F. R. Ferreira y L. Barros (Eds.), *Functional Food Ingredients from Plants* (Vol. 90, pp. 305–350). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.008>
- Qarah, N. A. S., Basavaiah, K., & Abdulrahman, S. A. M. (2017). Spectrophotometric determination of ethionamide in pharmaceuticals using Folin–Ciocalteu reagent and iron (III)-ferricyanide as chromogenic agents. *Journal of Taibah University for Science*, 11(5), 718–728. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.07.002>
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria : Órgano Oficial de La Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral*, 27(1), 76–89. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>
- Ramli, M. R., Siew, W. L., & Cheah, K. Y. (2008). Properties of high-oleic palm oils derived by fractional crystallization. *Journal of Food Science*, 73(3), 140–145. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00657.x>
- Reddy, V. D., Padmavathi, P., Bulle, S., Hebbani, A. V., Marthadu, S. B., Venugopalacharyulu, N. C., Maturu, P., & Varadacharyulu, N. C. (2017). Association between alcohol-induced oxidative stress and membrane properties in synaptosomes: A protective role of vitamin E. *Neurotoxicology and Teratology*, 63, 60–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ntt.2017.07.004>
- Ribeiro, D., Freitas, M., Silva, A. M. S., Carvalho, F., & Fernandes, E. (2018). Antioxidant and pro-oxidant activities of carotenoids and their oxidation products. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 681–699. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.060>
- Rincón-Miranda, S. M., Hormaza, P., Moreno, L., Prada, F., Portillo, D., García, J. A., & Romero, H. M. (2013). Use of phenological stages of the fruits and physicochemical characteristics of the oil to determine the optimal harvest time of oil palm interspecific OxG hybrid fruits. *Industrial Crops and Products*, 49, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.035>

- Rodríguez, J. C., Gómez, D., Pacetti, D., Núñez, O., Gagliardi, R., Frega, N. G., Ojeda, M. L., Loizzo, M. R., Tundis, R., & Lucci, P. (2016a). Effects of the Fruit Ripening Stage on Antioxidant Capacity, Total Phenolics, and Polyphenolic Composition of Crude Palm Oil from Interspecific Hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(4), 852–859. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04990>
- Rodríguez, J. C., Gómez, D., Pacetti, D., Núñez, O., Gagliardi, R., Frega, N. G., Ojeda, M. L., Loizzo, M. R., Tundis, R., & Lucci, P. (2016b). Effects of the Fruit Ripening Stage on Antioxidant Capacity, Total Phenolics, and Polyphenolic Composition of Crude Palm Oil from Interspecific Hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(4), 852–859. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04990>
- Sambanthamurthi, R., Sundram, K., & Tan, Y. (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*, 39(6), 507–558. [https://doi.org/10.1016/s0163-7827\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/s0163-7827(00)00015-1)
- Seppanen, C. M., Song, Q., & Saari Csallany, A. (2010). The antioxidant functions of tocopherol and tocotrienol homologues in oils, fats, and food systems. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(5), 469–481. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1526-9>
- Siriamornpun, S., & Kaewseejan, N. (2017). Quality, bioactive compounds and antioxidant capacity of selected climacteric fruits with relation to their maturity. *Scientia Horticulturae*, 221, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.020>
- Song, J. H., Kim, M. J., Kim, Y. J., & Lee, J. H. (2017). Monitoring changes in acid value, total polar material, and antioxidant capacity of oils used for frying chicken. *Food Chemistry*, 220, 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.174>
- Stahl, W., & Sies, H. (2012). β -Carotene and other carotenoids in protection from sunlight. *American Journal of Clinical Nutrition*, 96(5), 1179–1184. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.034819>
- Sugihara, N., Kanda, A., Nakano, T., Nakamura, T., Igusa, H., & Hara, S. (2010). Novel Fractionation Method for Squalene and Phytosterols Contained in the Deodorization Distillate of Rice Bran Oil. *Journal of Oleo Science*, 59(2), 65–70. <https://doi.org/10.5650/jos.59.65>
- Sumi, E. S., Anandan, R., Rajesh, R., Ravishankar, C. N., & Mathew, S. (2018). Nutraceutical and Therapeutic Applications of Squalene. *Fishery Technology*, 55, 229–237.
- Szydłowska-Czerniak, A., & Łaszewska, A. (2015). Effect of refining process on antioxidant capacity, total phenolics and prooxidants contents in rapeseed oils. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 853–859. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.069>
- Szydłowska-Czerniak, A., Trokowski, K., Karlovits, G., & Szłyk, E. (2011a). Effect of refining processes on antioxidant capacity, total contents of phenolics and carotenoids in palm oils. *Food Chemistry*, 129(3), 1187–1192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.101>
- Szydłowska-Czerniak, A., Trokowski, K., Karlovits, G., & Szłyk, E. (2011b). Effect of refining processes on antioxidant capacity, total contents of phenolics and carotenoids in palm oils.

Food Chemistry, 129(3), 1187–1192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.101>

- Teh, S. S., & Birch, E. J. (2014). Effect of ultrasonic treatment on the polyphenol content and antioxidant capacity of extract from defatted hemp, flax and canola seed cakes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 346–353. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.08.002>
- Teixeira, C. B., Macedo, G. A., Macedo, J. A., da Silva, L. H. M., & Rodrigues, A. M. da C. (2013). Simultaneous extraction of oil and antioxidant compounds from oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) by an aqueous enzymatic process. *Bioresource Technology*, 129, 575–581. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.057>
- Teow, C. C., Truong, V. Den, McFeeters, R. F., Thompson, R. L., Pecota, K. V., & Yencho, G. C. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry*, 103(3), 829–838. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.033>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Martinez, G., Varon, 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. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-15-0243-RVW>
- United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service. (10 de marzo de 2023). *Foreign Agricultural Service (FAS) – USDA Palm Oil Explorer*. <https://ipad.fas.usda.gov/cropeexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000>
- United States Department of Agriculture (2019). *Report of the U.S. Delegate, 26th Session, Codex Committee on Fats and Oils*, USDA. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/delegates-report-0225-0301-2019.pdf>
- 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*.
- Winterbourn, C. C. (2015). Are free radicals involved in thiol-based redox signaling? *Free Radical Biology and Medicine*, 80, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2014.08.017>
- Wootton-Beard, P. C., Moran, A., & Ryan, L. (2011a). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods. *Food Research International*, 44(1), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.033>
- Wootton-Beard, P. C., Moran, A., & Ryan, L. (2011b). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods. *Food Research International*, 44(1), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.033>
- Wu, G., Chang, C., Hong, C., Zhang, H., Huang, J., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Phenolic compounds as stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 92, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.043>

- Yeung, A. W. K., Mocan, A., & Atanasov, A. G. (2018). Let food be thy medicine and medicine be thy food: A bibliometric analysis of the most cited papers focusing on nutraceuticals and functional foods. *Food Chemistry*, 269, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.139>
- Zhang, Y., Shen, Y., Zhu, Y., & Xu, Z. (2015a). Assessment of the correlations between reducing power, scavenging DPPH activity and anti-lipid-oxidation capability of phenolic antioxidants. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 569–574. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.047>
- Zhang, Y., Shen, Y., Zhu, Y., & Xu, Z. (2015b). Assessment of the correlations between reducing power, scavenging DPPH activity and anti-lipid-oxidation capability of phenolic antioxidants. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 569–574. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.047>
- Zou, Y., Jiang, Y., Yang, T., Hu, P., & Xu, X. (2012). Minor Constituents of Palm Oil: Characterization, Processing, and Application en O.-M. Lai, C.-P. Tan, y C. C. Akoh (Eds.), *Palm Oil: Palm Oil Production, Processing, Characterization, and Uses* (pp. 471–



Cerca de tres cuartas partes
de la inversión con recursos del
Fondo de Fomento Palmero
se destina a temas de ciencia, tecnología e
innovación, a través de los programas, para mejorar
el estatus fitosanitario y para incrementar la
productividad y optimizar costos de producción.

Metodología analítica para la determinación del contenido de cloro total en aceite de palma crudo mediante análisis elemental (oxidativo y microcoulombimetría)

Analytical methodology for the determination of total chlorine content in crude palm oil by elemental analysis (oxidative and microcoulometry)

CITACIÓN: Zárate, J. M., Rodríguez, N. J., Baquero, B. A., & García-Núñez, J. A. (2023). Metodología analítica para la determinación del contenido de cloro total en aceite de palma crudo mediante análisis elemental (oxidativo y microcoulombimetría). *Palmas*, 44(3), 30-42.

PALABRAS CLAVE: cloro total, aceite de palma crudo, 3-MCPD, microcoulombimetría, análisis elemental.

KEYWORDS: total chlorine, palm accepted Crudo, 3-MCPD, microcoulombimetry, Analysis Elemental.

JULIANA MARITZA ZÁRATE JIMÉNEZ
Programa de Procesamiento y Valor
Agregado - Área de Calidad de la
Corporación Centro de Investigación en
Palma de Aceite, Cenipalma
Autor para correspondencia:
jmzarate@cenipalma.org

NÉSTOR JAVIER RODRÍGUEZ PALACIO
Laboratorio Servicios Geológicos
Integrados - SGI S.A.S.

BRAYAN ALONSO BAQUERO GIRALDO
Laboratorio Servicios Geológicos
Integrados - SGI S.A.S.

JESÚS ALBERTO GARCÍA NÚÑEZ
Programa de Procesamiento y Valor
Agregado - Área de Calidad de la
Corporación Centro de Investigación en
Palma de Aceite, Cenipalma

Resumen

Los mecanismos analíticos para la determinación del contenido total de cloro en aceites vegetales para consumo humano no han sido estudiados con robustez; sin embargo, siguen atrayendo el interés en la comunidad química analítica debido a las consecuencias que genera el cloro como precursor de contaminante en los aceites durante su refinación al llegar a la síntesis

involuntaria de compuestos, como 2-monocloropropano-1,3-diol (2-MCPD) y 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPD), que afectan en gran medida la salud humana y que están sujetos a estrictos controles de calidad y seguridad alimentaria. Por lo tanto, los métodos analíticos destinados a su cuantificación rápida, sensible y precisa son de gran importancia para la industria de los aceites, que tiene mercados en el segmento de los alimentos, los cosméticos y los fármacos.

En este trabajo se describe una metodología analítica desarrollada para la cuantificación de cloro total por medio de combustión oxidativa y microcoulombimetría, mediante la implementación de un analizador elemental multi EA 5000. En el desarrollo de la metodología se logró un R^2 de 0,9999, un LMC (límite de cuantificación del método) para Cl de 0,1 μg y LMD (límite de detección del método) de 0,02 μg . En este estudio se evaluaron 32 muestras y se determinó, para la estandarización de la metodología, la precisión, la exactitud y la reproducibilidad del método. Los resultados se compararon con los obtenidos por la empresa Analytik Jena en Alemania, en una validación cruzada, en la que se obtuvo un porcentaje de desviación estándar relativa (%RSD) inferiores del 10 %.

Abstract

Analytical mechanisms for the determination of total chlorine content in vegetable oils for human consumption have not been robustly studied, but continue to attract interest in the analytical chemistry community because of the consequences of chlorine as a contaminant precursor in oils during refining, by leading to the unintentional synthesis of compounds such as 2-monochloropropane-1,3-diol (2-MCPD) and 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) that greatly affect human health and are subject to strict quality and food safety controls. Therefore, analytical methods for its rapid, sensitive and accurate quantification are of great importance for the oil industry, which has markets in the food, cosmetics and pharmaceutical industries. This work describes an analytical methodology developed for the quantification of total chlorine by means of oxidative combustion and microcoulombimetry, implementing a multi EA 5000 elemental analyzer. In the development of the methodology, an R^2 of 0.9999, a LCM (method limit of quantification) for Cl of 0.1 μg and LDM (method limit of detection) of 0.02 μg were achieved. In this study, 32 samples were evaluated and the precision, accuracy and reproducibility of the method were determined for the standardization of the methodology, the results were compared with those obtained by the company Analytik Jena in Germany, in a cross validation, obtaining a percentage of relative standard deviation (%RSD) lower than 10%.

1. Introducción

Los aceites vegetales para consumo humano, como el aceite de palma, contienen diferentes componentes importantes que están relacionados con la calidad del producto; dentro de estos se encuentran los cloropropanoles, los cuales son sustancias que se sintetizan de manera involuntaria durante las operaciones de producción del alimento. El grupo de cloropropanoles [e. g., 2-MCPD, 3-MCPD, 1,3-DCP (dicloropropanol)] actualmente está clasificado por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) como probablemente

cancerígeno para los humanos (2A) y también genotóxico (Contaminants in the Food Chain [CONTAM], 2020). Así mismo, el 3-MCPD libre (3-monocloro-1,2-propanodiol) se clasificó como posiblemente cancerígeno para los humanos (2B), lo que significa que el IARC tiene pruebas suficientes de que puede causar cáncer en los humanos, pero aún no son concluyentes (Andres *et al.*, 2013; CONTAM, 2020; Gao *et al.*, 2020). Las grasas y los aceites están constituidos por glicéridos que, a altas temperaturas, reaccionan con precursores de contaminantes como el cloro, ya sea orgánico e inorgánico, por medio de radicales libres y sustitución nucleofílica SN_2 , lo que

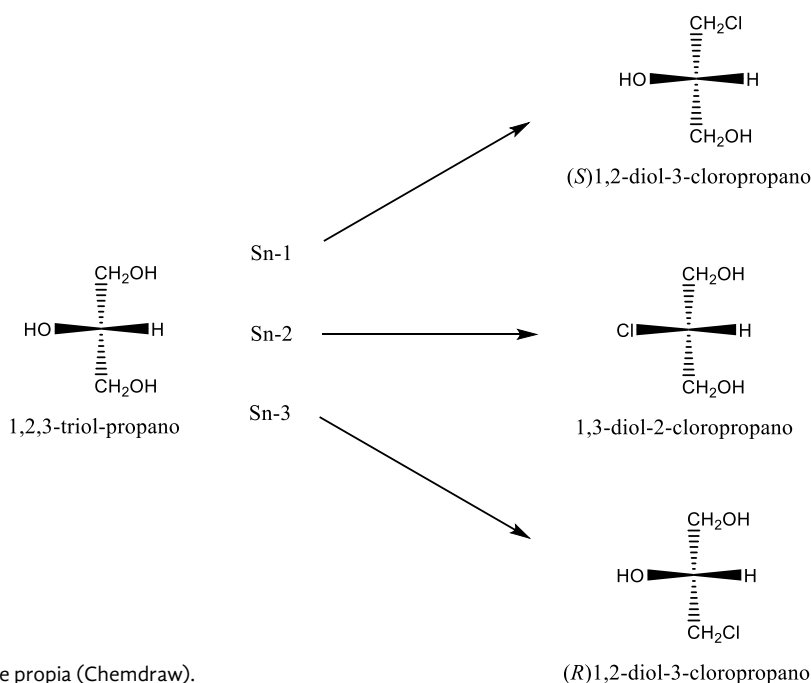
produce ésteres de ácidos grasos (Li *et al.*, 2016; Syed *et al.*, 2023). Tres tipos de cloropropanoles se producen con uno o dos átomos de cloro en la posición 1 o 2 en el glicerol; es decir, con prefijo de mono- o di- (Gesteiro *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2016; Syed *et al.*, 2023), como se muestra en la Figura 1.

Por lo tanto, la determinación del contenido de cloro en los aceites vegetales para consumo humano es fundamental con el fin de conservar los estándares de calidad. Por esta razón, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha venido emitiendo en los últimos años los valores permisibles para cloro menor de 2,0 mg/kg y 3-MCPD menor de 2,5 mg/kg. Existen una variedad de métodos para la cuantificación de cloruros desarrollados por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, por sus siglas en inglés), que involucran gravimetría, potenciometría y volumetría. Estos métodos se utilizan en matrices de aguas, suelos y tejido vegetal, y suelen realizarse por medio de descomposición del analito o extracción de sales. Son precisos, pero tienen desventajas en cuanto al costo de los instrumentos y al tiempo de respuesta. Además, la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) ha publicado varios procedimientos para la determinación de cloruro en crudo de petróleo, dentro de los cuales se destacan ASTM 4929 (2008), ASTM 5808 (2008) y D7359 (2023).

Las normas ASTM D4929-99, D5808 y D7359-14 son métodos utilizados en la industria para determinar propiedades específicas de diferentes materiales. El contenido de la D4929-99, prueba de método B, y D5808-95 se refiere a la cuantificación de cloro por descomposición térmica y detección por ion selectivo, y es aplicable para muestras de aceite mineral, lubricantes, sintéticos, diésel y gasolina. La ASTM D7359-14, por su parte, utiliza una combustión pirohidrolítica seguida de una detección por cromatografía iónica para cuantificar cloro y otros halógenos en diferentes matrices, que incluye aceite vegetal; es un método avanzado y tiene mayor precisión y sensibilidad en comparación con los otros dos, por lo que puede ser la opción preferida. Sin embargo, es importante ver las necesidades y requisitos específicos para la selección del método como: desarrollo instrumental, tiempo, manipulación de matriz, costos y posibilidad de automatización. De acuerdo con lo anterior, se optó por el análisis elemental como una alternativa factible para la cuantificación de cloro total en aceite de palma crudo bajo la ASTM D4929-99 (prueba de método B); la decisión también se basó en la comparación de normativas, alcance de cada metodología evaluada y campo de aplicación.

A partir de lo descrito en el método seleccionado fue posible modificarlo para la detección y análisis

Figura 1. Sustitución nucleofílica Propano-1,2,3-triol



Fuente propia (Chemdraw).

cuantitativo de cloro total en aceite de palma mediante el uso del analizador Analytik Jena multi EA 5000.

En el multi EA 5000, los compuestos organoclorados se oxidan por medio de una combustión hasta convertirlos en haluro de hidrógeno, dióxido de carbono y agua. El flujo de gas de medición es conducido a través de una línea de transferencia al módulo de detección; allí, los haluros de hidrógeno (HCl) se determinan por microcoulombimetría. En un primer paso, el cloruro de hidrógeno (HCl) se disuelve en el electrolito y se disocia en iones de hidrógeno y de cloruro (H^+ , Cl^-). En la celda de medición, los iones de cloruro reaccionan con los iones de plata generados electrolíticamente para formar cloruro de plata. Para lograr una reacción al AgCl lo más completa posible se realiza la valoración en una celda electrolítica de ácido acético débil (Analytikjena, 2021).

Para materializar la aplicabilidad del método se evaluaron parámetros, como linealidad de la metodología, límite de detención (LDM), límite de cuantificación (LCM), precisión y exactitud. Adicionalmente se realizaron ensayos cruzados con un laboratorio externo y se estimó la incertidumbre en las medidas y resultados, para lo cual se aplicaron criterios técnicos uniformes y consistentes.

2. Metodología

2.1. Materiales

Se utilizó una centrífuga con capacidad máxima de 13.500 rpm (marca Hermle Z300, Alemania), horno de

convección simple (marca Binder ED 115, Alemania), sistema de agua ultrapura Milli-Q (marca Millipore Q Direct-Q8, Alemania) para todas las soluciones.

2.2. Reactivos

o-xileno (99 % de pureza), acetato de sodio anhidro (99 % de pureza), sulfato de sodio, los cuales se adquirieron con la empresa PanReac AppliChem; p-clorofenol (99 % de pureza) de la firma Sigma-Aldrich y ácido sulfúrico (98 % de pureza) y ácido acético glacial del fabricante Merck. Todos los reactivos químicos son de grado analítico. Los gases utilizados, oxígeno (99,9 % de pureza) y argón (99,9 % de pureza), se obtuvieron con el proveedor Messer.

2.3. Equipo de detección

El equipo analizador elemental utilizado fue Analytik Jena multi EA 5000 (Figura 2). Su funcionamiento se describe por módulos en la Figura 3.

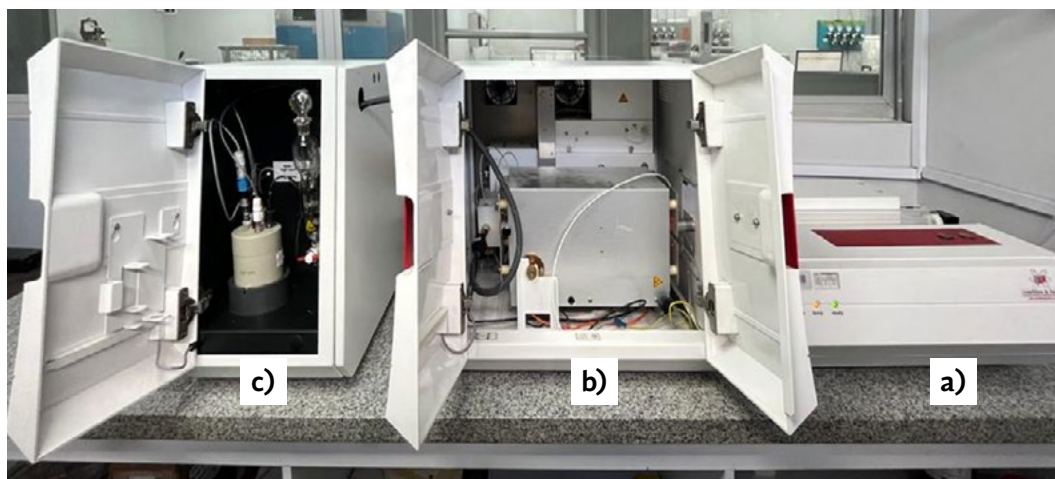
2.4. Condiciones operacionales

Las condiciones de operación se determinaron de acuerdo con las condiciones sugeridas en la nota de aplicación por Analytikjena (2021), con algunas modificaciones como puede observarse en la Tabla 1. Se ajustó el tiempo de purga, la temperatura de celda y la deriva máxima con el fin de mejorar la sensibilidad del método y obtener resultados con mayor veracidad.

Figura 2.
Analizador
elemental multi
EA 5000 (vista
exterior)



Figura 3. Analizador elemental multi EA 5000 (vista interior)



a) Automatic Boat Drive (ABD). El proceso inicia desde el momento en el que se introduce la muestra en el módulo ABD, el cual ingresa la muestra de aceite en el horno por medio de una barra de cuarzo. Según la concentración de la muestra, realiza varios ciclos hasta finalizar con la combustión.

b) Módulo de combustión. Cuenta con un horno de combustión, que opera en forma horizontal, donde la muestra ingresada mediante el transportador Automatic Boat Drive sufre una pirólisis en un ambiente enriquecido con argón. A continuación, se lleva a cabo un proceso de oxidación con un flujo de oxígeno. Posteriormente, los productos generados de esta operación (haluros de hidrógeno, dióxido de carbono y agua) son llevados por una línea de transferencia hacia el módulo de detección.

c) Módulo de detección. Consta de una entrada para el ingreso de la muestra en forma gaseosa a través de una línea de transferencia, donde se conecta a un tubo que contiene ácido sulfúrico (H_2SO_4), cuya función es remover la humedad restante en el analito. En seguida, la corriente se introduce a la celda (*high sens*), compuesta por un electrodo de sensor (electrodo de plata, electrodo de platino, tubo de introducción de gas y un extractor de succión) (Figura 4). Después se inyecta a la celda una solución electrolítica (ácido acético glacial + acetato de sodio), que permite el paso de los iones (cloruro) entre el electrodo y el analito. La cuantificación de cloro se realiza conforme a la ley de Faraday, a partir de la cantidad de carga consumida para la generación de iones plata, procedimiento que se denomina microcoulombimetría.

Figura 4. Módulo de detección - celda *high sens*



Tabla 1. Condiciones operacionales del equipo Analytik Jena multi EA 5000.

Condiciones operacionales			
Parámetro	Valor	Rango	Predefinido
Temperatura del horno	1050	0 a 100 ° C	1050
Combustión	60	0 a 900 s	60
Argón	100	50 a 200 mL / min	100
Oxígeno	100	50 a 200 mL / min	100
Tiempo de purga	20	0 a 600 s	0
Máximo tiempo de integración	1200	60 a 1200 s	1200
Valor umbral	300	0 a 1000 cuentas	300
Deriva máxima	100	1 a 1000 cuenta / min	50
Temperatura de celda	22	18 a 35 ° C	23
Retraso valoración	1	1 a 20° 30 s	1
Umbral	25	0 a 250 cuenta	25

*cuenta: medición del potencial de celda antes de la combustión de la muestra.

2.5. Preparación de soluciones

Solución electrolítica. Se prepararon 1.000 mL de solución electrolítica, en la que se disolvieron 2,7 g de acetato de sodio anhidro en 200 mL de agua desionizada y 800 mL de ácido acético glacial.

Solución estándar para la curva de calibración.

La curva de calibración se elaboró a partir de una solución constante de p-clorofenol a una concentración de 57,80 mg Cl/kg aceite de palma crudo, implementando cinco puntos de calibración con volúmenes de 2 uL, 5 uL, 10 uL, 20 uL y 50 uL equivalentes a 0,10 - 0,25 - 0,5 - 1 y 2,5 ug de cloro. Las concentraciones para estas soluciones se obtienen de la siguiente manera (Ecuación 1):

(Ecuación 1)

$$18,13 \text{ mg ClC}_6\text{H}_4\text{OH} \cdot \frac{1 \text{ mol ClC}_6\text{H}_4\text{OH}}{128,56 \text{ g ClC}_6\text{H}_4\text{OH}} \cdot \frac{1 \text{ mol Cl}}{1 \text{ mol ClC}_6\text{H}_4\text{OH}} \cdot \frac{35,453 \text{ g Cl}}{1 \text{ mol Cl}} = 5,0 \text{ mg Cl}$$

Teniendo en cuenta que la curva de calibración se construyó en masa es necesario realizar la conversión del estándar de 5,0 mg cloro a µg/µL utilizando el volumen de 0,1 L de o-xileno. Con esto se obtiene la concentración de 0,05 µg Cl/µL (Ecuación 3).

$$\text{(Ecuación 2)} \quad \frac{5 \text{ mg Cl}}{0,1 \text{ L}} = \frac{50 \text{ mg Cl}}{\text{L}} = \frac{50 \text{ µg Cl}}{\text{mL}}$$

$$\text{(Ecuación 3)} \quad \frac{50 \text{ µg Cl}}{\text{mL}} \cdot \frac{1 \text{ mL}}{1000 \text{ µL}} = \frac{0,05 \text{ µg Cl}}{\text{µL}}$$

A partir de la solución de 0,05 µg Cl/µL se preparan los cinco puntos de la curva (Tabla 2).

Tabla 2. Puntos de la curva de calibración.

Volumen estándar 0,05 µg/µL (µL)	Masa cloro (µg)
2	0,1
5	0,25
10	0,50
20	1,00
50	2,50

2.6. Obtención de las muestras

Las muestras de aceite de palma crudo utilizadas en la estandarización fueron tomadas en la planta de beneficio Entrepalmas S.A.S. Los muestreos se reali-

zaron en diferentes épocas del año para asegurar una variedad en la concentración del analito.

2.7. Preparación de la muestra

2.7.1. Determinación directa

Con la finalidad de establecer la importancia de la homogeneidad de la muestra en la determinación, se realizaron réplicas con una masa de 100 ± 10 mg de muestra sólida depositadas directamente en el módulo ABD sin ningún tratamiento previo. Con este proceso se dificultó la toma de alícuotas homogéneas, ya que aumentó la desviación entre las diferentes mediciones. Teniendo en cuenta esto, se procedió con la evaluación de diferentes pretratamientos de muestra con el fin de mejorar la homogeneidad y la repetibilidad en la determinación.

2.7.2 Determinación con pretratamiento

Se calentó la muestra sólida a una temperatura de 60°C por 1 hora; una vez fundida la muestra, se transfirió a un tubo de centrifuga de 50 mL de capacidad y se centrifugó durante 5 minutos a 1.100 rpm, para eliminar impurezas. A continuación, se dispuso la muestra en un recipiente de vidrio y se dejó en agitación constante entre 500 y 900 rpm, a una temperatura de 60°C , durante 2 minutos. Finalmente, se pesó una cantidad de muestra fundida entre 40-75 mg (homogeneizada), directamente en una barquilla de cuarzo para posteriormente ingresarla en el módulo ABD al horno, en donde ocurrió el proceso de pirólisis y de determinación final de cloro total por microcoulombimetría.

3. Resultados y discusión

3.1. Calibración y linealidad

La curva de calibración se realizó a partir de la inyección directa del estándar primario, según se estableció en la Tabla 1. Cada punto fue analizado por triplicado y los resultados fueron: un coeficiente de determinación de 0,99991, una calidad de réplica de 0,99981, una desviación estándar del método de 0,01332 y un LMC de 0,1 ug. Al comparar con Abdul Hammid y sus colaboradores que trabajaron con el equipo NSX2100H, del fabricante Nittoseiko Analytech, se detectó que existe una diferencia en soluciones estándar y condiciones de equipo aplicadas, puesto que obtuvieron una relación lineal similar de R^2 (0,999) y %RSD inferior de 6,77 con la implementación de una solución estándar 2,4-dinitroclorobenceno/tolueno, para determinar cloro en matrices de aceite crudo y comercial (Abdul Hammid, 2022).

Al mismo tiempo, cabe señalar que en la Figura 5 se ve claramente una tendencia lineal en las lecturas de la integral efectiva (UA), sin dispersión significativa. El cumplimiento de la curva de calibración se evaluó mediante el cálculo de la pendiente, el intercepto y el coeficiente de correlación. Los resultados obtenidos se recalcularon por interpolación con la ecuación de la recta $Y = mx + b$. Posteriormente, se calcularon los porcentajes de recuperación y los valores obtenidos oscilaron entre 88,59 % y 106,20 %. Además, los resultados de %RSD fueron inferiores al 10 % (Tabla 3). Estos recuperados se encuentran dentro de los límites establecidos por la ISO 17025:2017 (Incontec, 2017).

Figura 5. Curva de calibración de cloro

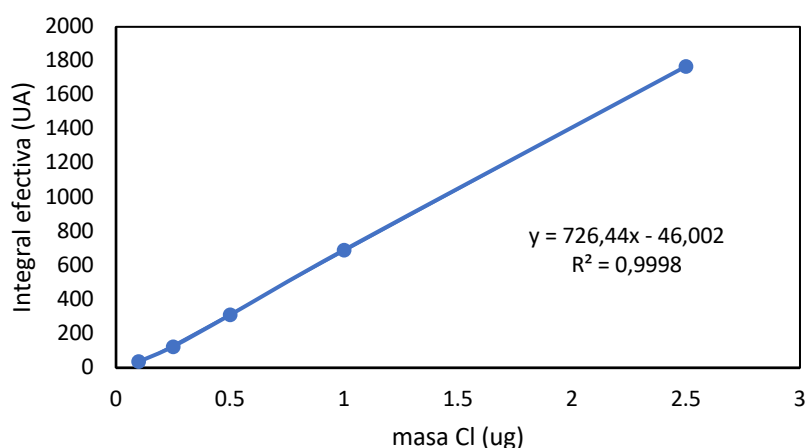


Tabla 3. Resultados de la curva de calibración.

Concentración	I-neto*	Concentración interpolada	% Recuperación
0,10	36,00	0,11	88,59
0,25	125,00	0,24	106,20
0,50	310,00	0,49	102,03
1,00	691,00	1,02	98,57
2,50	1.768,00	2,50	100,12
Pendiente	726,44		
Intercepto	-46,00		
Coefficiente de correlación r	0,99		
LMC	0,100 µg		
LMD	0,021 µg		

* I-neto: integración que contabiliza la corriente aplicada por el tiempo.

3.2. Evaluación de la precisión y exactitud

En este apartado se evaluaron la precisión y la exactitud del sistema instrumental, y se analizaron una serie de patrones, que estuvieron dentro de los rangos de linealidad del método desarrollado experimentalmente. El análisis se efectuó cuatro veces para cada solución estándar, lo que significó un total de 16 corridas por un mismo analista, y las lecturas fueron tomadas con la implementación del mismo equipo.

El estudio de precisión se realizó bajo las mismas condiciones de ensayo (Tabla 1); por lo tanto, el % Recuperación osciló entre 90,96 hasta 114,26, el cual fue calculado en función de la masa interpolada en la curva de calibración para los estándares de 0,1 – 0,5 – 1,0 y 2,5 µg de cloro. Adicionalmente, el %RSD se encuentra entre 3,65 y 9,76 (Tabla 4). Los resultados obtenidos cumplen los criterios de calidad establecidos por diferentes normativas para el análisis de aguas, crudo y otras matrices como *Standard Methods*, EPA, ASTM e ISO, lo que demuestra la conformidad en las directrices para el análisis de recuperación y coincide con los requisitos del criterio de aceptación menor al 20 % (ASTM 4929, 2008; Guadalupe & Reyes-, 2018; Incontec, 2017). Por este motivo, el laboratorio opta por incluir este valor como criterio interno para la

evaluación de repetibilidad y reproducibilidad del método analítico desarrollado. En relación con el estudio de Abdul, este demostró un %R que va de 84 % al 96 % para el nivel de precisión del método, el cual trabajaron con el equipo NSX2100H, del fabricante Nittoseiko Analytech (Abdul Hammid, 2022).

Con los resultados obtenidos en la determinación de los estándares se procede a realizar la prueba estadística ANOVA (análisis de varianza de dos factores con varias muestras con grupo), con la cual se determinan los niveles de precisión intermedia. En la Tabla 5 se especifica que el valor de F es menor al crítico en columnas e interacción, lo que demuestra que no hay diferencias estadísticamente significativas en la determinación de cloro total en diferentes días de análisis.

3.3. Comparación de laboratorios

Este análisis tiene como objetivo determinar el grado de comparabilidad de los datos generados por un laboratorio externo (Alemania), donde se empleó la metodología ASTM D7359 (modificado). En la tabla 6 se presenta la obtención de desviaciones estándar inferiores a 0,53 y cercanas a 0,03, respectivamente. En cuanto a la exactitud, la prueba proporciona sesgos inferiores al 20 % en RSD. Se

Tabla 4. Estándares de control.

Nombre de análisis	CI_resultado (µg)	Masa teórica (µg)	% Recuperación	Promedio	Desviación estándar	%RSD*
0,10 µg	0,11	0,10	114,26	0,10	0,01	9,76
0,10 µg	0,09	0,10	91,86			
0,10 µg	0,10	0,10	96,02			
0,10 µg	0,10	0,10	98,67			
0,50 µg	0,49	0,50	97,89	0,47	0,02	3,65
0,50 µg	0,48	0,50	96,82			
0,50 µg	0,46	0,50	91,09			
0,50 µg	0,46	0,50	91,82			
1,00 µg	0,78	1,00	78,18	0,88	0,07	7,42
1,00 µg	0,91	1,00	91,38			
1,00 µg	0,91	1,00	90,96			
1,00 µg	0,91	1,00	91,38			
2,50 µg	2,53	2,50	101,31	2,47	0,14	5,48
2,50 µg	2,34	2,50	93,72			
2,50 µg	2,38	2,50	95,04			
2,50 µg	2,63	2,50	105,25			

* Desviación estándar residual.

Tabla 5. Análisis de varianza de precisión intermedia.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	13,05025	3	4,350083333	600,0114943	9,41594E-10	4,066180551
Columnas	0,003025	1	0,003025	0,417241379	0,536401228	5,317655072
Interacción	0,006725	3	0,002241667	0,309195402	0,81835055	4,066180551
Dentro del grupo	0,058	8	0,00725			
Total	13,118	15				

demostró la aprobación del método con una alta precisión y exactitud. Adicionalmente, se evidencia que solo una muestra tiene un porcentaje de error relativamente alto, lo que puede deberse a la variabilidad en la matriz oleosa y al tiempo trans-

currido en que esta muestra fue analizada en Alemania y en Colombia. Es bien sabido que, además de la exposición a las perturbaciones ambientales, la descomposición de las muestras puede afectar la calidad del analito.

Tabla 6. Comparación con Analytik Jena (Alemania).

Código interno	Cl_Resultado (mg/kg)	Promedio (mg/kg)	Desviación estándar	%RSD*	Alemania (mg/kg)	% Error
1	11,87	11,85	0,03	0,24	9,40	26,02
1	11,83					
2	3,31	3,02	0,42	13,88	3,00	0,53
2	2,72					
3	5,15	5,53	0,53	9,61	5,50	0,46
3	5,90					
4	4,14	4,22	0,11	2,51	3,70	13,96
4	4,29					
5	6,48	6,26	0,32	5,09	6,90	9,35
5	6,03					

*Desviación estándar residual.

3.4. Reproducibilidad en muestras

Con el fin de incrementar la repetibilidad y la precisión en el método microvolumétrico, objeto de la estandarización, se prepararon y analizaron 32 muestras en el transcurso de la investigación, y se realizaron modificaciones en el pretratamiento de las muestras. Los resultados relacionados en la Tabla 7 corresponden a pretratamientos en los que se modificaron las condiciones, como el centrifugado de muestra, la temperatura de fundición, agitación y toma de la alícuota. En esta se evidencia un porcentaje de RSD (desviación porcentual relativa) entre el 15,77 y el 84,96 %, lo que indica que la metodología no se encuentra bajo control analítico, pero se logra evidenciar que, en la medida en la que se estandarizó el proceso de homogeneización, los resultados mejoraron al igual que la estabilidad en la lectura de cloro total por el equipo multi EA 5000.

Los resultados presentados en la Tabla 8 corresponden al análisis de 24 muestras con el pretratamiento estandarizado mencionado en la sección relacionada con la preparación de la muestra. En este se observa una mejora significativa en la repetibilidad y reproducibilidad del método, con el que se obtienen resultados de %RSD entre 1,88 y 12,67 %. Con

esto se puede establecer que la homogeneización de la muestra es un proceso crítico en la determinación del analito; no obstante, al realizar el procedimiento según se describe en este texto, los niveles de exactitud mejoran.

4. Conclusiones

La determinación de cloro es una herramienta valiosa para el control de la calidad del aceite de palma crudo, dado su potencial para actuar como precursor de contaminantes organoclorados como los cloropropanoles durante la refinación del aceite. Para desarrollar y estandarizar el método anterior, se validaron las condiciones analíticas establecidas en la literatura, se identificó el analito y se estimó la incertidumbre del método. Esto dio como resultado una elevada confiabilidad y sensibilidad en el procedimiento.

Se consideraron variables como el pretratamiento de las muestras, el flujo de gas, la estabilidad de la señal a lo largo del tiempo y la concentración de la muestra, con la finalidad de determinar condiciones de trabajo favorables en la detección de cloro total.

El porcentaje de recuperación en las mediciones realizadas durante la investigación estuvieron com-

Tabla 7. Reproducibilidad en muestras con diferentes pretratamientos.

Código interno	Cl(mg/kg)	Desviación estándar	%RSD
M22-06769	23,21	19,72	84,96
M22-06769	48,6	30,24	62,22
M22-06775	15,09	11,17	74,02
M22-07095	2,14	0,93	43,32
M22-07095	2,05	0,75	36,45
M22-07097	4,42	1,09	24,6
M22-07106	3,11	0,49	15,77
M22-07117	1,9	0,32	16,9

Tabla 8. Muestras con pretratamiento estandarizado.

Código interno	Cl(mg/kg)	Desviación estándar	%RSD
M22-06610	10,51	0,25	2,36
M22-07095	1,78	0,13	7,30
M22-07099	7,89	0,38	4,85
M22-07101	5,31	0,42	7,99
M22-07102	8,3	0,29	3,50
M22-07103	6,88	0,28	4,02
M22-07104	2,14	0,17	7,90
M22-07105	4,82	0,46	9,62
M22-07106	2,04	0,07	3,38
M22-07109	1,54	0,03	1,88
M22-07110	2,26	0,26	11,49
M22-07111	4,71	0,21	4,38
M22-07111	1,02	0,03	2,94
M22-07112	0,86	0,02	2,68
M22-07114	1,99	0,1	4,92
M22-07115	1,45	0,13	8,67
M22-07116	1,73	0,22	12,67
M22-07119	1,63	0,06	3,56
M22-07121	2,04	0,07	3,33
M22-07122	1,31	0,1	7,80
M22-07123	0,82	0,05	6,48
M22-07126	1,28	0,05	4,13
M22-07129	1,99	0,05	2,36
M22-07130	2,12	0,22	10,57

prendidas entre el 88 y el 106 %, lo que indica que el método estandarizado es exacto y preciso; por lo tanto, se considera adecuado para las determinaciones de cloro en aceite de palma.

Se declara que la metodología desarrollada en laboratorio SGI S.A.S. es apta para la determinación de cloro total en aceite de palma crudo, en donde se cumplieron los criterios estadísticos de precisión y exactitud establecidos por las diferentes entidades normativas para métodos de laboratorio de ensayo.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, a la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) y Entrepalmas S.A.S., por las muestras de aceite utilizadas en el estudio, así como al laboratorio Servicios Geológicos Integrados (SGI S.A.S.) por las instalaciones y equipo utilizados para la detección de cloro total.

Referencias bibliográficas

- Abdul Hammid, A. N. (2022). Method for the Determination of Total Chloride Content in Edible Oils. *Journal of Oil Palm Research*. <https://doi.org/10.21894/jopr.2022.0016>
- Analytik Jena. (2021). Manual de instrucciones multi EA 5100 Analizador de elementos C / N / S / Cl. *Analytik Jena GmbH*, 190. www.analytik-jena.com
- Andres, S., Appel, K. E., & Lampen, A. (2013). Toxicology, occurrence and risk characterisation of the chloropropanols in food: 2-Monochloro-1,3-propanediol, 1,3-dichloro-2-propanol and 2,3-dichloro-1-propanol. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 467–478. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.024>
- Apha, Awwa, & Wef. (2017). 4500-Cl- B. Argentometric Method. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. Online Edition*. 4, 1–2.
- ASTM 2522. (1995). Standard Test Method for Chlorine Content of Polybutenes Used for Electrical. *Astm*, 10, 11–13.
- ASTM 4929. (2008). Standard Test Methods for Determination of Organic Chloride Content in Crude Oil. *Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition*, 11, 760–766. <https://doi.org/10.1520/mnl10952m>
- ASTM 5194. (2008). Standard Test Method for Trace Chloride in Liquid Aromatic Hydrocarbons. *Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition*, 96, 821–823. <https://doi.org/10.1520/mnl10963m>
- ASTM 5808. (2008). Standard Test Method for Determining Organic Chloride in Aromatic Hydrocarbons and Related Chemicals by Microcoulometry. *Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition*, 11, 977–977–4. <https://doi.org/10.1520/mnl10992m>
- ASTM 5812. (2002). *Standard Test Method for Determination of Organochlorine Pesticides in Water by Capillary Column Gas Chromatography*. 11.

- ASTM D7359-23. (2023). Standard Test Method for Total Fluorine, Chlorine and Sulfur in Aromatic Hydrocarbons and Their Mixtures by Oxidative Pyrohydrolytic Combustion followed by Ion Chromatography Detection (Combustion Ion Chromatography-CIC).
- Contaminants in the Food Chain. (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).
- Gao, B., Jin, M., Zheng, W., Zhang, Y., & Yu, L. L. (2020). Current progresses on monochloropropane diol esters in 2018-2019 and their future research trends. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(46), 12984-12992. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00387>
- Gesteiro, E., Guijarro, L., Francisco, J. S., Troncoso, A., Venanci, L., Jimeno, V., Quilez, J., & Anad, A. (2020). *Palm Oil on the Edge*. 1–36.
- Guadalupe, J., & Reyes, M. L. (2018). Modification of the mohr volumetric technique to quantify sodium in fresh cheese. *Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca de La Universidad Autónoma de San Luis Potosí*, 5(16), 1–4.
- Icontec. (2017). NTC-ISO/IEC 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Calibración).
- Li, C., Zhou, Y., Zhu, J., Wang, S., Nie, S., & Xie, M. (2016). Formation of 3-chloropropane-1,2-diol esters in model systems simulating thermal processing of edible oil. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 586–592. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.012>
- Syed, S., Basirun, W., Elgharbawy, A., Hayyan, M., Abdulmonem, W., Aljohani, A., & Hayyan, A. (2023). 3-Monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD): a review on properties, occurrence, mechanism of formation, toxicity, analytical approach and mitigation strategy. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 3592–3615. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01883-y>
- Tian, Y., Zhang, P., Zhao, K., Du, Z., & Zhao, T. (2020). *Application of Ag / AgCl Sensor for Chloride Monitoring of Mortar under Dry - Wet Cycles*. 1–14. <https://doi.org/10.3390/s20051394>
- Wang, S., Liu, G., & Cheng, W. (2021). Chloride-mediated co-formation of 3-monochloropropanediol esters and glycidyl esters in both model vegetable oils and chemical model systems. *Food Research International*, 140, 109879. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109879>
- Yao, Y., Cao, R., Liu, W., Zhou, H., Li, C., & Wang, S. (2019). Molecular Reaction Mechanism for the Formation of 3-Chloropropanediol Esters in Oils and Fats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(9), 2700–2708. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06632>

Estudio de costos de producción 2022 para plantaciones de palma de aceite referentes por su productividad

2022 Production Cost Study on High Yield Oil Palm plantations

CITACIÓN: Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar-Martínez, D. E., Guerrero, A., Cala, S. L., Silva, A., & Arteaga, J. S. (2023). Estudio de costos de producción 2022 para plantaciones de palma de aceite referentes por su productividad. *Palmas*, 44(3), 43-55.

PALABRAS CLAVE: costo unitario, Índice de Costos para el Cultivo de la Palma de Aceite en Colombia, rendimientos de cultivo, variación de precios.

KEYWORDS: unit cost, Colombian Oil Palm Cost Index, productivity, price variation.

MAURICIO MOSQUERA-MONTOYA

Investigador Titular, Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma
Autor para correspondencia
mmosquera@cenipalma.org

ELIZABETH RUIZ-ÁLVAREZ

Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

DANIEL EDUARDO MUNÉVAR-MARTÍNEZ

Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

ANDERSON GUERRERO

Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

SILVIA L. CALA

Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

ANDRÉS SILVA

Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

JUAN S. ARTEAGA

Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

Resumen

Este artículo presenta los resultados de la estimación de los costos de producción en empresas de palma aceitera de Colombia. Se trata de una muestra de empresas que sirven de referencia por su alto nivel de adopción tecnológica y por sus elevados rendimientos de cultivo (no es una muestra estadísticamente representativa). Con respecto a la metodología, el rendimiento

de los cultivos se obtuvo a través de encuestas realizadas en estas empresas líderes. En cuanto al cambio en los precios utilizamos el Índice de Costos para el Cultivo de la Palma de Aceite (ICPA). En concreto, se consideró la variación de precios entre diciembre de 2021 y diciembre de 2022. Finalmente, se recopiló información sobre los costos de procesamiento y las tasas de extracción (aceite de palma y palmiste) en los Comités Asesores Regionales de Cenipalma en la Planta de Extracción de Aceite de Palma. Nuestros resultados indican que el costo para los cultivos sembrados con cultivares de *E. guineensis* fue de \$ 446.306/t RFF (38 % más que en 2021) y \$ 1.927.240/t APC (25,6 % más que en 2021). Para los cultivos sembrados con híbridos OxG se estimó un costo de \$ 431.367/t RFF (26 % más que en 2021) y \$ 2.174.522/t APC (19,5 % más que en 2021).

Abstract

This article presents the results of estimating production costs in oil palm companies from Colombia. It is a sample of companies that are of reference for their high level of technological adoption and for their high cropping yields (it is not a statistically representative sample). Methodologically, the crop yield was gathered through surveys carried out at these leading companies. Regarding the change in prices we used the Oil Palm Cultivation Cost Index (ICPA). Specifically, it was considered the price variation between December 2021 and December 2022. Finally, information on processing costs and oil extraction rates (palm oil and palm kernel) was gathered at Cenipalma's Advisory Committees in Palm Oil Extraction Mill. Our results indicate that for crops planted with *E. guineensis* cultivars the cost was \$ 446,306/t RFF (38 % more than in 2021) and \$ 1,927,240/t APC (25.6 % more than in 2021). For crops planted with OxG hybrid cultivars, a cost of \$ 431,367/t RFF was estimated (26 % more than in 2021) and \$ 2,174,522/t APC (19.5 % more than in 2021).

1. Introducción

El estudio de costos de producción permite medir la competitividad de la agroindustria y se constituye en un referente para palmicultores y tomadores de decisiones del sector (Mosquera-Montoya *et al.*, 2016, Mosquera-Montoya *et al.*, 2017, Mosquera-Montoya *et al.*, 2018, Mosquera-Montoya *et al.*, 2020, Mosquera-Montoya *et al.*, 2021, Mosquera-Montoya *et al.*, 2022). Conocer cuánto se produce y a qué costo resulta fundamental si se tiene en cuenta que Colombia es un país tomador de precios en el mercado global del aceite de palma. En esencia, la competitividad de la palmicultura colombiana depende de qué tan alejados están los costos de producción con respecto a los competidores.

El año 2022 atravesó un panorama económico desafiante de escala mundial resultante de hechos como la pandemia de covid-19, que tuvo su máximo pico en China, y de la guerra entre Rusia y Ucrania. Dichos acontecimientos redundaron en un incremento

generalizado del nivel de precios (fletes, alimentos, gas natural, carbón, fertilizantes, entre los principales) (World Bank, 2023).

Específicamente, la agroindustria de la palma en el ámbito mundial durante 2022 estuvo marcada por un estatus de precios altos –tanto que alcanzó los 1.200 dólares por tonelada de aceite–, como consecuencia de la disminución de la oferta de aceites sustitutos, como el de girasol; los precios del petróleo y la reducción de los inventarios de aceite de palma provenientes de Indonesia (Fry, 2022). En este contexto, la agroindustria de la palma de aceite de Colombia tuvo un año favorable en términos de producción y aumentó sus cifras de exportación un 6,3 % a destinos como la Unión Europea, Brasil o México, principalmente (Fedepalma, 2021). Este panorama de comercio exterior refuerza la necesidad de conocer el nivel de competitividad de la palmicultura colombiana a través de indicadores básicos como el costo de producción.

En el presente estudio se consolidan los resultados de la actualización de costos de producción para plantaciones caracterizadas por sus elevados estándares en la adopción tecnológica y alto rendimiento de sus cultivos en 2022, las cuales representan al 11 % del área sembrada con palma de aceite en Colombia. Por otro lado, un aspecto que cabe resaltar en este trabajo es el uso del Índice de Costos para el Cultivo de la Palma de Aceite (ICPA), para la estimación del cambio en los costos de producción.

2. Metodología

El estudio de actualización de costos de producción se realiza para los costos de producción de racimos de fruta fresca (RFF) y de aceite de palma crudo (APC). La estimación de los costos de la etapa de cultivo se llevó a cabo en tres momentos: primero, se efectuó un sondeo de rendimiento de los cultivos (t RFF/ha por año) en las plantaciones referentes en términos de adopción de tecnología de las cuatro zonas palmeras del país. El objetivo fue conocer el cambio en el comportamiento del rendimiento de los cultivos entre los años 2021 y 2022. Este sondeo se realizó en 64.329 ha en las cuatro zonas palmeras de Colombia, 49.127 ha en plantaciones con cultivares *E. guineensis* y 15.202 ha en cultivos sembrados con híbrido O×G (11 % de las 595.722 ha cultivadas en Colombia en el año 2021)(Fedepalma, 2022).

En segundo lugar, se revisaron las variaciones de los precios de los diferentes rubros de la canasta de costos palmera (tierra, mano de obra, insumos, servicios públicos y servicios de mantenimiento) definidos en el Índice de Costos para el Cultivo de la Palma de Aceite (ICPA) (Mosquera-Montoya *et al.*, 2022), a partir de la información de índices de precios generada por el DANE e información suministrada por las plantaciones.

Finalmente, se hizo la actualización de los costos por hectárea y por tonelada (\$/t RFF), para lo cual se consideraron los cambios tanto de los precios como de la productividad y se tomaron como base los valores estimados para el año 2021. El costo por tonelada de fruto (\$/t RFF) se estimó a partir de la razón entre la sumatoria de los costos de cada año del cultivo, durante el ciclo de vida del proyecto (30 años), y la sumatoria de las toneladas de racimo producidas por hectárea en el mismo período.

Con relación a los costos de extracción, se tuvo en cuenta el valor promedio de las tasas de extracción de aceite (TEA) en cada zona palmera (Fedepalma, 2022). La TEA hace referencia a la proporción en peso del aceite que se extrae de una tonelada de fruto. Este factor indica el peso de RFF que se requiere para extraer una tonelada de aceite de palma crudo (APC). El costo de procesamiento de fruto se obtuvo a partir de la estimación del costo fijo por el uso de la infraestructura y equipos, y el costo variable asociado a la mano de obra, el mantenimiento y los servicios industriales (Guerrero *et al.*, 2022). El costo de la materia prima se obtuvo con base en el costo de producción de la fase de campo. Finalmente, se consideró el crédito por venta de almendra, cuya valoración se obtuvo del peso de almendra resultante de una tonelada de RFF, valorada al 35 % del precio de la tonelada de aceite de palmiste en 2022.

3. Resultados y discusión

3.1. Rendimiento del cultivo

***E. guineensis*:** a nivel nacional, la productividad de los cultivos en empresas referentes por su adopción tecnológica fue de 27,5 t RFF/ha/año; esto indica una ligera disminución (-0,4 %) respecto al año 2021. El comportamiento de la productividad en las zonas palmeras en relación con año 2021 experimentó una variación positiva de 5,5 % en la Zona Central (29,8 t RFF/ha/año) y una variación negativa de -5,5 % en la Zona Oriental (24,9 t RFF/ha/año), y de -0,3 % en la Zona Norte del país (24,4 t RFF/ha/año) (Figura 1).

La disminución en el rendimiento de los cultivares *E. guineensis*, según disertaciones realizadas en los Comités Asesores Agronómicos en las Zonas Oriental y Norte, se ha relacionado con el déficit hídrico de años anteriores, que repercutió en una reducción del número de racimos en 2022; la escasez de mano de obra, que dificultó especialmente la programación de la labor de cosecha, y la incidencia de enfermedades como la Marchitez Letal y la Pudrición del Cogollo (PC) (Molina, 2022).

Híbrido *E. oleifera* x *E. guineensis*: el rendimiento de los cultivos sembrados en el país con híbrido O×G fue de 29,7 t RFF/ha/año, lo que representó un incremento en el rendimiento del 11,3 % en el año 2022 con respecto a 2021. En cuanto al comportamiento

de la productividad en las zonas palmeras, se observó un crecimiento del 19,6 % en la Zona Oriental (29,9 t RFF/ha/año) y del 12 % en la Zona Central (29,7 t RFF/ha/año). En la Zona Suroccidental se presentó una ligera variación del -0,60 % (23,9 t RFF/ha/año). El

Urabá Antioqueño reportó la mayor producción por hectárea (40 t RFF/ha/año) (Figura 2). La adopción de prácticas como la polinización artificial y la cosecha en punto óptimo de cosecha han sido factores clave para el incremento de la productividad del híbrido.

Figura 1. Rendimientos estimados para el cultivar *E. guineensis* en 2022

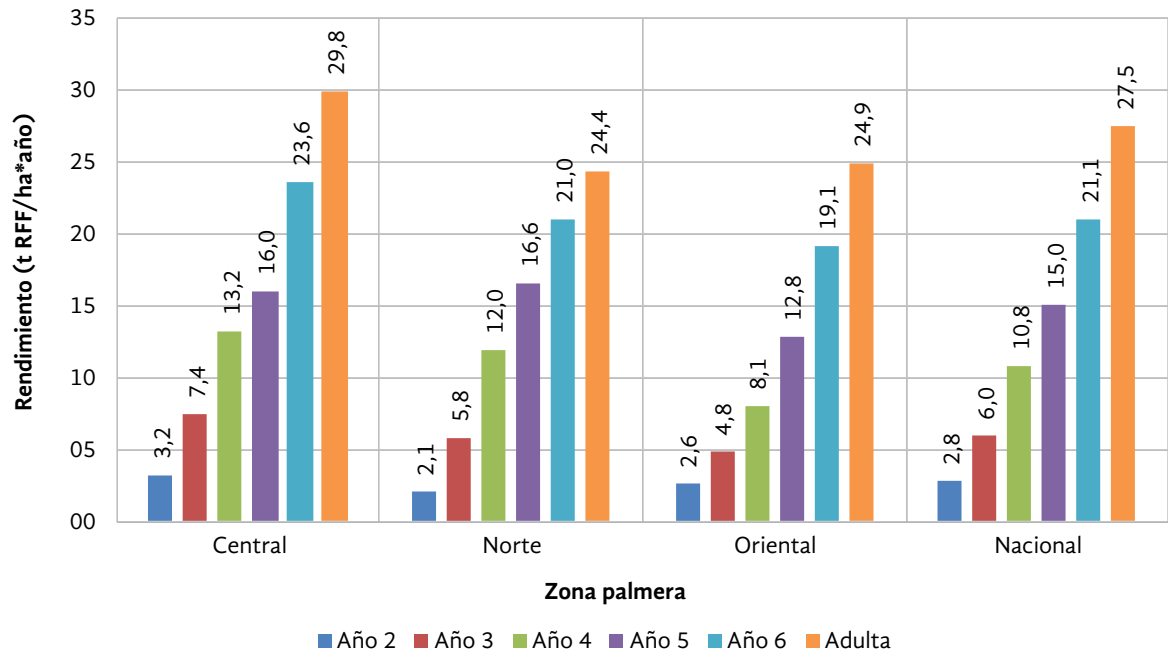
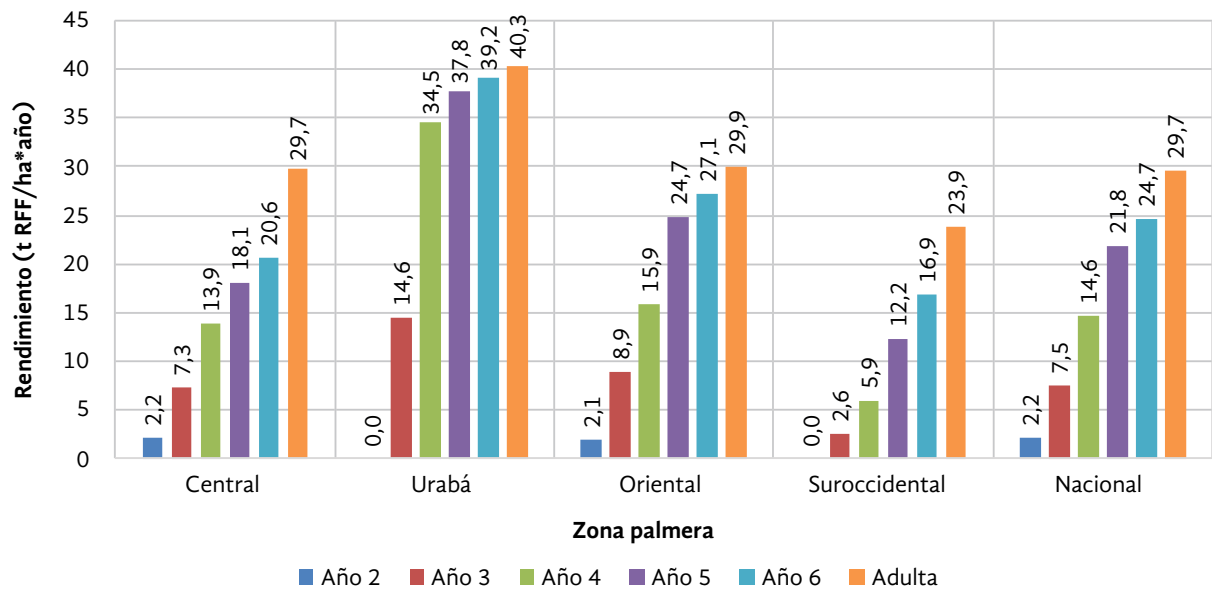


Figura 2. Rendimientos estimados para el cultivar híbrido OxG en 2022



3.2. Variación de los precios de la canasta de costos palmera

En general, los elementos de la canasta tuvieron un incremento en su costo en comparación con el año 2021, el cual fue particularmente notable en el componente de los insumos (salvo los de polinización), específicamente en los fertilizantes y los herbicidas (Tabla 1). En el caso de los fertilizantes, especialmente los nitrogenados, hubo una fuerte tendencia al alza durante el primer trimestre de 2022, como efecto de la subida en el precio del gas, las sanciones sobre Rusia y los coletazos económicos de la pandemia de covid-19 (FAO, 2022; USDA, 2022). El costo de los

herbicidas aumentó debido a la reducción de los inventarios disponibles en China, su principal productor (Nirmal Bang, 2022).

La mano de obra tuvo un incremento del 10 %, asociado a la variación del salario mínimo en Colombia (Decreto 1724, 2021). Por otro lado, la elevación de la inflación al cierre del año impactó en los costos de la tierra y de los servicios públicos.

3.3. Costos de establecimiento

En general, los costos de establecer una hectárea de palma se incrementaron en más del 10 % para ambos

Tabla 1. Variación de los precios de los componentes de la canasta de costos palmera de 2022 con respecto a 2021.

Rubro	Variación 2022/2021 (%)	Fuente
Mano de obra	10,01	Variación Salario Mínimo Legal Vigente
Herbicidas	151,6	SIPSA, DANE (DANE, 2021)
Fertilizantes	92,66	SIPSA, DANE (DANE, 2021) Sondeo de precios con plantaciones de las zonas palmeras referentes por productividad
Productos de manejo fitosanitario	12,93	Índice de precios al productor Índice de precios para insecticidas, fungicidas y bactericidas - DANE (Hoja 4.1)
Insumos para la polinización	-3,28	Sondeo de precios con plantaciones de las zonas palmeras referentes por productividad
Herramientas y maquinaria	10,2	Índice de precios al productor Índice de precios para maquinaria y herramienta - DANE (Hoja 1.1)
Compra de animales	7,81	Índice de precios al productor Índice de precios para ganado vivo - DANE (Hoja 1.1)
Mantenimiento de animales	12,61	SIPSA, DANE
Costo fijo de transporte de RFF	16,17	Índice de costos fijos transporte de carga por carretera (ICTC) Capítulo Costos fijos
Agua	13,32	Variación anual IPC
Combustible	5,42	Precios ACPM históricos - Ministerio de Minas y Energía
Mantenimiento de medios de transporte	11,20	Índice de costos fijos de transporte de carga por carretera (ICTC) Capítulo Mantenimiento y reparación
Tierra	13,32	Variación anual IPC

cultivares. Específicamente, los rubros que más subieron de costo con respecto a 2021 fueron las erradicaciones mecánicas (40 % - 51 %), la etapa de vivero (12 % - 15 %) y el establecimiento de coberturas (11 % - 16 %). El incremento en el costo del vivero pudo estar relacionado con la baja disponibilidad de semillas y plántulas.

E. guineensis: el valor del establecimiento a nivel nacional se estimó en \$ 16,21 millones/ha. La mayor participación de ese monto la tuvieron los rubros de infraestructura de riego (28,73 %), la infraestructura de transporte (13,09 %) y el vivero (11,43 %) (Tabla 2). La Zona Norte destaca en el costo de inversión en sistemas de riego, ya que hay una mayor presencia de sistemas presurizados y, adicionalmente, un mayor número de empresas con necesidad de implementar este tipo de montaje.

Híbrido OxG: establecer una hectárea costó \$ 14,20 millones, de los cuales, los rubros directos que más cuestan son la infraestructura de riego (24,08 %), la etapa de vivero (16,03 %) y la construcción de drenajes (12,41 %) (Tabla 2). Al igual que en *E. guineensis*, los costos indirectos y la erradicación de cultivos

antiguos también tienen un costo relevante que pueden representar hasta el 29,97 % del valor de la etapa.

3.4. Costos por etapa del cultivo

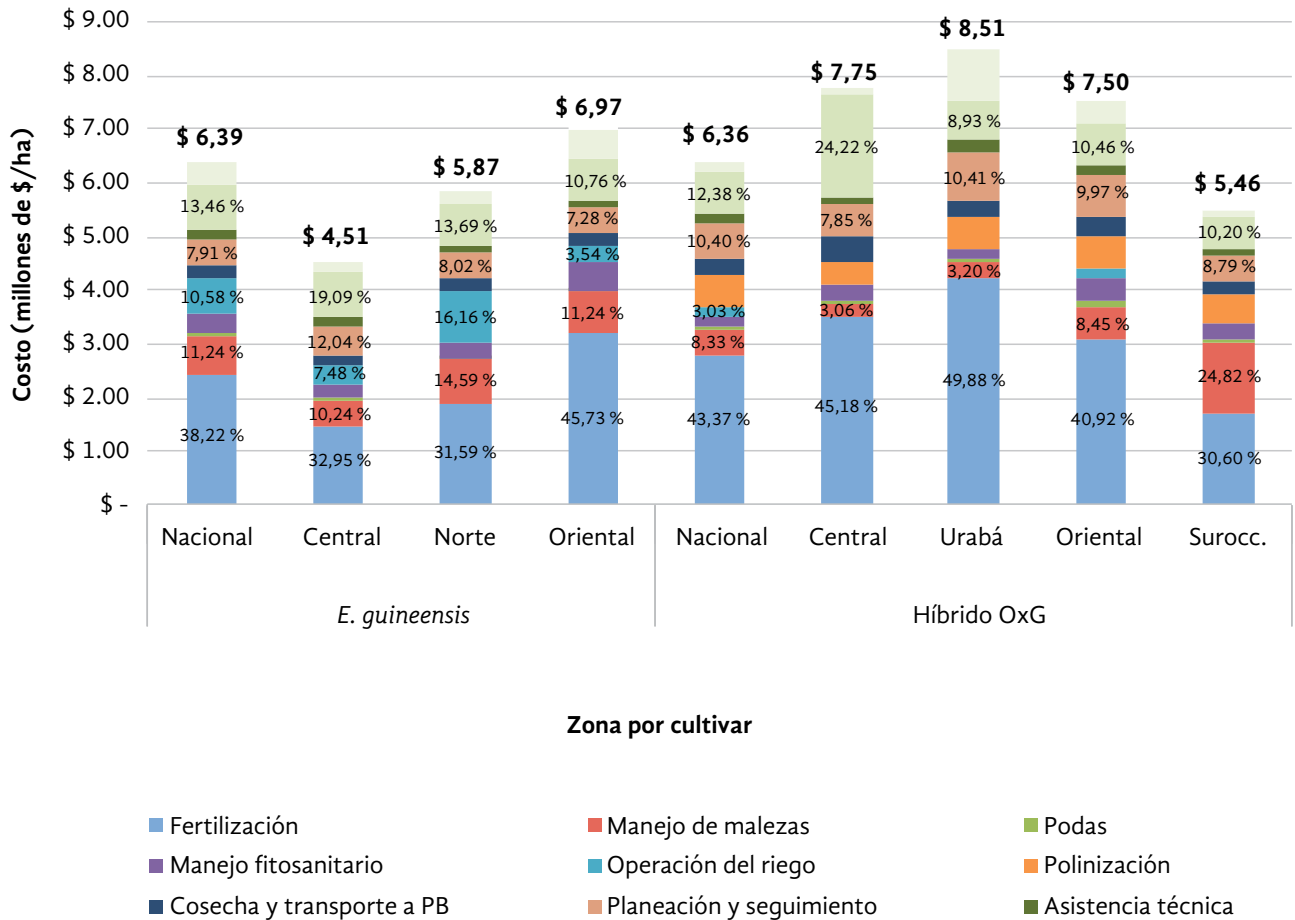
Etapa improductiva: este período, que comprende del primer al tercer año después de siembra, tuvo un costo promedio anual de \$ 6,39 millones/ha en el cultivar *E. guineensis* y de \$ 6,36 millones/ha en el cultivar híbrido OxG (Figura 3). En general, la fertilización (38,22 % para *E. guineensis* y 43,37 % para híbrido) y el costo de oportunidad de la tierra (13,46 % para *E. guineensis* y 12,38 % para híbrido) ocupan los principales escaños de participación en los dos cultivares. La Zona Oriental (*E. guineensis*) y el Urabá Antioqueño (híbrido OxG) presentaron los mayores costos por hectárea, principalmente por las cantidades de fertilizante empleadas.

Etapa en desarrollo: en el período que va del cuarto al sexto año se estimó un costo promedio anual de 9,15 millones de pesos por hectárea para *E. guineensis* y 10,76 millones de pesos por hectárea para los híbridos OxG. La fertilización sigue siendo el costo

Tabla 2. Costos de establecimiento por cultivar y zona, en millones de pesos por hectárea.

	<i>E. guineensis</i>				Híbrido OxG				
	Nal.	ZC	ZN	ZO	Nal.	ZC	Urabá	ZO	ZS
Eliminación de palmas	\$1,92	\$1,49	\$2,06	\$1,32	\$1,99	\$2,19	\$-	\$1,95	\$1,96
Diseño de plantación	\$0,22	\$0,13	\$0,15	\$1,34	\$0,19	\$0,23	\$0,25	\$0,16	\$0,22
Vías	\$2,12	\$1,12	\$2,67	\$1,47	\$1,17	\$1,51	\$1,28	\$1,02	\$1,42
Drenajes y canales	\$0,89	\$0,76	\$0,75	\$1,21	\$1,76	\$0,96	\$2,40	\$1,83	\$-
Infraestructura de riego	\$4,66	\$2,83	\$5,90	\$0,62	\$3,42	\$-	\$-	\$3,42	\$-
Preparación del terreno	\$1,72	\$1,91	\$1,33	\$1,22	\$0,82	\$1,74	\$1,78	\$0,71	\$1,73
Siembra	\$0,66	\$0,85	\$0,69	\$0,35	\$0,53	\$0,54	\$0,45	\$0,34	\$0,46
Vivero	\$1,85	\$1,84	\$1,69	\$1,86	\$2,28	\$2,26	\$1,66	\$2,33	\$2,10
Establecimiento de coberturas	\$0,22	\$0,23	\$0,24	\$0,21	\$0,21	\$0,23	\$0,14	\$0,33	\$0,18
Otros costos	\$1,95	\$1,72	\$1,66	\$1,94	\$1,83	\$2,75	\$2,84	\$2,11	\$1,28
Total	\$16,21	\$12,89	\$17,14	\$11,54	\$14,20	\$12,42	\$10,81	\$14,22	\$9,36

Figura 3. Costos de la etapa improductiva por cultivar y zona

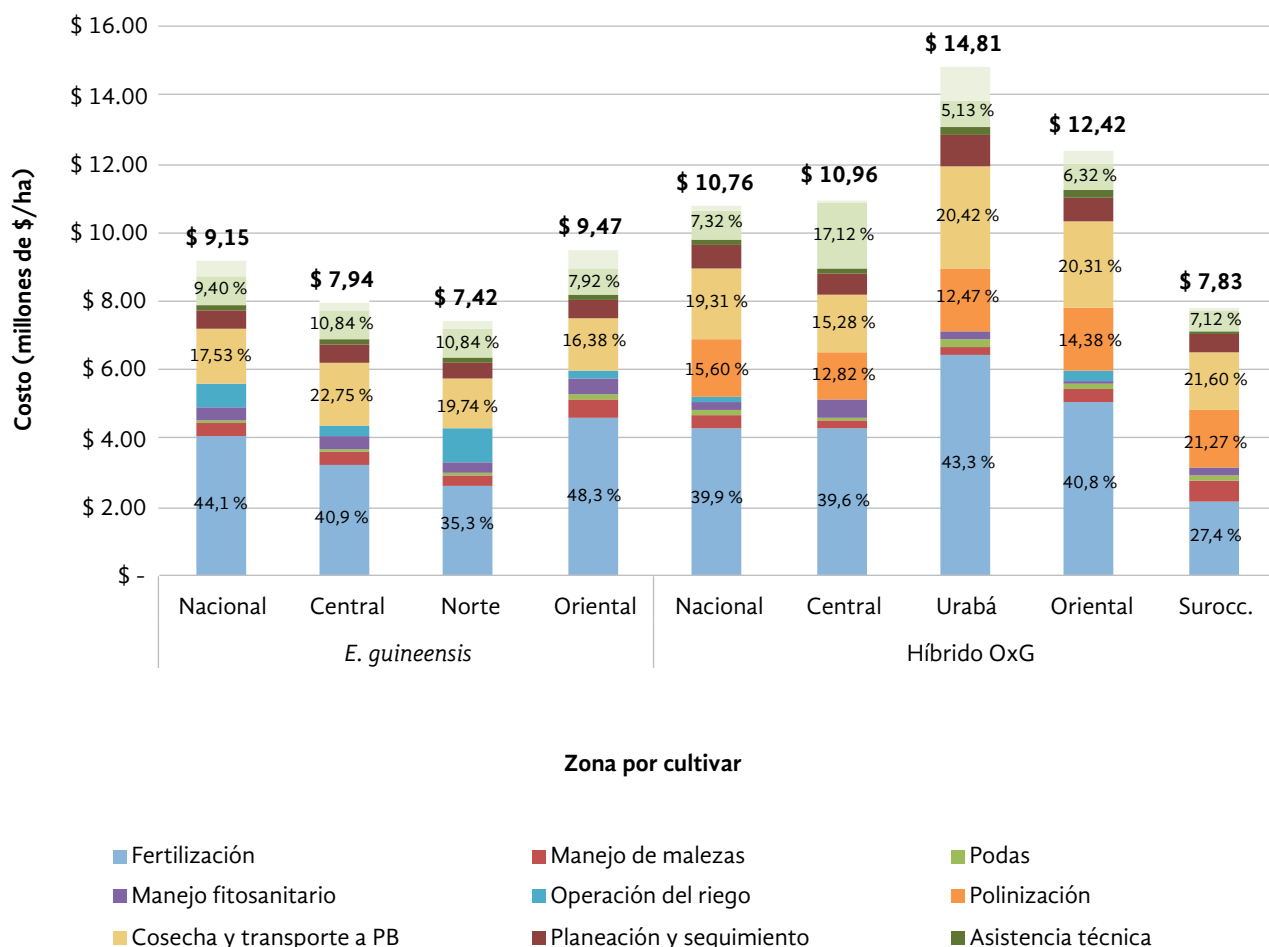


directo más importante en ambos cultivares, equivalente al 44,1 % para *E. guineensis* y el 39,9 % para los híbridos OxG del costo total por hectárea. Con la entrada a producción de las palmas, los costos de cosecha y transporte aumentan, los cuales representan, a nivel nacional, entre el 17,53 % y el 19,3 % del costo para *E. guineensis* y el híbrido OxG, respectivamente. La polinización, en este último, participa con un importante porcentaje (15,6 %) del costo (Figura 4).

Etapa adulta: a partir del séptimo año, el costo promedio anual para *E. guineensis* se estimó en 10,68 millones de pesos por hectárea y, para el híbrido OxG,

en 11,19 millones de pesos por hectárea (Tabla 3). A nivel nacional, la fertilización participó con cerca de la mitad del costo (49,3 %) en *E. guineensis* y con 40,7 % en OxG; mientras que la cosecha y el transporte de RFF participaron con 19,1 % en *E. guineensis* y 19,8 % en OxG. En el híbrido, la polinización representó el 14,9 %. El costo de esta etapa tuvo un incremento del 39,1 % en el caso de *E. guineensis* y del 34,5 % en los híbridos OxG, con respecto a 2021. El factor principal que incide en el incremento del costo entre 2021 y 2022 es el incremento en el costo del precio de los fertilizantes.

Figura 4. Costos de la etapa en desarrollo por cultivar y zona



3.5. Costo por tonelada de RFF

Para el cultivar *E. guineensis*, el costo se estimó en \$ 446.306/t RFF en 2022 (Tabla 4). Entre las zonas, la Oriental presentó el mayor costo asociado no solo al incremento de los costos de todos los rubros, especialmente los de fertilización, insumos y fletes, sino también a la caída en su productividad con respecto al año anterior y al costo relativamente más alto de la mano de obra. Por su parte, el crecimiento en rendimiento de la Zona Central se vio favorecido gracias al menor costo de producción en esta vigencia, un 16 % por debajo del promedio nacional.

Respecto al híbrido OxG, el costo se estimó en \$ 431.367/t RFF (Tabla 4). Comparativamente entre zonas, el costo estimado para la subzona del Urabá Antioqueño fue el más bajo, producto de los altos rendimientos del cultivo.

En general, el costo de producción para todas las zonas subió frente a los valores del año anterior, el cual fue mayor para *E. guineensis* (38 %) que para el híbrido (26 %). Particularmente, el aumento de la productividad en este cultivar amortiguó el incremento del costo, en especial en la Zona Oriental, la cual únicamente subió un 11 %.

Tabla 3. Costos de la etapa adulta por cultivar y zona, en millones de pesos anuales por hectárea.

	<i>E. guineensis</i>				Híbrido OxG				
	Nal.	ZC	ZN	ZO	Nal.	ZC	Urabá	ZO	ZS
Fertilización	\$5,27	\$4,14	\$3,74	\$5,32	\$4,55	\$4,57	\$6,86	\$5,26	\$4,65
Manejo de malezas	\$0,31	\$0,57	\$0,22	\$0,38	\$0,46	\$0,15	\$0,21	\$0,32	\$0,73
Podas	\$0,12	\$0,12	\$0,11	\$0,14	\$0,13	\$0,13	\$0,29	\$0,11	\$0,09
Manejo de insectos	\$0,15	\$0,19	\$0,13	\$0,15	\$0,15	\$0,33	\$0,13	\$0,10	\$0,20
Manejo de enfermedades	\$0,15	\$0,19	\$0,13	\$0,15	\$0,07	\$0,15	\$0,06	\$0,05	\$0,09
Operación del riego	\$0,69	\$0,34	\$0,95	\$0,19	\$0,19	\$-	\$-	\$0,29	\$-
Polinización	\$-	\$-	\$-	\$-	\$1,68	\$1,40	\$1,85	\$1,79	\$1,67
Cosecha	\$1,45	\$2,07	\$1,14	\$1,47	\$1,68	\$1,35	\$2,12	\$1,69	\$1,70
Transporte a PB	\$0,58	\$0,77	\$0,52	\$0,61	\$0,54	\$0,68	\$0,75	\$0,78	\$0,48
Planeación y seguimiento	\$0,51	\$0,54	\$0,47	\$0,51	\$0,66	\$0,61	\$0,89	\$0,75	\$0,48
Asistencia técnica	\$0,15	\$0,14	\$0,14	\$0,14	\$0,16	\$0,15	\$0,23	\$0,16	\$0,13
Tierra	\$0,86	\$0,86	\$0,80	\$0,75	\$0,79	\$1,88	\$0,76	\$0,79	\$0,56
Animales	\$0,05	\$0,04	\$0,03	\$0,10	\$0,08	\$0,03	\$0,26	\$0,24	\$0,03
Mantenimiento de activos	\$0,27	\$0,07	\$0,01	\$0,44	\$0,05	\$0,04	\$0,39	\$0,17	\$0,04
Repuestos y otros	\$0,12	\$0,07	\$0,21	\$-	\$0,02	\$0,04	\$0,31	\$-	\$0,04
Total	\$10,68	\$10,09	\$8,59	\$10,35	\$11,19	\$11,52	\$15,11	\$12,51	\$10,89

Tabla 4. Costos unitarios (\$/t RFF) por cultivar y zona.

		Costo total	Costo sin tierra	Costo etapa adulta
<i>E. guineensis</i>	Nacional	\$446.306	\$410.222	\$388.571
	Central	\$374.803	\$341.693	\$337.990
	Norte	\$411.992	\$374.238	\$354.235
	Oriental	\$468.536	\$434.444	\$406.173
Híbrido OxG	Nacional	\$431.367	\$400.864	\$377.085
	Central	\$448.594	\$375.444	\$389.801
	Urabá	\$412.850	\$391.621	\$375.268
	Oriental	\$470.169	\$440.573	\$418.771
	Suroccidental	\$506.781	\$479.488	\$454.648

3.6. Estructura de costos del cultivo

Para los proyectos productivos de *E. guineensis*, la estructura de costos estuvo regida por la fertilización (45,7 %), la cosecha y transporte (17,0 %) y el costo de oportunidad de la tierra (8,1 %), como se muestra en la Figura 5. En el híbrido OxG, los rubros con la mayor participación fueron la fertilización (38,8 %), la cosecha y transporte (18,4 %) y la polinización (13,8 %) (Figura 6).

La coyuntura de precios de los fertilizantes presentada en 2022 implicó un cambio importante en la conformación de la estructura de costos no solo para la palmicultura, sino también para los demás sistemas de producción agrícola del país.

3.7. Costos de extracción de aceite

En 2022, el costo de extracción del aceite proveniente de cultivos sembrados con *E. guineensis* se estimó en \$ 1,93 millones/t APC, mientras que para el cultivar híbrido OxG fue de \$ 2,17 millones/t APC (Figura 7). Se destaca que la TEA en el híbrido OxG fue mayor que la de *E. guineensis* en 1,5 puntos porcentuales. Así mismo, el costo de los RFF que se requieren para producir una tonelada de aceite es 0,35 % menor (Tabla 5). Sin embargo, el costo de extracción en *E. guineensis* resultó menor puesto que el valor del crédito de almendra es mayor en *E. guineensis* que en híbrido OxG.

Figura 5. Estructura de costos para el cultivar *E. guineensis*

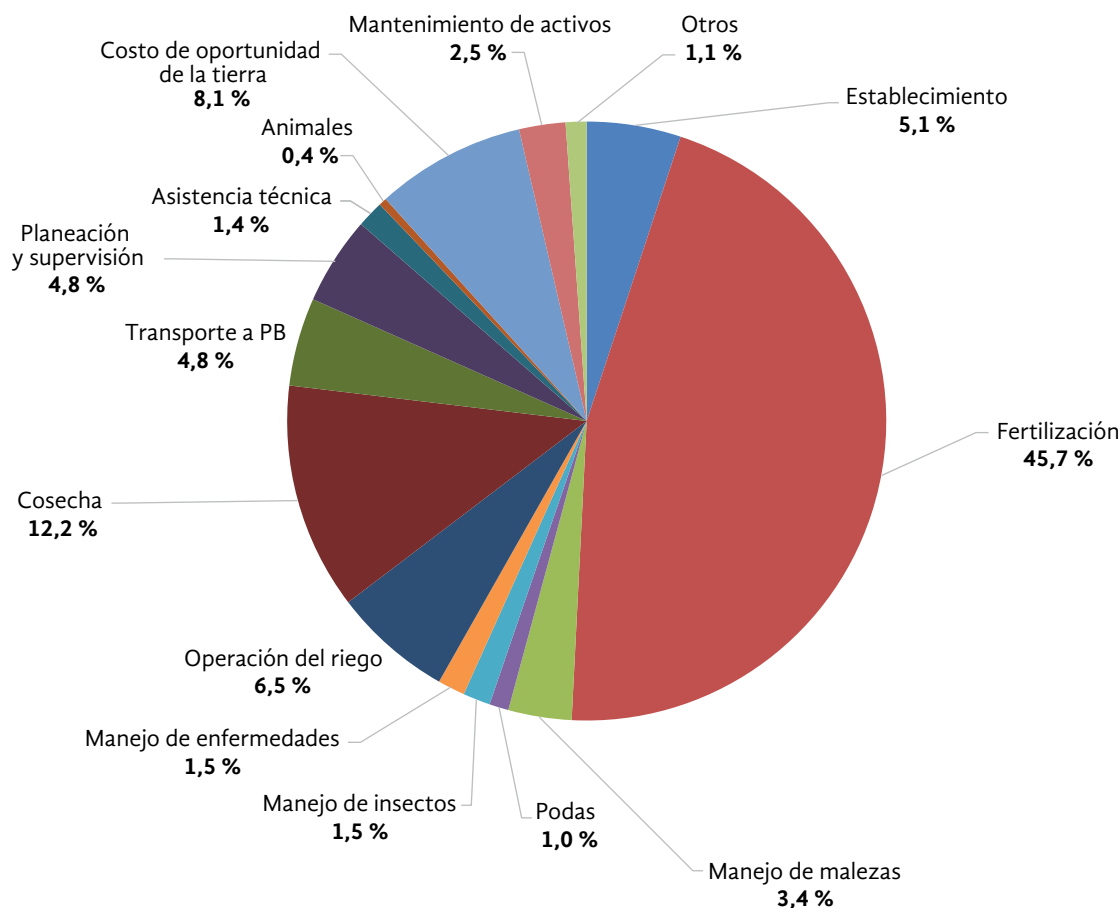


Figura 6. Estructura de costos para el cultivar híbrido OxG

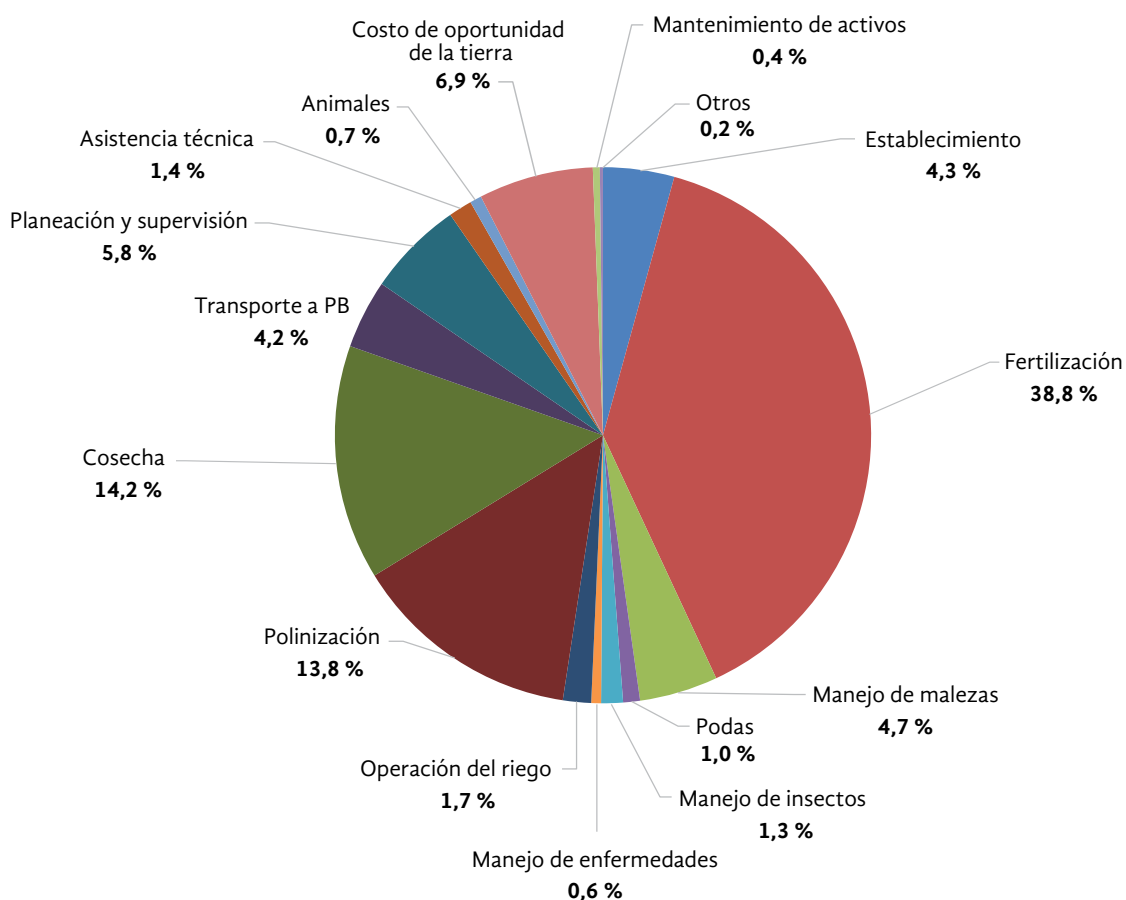


Figura 7. Costos de extracción de aceite de palma por cultivar y zona

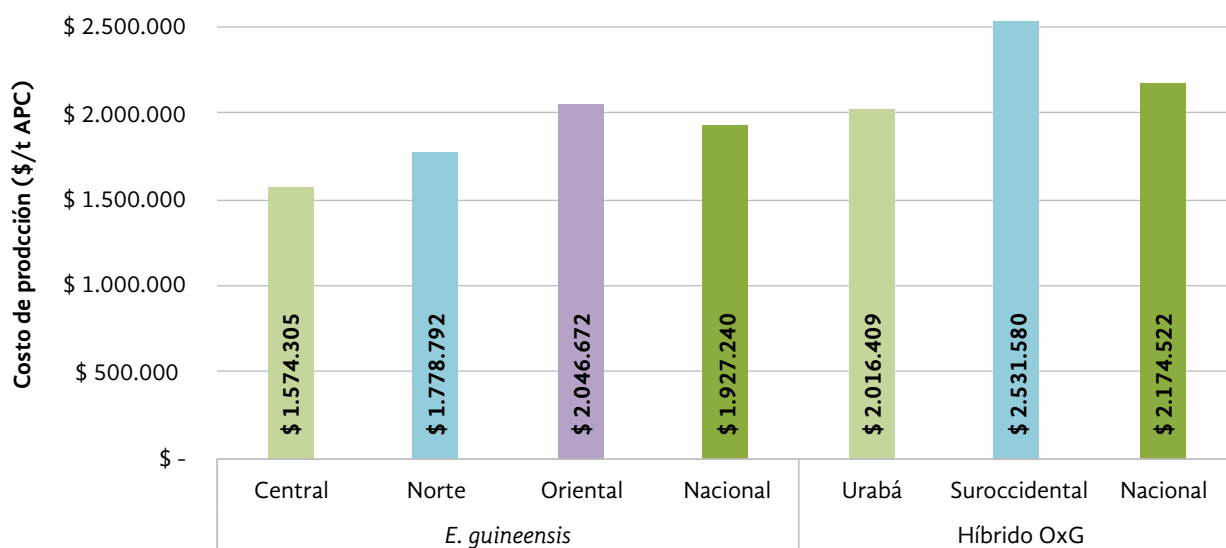


Tabla 5. Parámetros para la estimación del costo de extracción.

	<i>E. guineensis</i>				Híbrido OxG		
	Nal.	ZC	ZN	ZO	Nal.	Urabá	ZS
TEA (%)	21,99	22,07	20,44	22,77	23,49	23,17	23,63
Almendra (%)	4,22	4,49	5,16	3,49	0,55	1,75	--
Costo de procesamiento (\$/kg RFF)	72,03	73,23	67,19	75,67	91,74*	93,56	91,43

*Solo considera a Urabá y la Zona Suroccidental.

4. Conclusiones

El panorama económico mundial y local de 2022 impactó sobre la competitividad del sector palmicultor, que se evidenció en el incremento brusco de los costos de producción en ambos cultivares de palma de aceite.

El drástico aumento de los precios de los fertilizantes durante el primer trimestre del año repercutió en un cambio en la estructura de costos del cultivo; debido a esto, la fertilización contribuyó en el 45,7 % de los costos para los cultivares *E. guineensis* y en 38,8 % para cultivares híbridos (33,8 % y 28,8 %, respectivamente en 2021). Esto a su vez ha motivado la búsqueda de alternativas viables para realizar un manejo eficiente de la nutrición del cultivo por parte de las plantaciones.

No obstante, el incremento en la productividad, en especial para los cultivares híbridos OxG, permitió amortiguar la pérdida de competitividad. Con el escenario favorable de precios del aceite de palma aún es posible seguir realizando un manejo agronómico adecuado que permita mantener o incrementar los rendimientos del cultivo.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, por la financiación de este trabajo. Además, este agradecimiento se extiende a los miembros de las empresas participantes que continúan contribuyendo con información sobre la productividad de sus plantaciones.

Referencias bibliográficas

- DANE. (2021). *Estadísticas por tema*.
- Decreto 1724, no. 1724, 1 (2021).
- FAO. (2022). *Global fertilizer market and policies: a joint FAO/WTO mapping exercise* (Issue March).
- Fedepalma. (2021). Balance 2021 y perspectivas 2022 de la agroindustria de la palma de aceite. *Boletín Económico*. http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/03032021_Balance_y_perspectivas_de_la_agroindustria_de_la_palma_de_aceite_2020-2021_CMG_ASM.pdf

- Fedepalma. (2022). *Anuario estadístico 2022*.
- Fry, J. (2022). The Vegetable Oil Market Today. *XX Conferencia Internacional Sobre Palma de Aceite*.
- Guerrero, A., Mosquera-Montoya, M., & Cala, S. (2022). *Seguimiento a los costos variables de procesamiento de racimos de fruta fresca (RFF) en 2022*.
- Molina, L. (2022). Pudrición del cogollo, riesgo inminente en el Norte del Cesar. *El Palmicultor*, 2.
- Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar, D., Moreno, L., Estupiñán, M. C., Guerrero, A., Cala, S., & Sierra, S. (2021). Costos de producción 2020 para empresas benchmark de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 42(2020), 8–20.
- Mosquera Montoya, M., Ruiz Álvarez, E., Munévar Martínez, D. E., Estupiñán Villamil, M. C., Guerrero, Á., & Cala, S. (2022). Estudio de costos de producción 2021 para empresas benchmark del sector de la palma de aceite de Colombia. *Palmas*, 43(4), 26–39. <https://doi.org/10.56866/01212923.13911>
- Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar-Martínez, D. E., Estupiñán, M., Guerrero, Á. E., & Cala, S. (2022). Estudio de costos de producción 2021 para empresas benchmark 2021 Production Costs Study on Benchmark Companies from the. *Palmas*, 43(4), 26–39.
- Mosquera-Montoya, 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 (Colombia)*, 41(4), 2–13.
- Mosquera, M., Ruiz, E., Valderrama, M., Fontanilla, C., López, D., & Castro, L. (2016). Costos de producción para el cultivo de la palma de aceite en Colombia. In *Mejor. Prácticas Agroindustriales del Cultiv. la Palma Aceite en Colomb.* (p. 401).
- Mosquera, M., Valderrama, M., Ruiz, E., López, D., & Castro, L. (2017). Costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma en 2015: estimación de un grupo de productores colombianos. *Rev. Palmas*, 38(2), 11–27. http://web.fedepalma.org/media/01-Palmas-38-2-2017_VF_sin_marcas.pdf
- Mosquera-Montoya, M., Valderrama Villabona, M., Ruíz Álvarez, E., López Alfonso, D., Castro Zamudio, L., & Gonzáles Arenas, M. A. (2018). Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos. *Palmas*, 39(2), 13–26.
- Nirmal Bang. (2022). *Institutional Equities Chemical Sector*.
- USDA. (2022). *Impacts and Repercussions of Price Increases on the Global Fertilizer* (Issue June 2022).
- World Bank. (2023). *Global Economic Prospects A Second Year of Sharply Slowing Growth* (Issue January).

Índice de costos para la palma de aceite (ICPA) Cost index for oil palm (ICPA)

CITACIÓN: Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar-Martínez, D. E., Estupiñán-Villamil, M. C., & Sinisterra-Ortiz, K. X. (2023). Índice de costos para la palma de aceite (ICPA). *Palmas*, 44(3), 56-69.

PALABRAS CLAVE: cambio de precios, coeficientes técnicos, agroindustria de la palma de aceite, Colombia

KEY WORDS: price change, technical coefficients, oil palm agro-industry, Colombia

MAURICIO MOSQUERA-MONTOYA
Investigador Titular, Corporación
Centro de Investigación en Palma de
Aceite, Cenipalma

Autor para correspondencia:
mmosquera@cenipalma.org

ELIZABETH RUIZ-ÁLVAREZ
Corporación Centro de Investigación
en Palma de Aceite, Cenipalma

DANIEL E. MUNÉVAR-MARTÍNEZ
Corporación Centro de Investigación
en Palma de Aceite, Cenipalma

MARÍA C. ESTUPIÑÁN-VILLAMIL
Corporación Centro de Investigación
en Palma de Aceite, Cenipalma

KELLY X. SINISTERRA-ORTIZ
Corporación Centro de Investigación
en Palma de Aceite, Cenipalma

Resumen

La agroindustria colombiana de palma de aceite se ha caracterizado por tener cifras precisas sobre los costos de producción. De hecho, estos datos se han recopilado y procesado desde 2003, cuando Colombia comenzó a firmar acuerdos comerciales bilaterales y multilaterales, y era necesario informar detalladamente sobre la posición competitiva del aceite de palma colombiano a nivel mundial. Estos estudios se han llevado a cabo anualmente y los empresarios están acostumbrados a tener estos datos disponibles. Sin embargo, los datos de costos solían publicarse con un año de retraso, y este era un aspecto para mejorar y facilitar el proceso de

toma de decisiones en la agroindustria. Este artículo presenta los resultados de la construcción de un Índice de costos para el cultivo de la palma de aceite, ICPA, por sus siglas en español. En cuanto a los aspectos metodológicos se utilizó el Índice de Laspeyres. Los principales resultados de esta investigación son los coeficientes técnicos para el cultivo de palma aceitera de cultivares de *E. guineensis* y de cultivares OxG.

Abstract

The Colombian oil palm agroindustry has been featured by having accurate figures on production costs. In fact, data on production costs has been gathered and processed since 2003 when Colombia started signing bilateral and multilateral trade agreements and it was needed to account for good information on the Colombian palm oil competitive position at a global level. These studies have been carried out annually and entrepreneurs are used to have these data available. However, costs data used to be released with one year lag, and this was an aspect to be improved to facilitate the decision-making process in the Colombian oil palm agroindustry. This paper presents the results of building a costs index for the Colombian oil palm Agroindustry, named after ICPA because of its Spanish acronym. Regarding methodological aspects we used a Laspeyres Index. The main results from this research are the technical coefficients for cropping oil palms from *E. guineensis* cultivars and from OxG cultivars.

1. Introducción

La agroindustria de la palma de aceite viene trabajando en la estimación de los costos de producción desde 2003, año en el que se dio la apertura de la economía colombiana, mediante acuerdos comerciales bilaterales y multilaterales. Lo que empezó como un ejercicio para entender la posición competitiva de la agroindustria en medio de aquella coyuntura se consolidó como un proceso liderado por Fedepalma hasta el año 2013 (Guterman, 2008; Guterman, 2014).

Posteriormente, al ejercicio de estimación de costos se convocó al equipo de Evaluación Económica de Cenipalma para que, de manera conjunta, se estimaran los costos de producción de la agroindustria. Con ello se buscaba fortalecer el criterio de manejo del cultivo. Desde el ejercicio de estimación de costos 2014 Fedepalma y Cenipalma trabajan juntos (Mosquera *et al.*, 2015; Mosquera *et al.*, 2016; Mosquera *et al.*, 2017; Mosquera *et al.*, 2018; Mosquera *et al.*, 2019; Mosquera *et al.*, 2020; Mosquera *et al.*, 2022).

Es evidente la relevancia del trabajo de estimación de costos para los tomadores de decisiones de la agroindustria, lo que se evidencia en el número de visitas a los artículos de divulgación de costos para cada vigencia que, habitualmente, se publican en la

revista *Palmas* y también en la consulta a los *brochures* de Costos que sintetizan esta información (Fedepalma, 2019, 2020, 2022).

Sin embargo, el comentario más común de parte de los palmeros acerca de esta información era el rezago de los estudios. Con frecuencia se manifestaba la necesidad de contar con un mecanismo más expedito para hacerle seguimiento a los costos de producción. En consecuencia, investigadores del Área de Evaluación Económica de Cenipalma desarrollaron el índice de costos para la palma de aceite (ICPA). Este tipo de índices ha permitido, por ejemplo, a la Federación Colombiana de Ganaderos, monitorear trimestralmente el comportamiento de los costos de producción de los diferentes sistemas de producción de la ganadería en Colombia (Fedegan, 2023).

El objetivo de este trabajo fue establecer la canasta de insumos y servicios para monitorear la evolución de los costos de producción del sector palmero en Colombia. Así se consolidó el índice de costos para el cultivo de la palma de aceite. Este trabajo se fundamentó en la estructura de costos de producción y en las tecnologías predominantes en la palmicultura colombiana. La información se obtuvo de encuestas realizadas a empresas del sector durante las vigencias 2017–2021.

El ICPA permitirá determinar el impacto de los cambios en los precios de insumos y servicios necesarios para producir racimos de fruta fresca de palma de aceite (RFF), sobre su costo de producción. Esto favorece la oportunidad en la toma de decisiones de los actores involucrados en la producción de RFF a nivel micro y macroeconómico. Asimismo, permitirá a los hacedores de política pública entender el efecto de sus decisiones sobre el sector de la palma.

2. Metodología

2.1. Etapas para la elaboración del índice

El índice se elaboró en tres etapas principales, las cuales se desarrollaron a partir de la realización de siete actividades, según se ilustra en la Figura 1.

2.2. Recolección de datos

En esta fase se elaboró un cuestionario para determinar la estructura de costos de producción de cultivos de palma de aceite e identificar la participación de los factores de producción por proceso involucrado en el cultivo.

El cuestionario se estructuró en cuatro secciones: 1) información general (áreas cultivadas, tipo de

cultivar, costos asociados a la tierra); 2) rendimiento de los cultivos; 3) labores de mantenimiento de los cultivos; 4) cosecha y transporte de racimos.

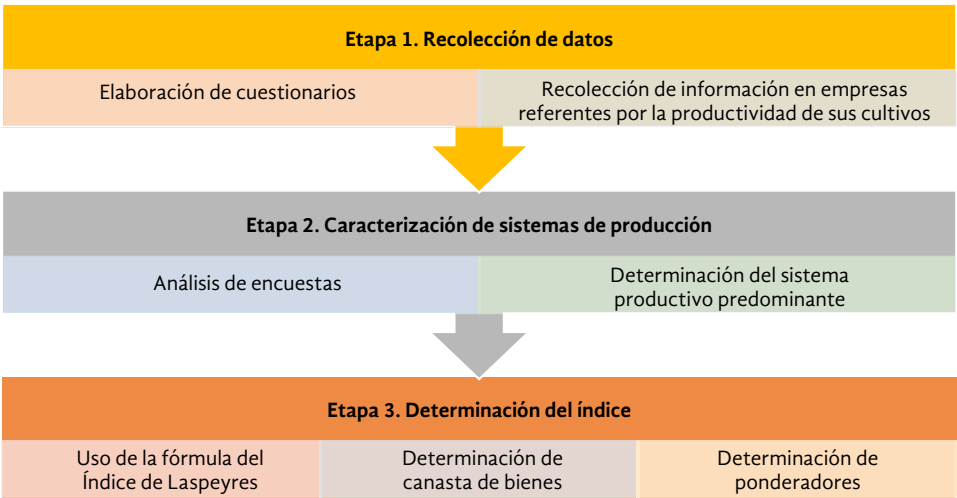
En lo que refiere al mantenimiento de los cultivos se indagó por los factores de producción (capital y trabajo) involucrados en las diferentes labores. Igualmente se incluyeron preguntas para determinar cuáles son los principales insumos empleados en las diferentes labores de mantenimiento de los cultivos (control de malezas, control de plagas y enfermedades, fertilización, polinización), así como las cantidades empleadas en una hectárea cultivada.

Para el estudio se consideraron plantaciones de las cuatro zonas palmeras que son referentes por la adopción de tecnologías disponibles para los cultivos y que poseen buena productividad en sus cultivos.

2.3. Caracterización de sistemas de producción

Se analizaron los datos para establecer la contribución porcentual de los costos de producción de las diferentes etapas de producción de palma de aceite (establecimiento, improductiva, desarrollo y adultas) en el costo de producir una tonelada de RFF. Dicho análisis permitió evidenciar que el 80 % de los costos de producción de una tonelada de fruta corres-

Figura 1. Etapas desarrolladas para la elaboración del índice.



ponden a la etapa adulta (7 a 30 años del cultivo). En consecuencia, el ICPA se estimó para esta etapa (i.e. Etapa adulta).

Se determinaron los patrones tecnológicos más frecuentes empleados en los diferentes procesos de producción (Tabla 1). El análisis se enfocó en siete procesos productivos del cultivo: riego, fertilización, polinización, control fitosanitario, control de malezas, podas y cosecha (Cenipalma, 2017; Mosquera, Beltrán, *et al.*, 2017).

2.4. Determinación del índice

2.4.1. Fórmula

El índice seleccionado fue el Índice de Laspeyres. Mediante este índice se relacionan las cantidades de determinados bienes, definidas en un período base y los cambios en sus precios, monitoreados en períodos diferentes, según se observa en la Ecuación 1.

(Ecuación 1)

$$\text{Índice de Laspayres} = \sum \frac{P_{c_i} \times Q_{b_i}}{P_{b_i} \times Q_{b_i}} \times 100$$

donde,

$i = 1, 2, 3 \dots n$, donde n es el número de bienes que tiene la canasta; cada número representa un bien.

b = año base

c = año corriente

Q = cantidades

P = precios

Denominador de la ecuación = valor de la canasta en el año base.

Numerador de la ecuación = valor de la canasta en el año corriente, suponiendo que las cantidades no cambian con respecto al año base.

El índice se establece como un promedio ponderado de los precios de los bienes empleados para

Tabla 1. Sistemas predominantes según labor.

Labor	Tecnología predominante
Fertilización	La labor se realiza manualmente, con el apoyo de semovientes para la distribución de fertilizantes en los lotes. Se emplea maquinaria para llevar el fertilizante a los lotes.
Cosecha	Se hace manualmente y se apoya en el uso de semovientes para el transporte de la fruta al interior de los lotes y hacia los puntos de acopio. En menor medida se emplean tractores para facilitar el alce del fruto al interior de los lotes y hacia los puntos de acopio.
Control de malezas	Es un trabajo manual con el apoyo de guadañas/machete. El control manual se alterna con la aplicación de herbicidas. Con menor frecuencia se evidencia el uso de tractores e implementos de corte (cortamaleza).
Podas	La labor es manual y se utilizan herramientas de corte como el palín en palmas bajas y cuchillo malayo en palmas más altas.
Control fitosanitario	El control sanitario se compone de dos aspectos: 1. Monitoreo: la labor es manual y la lleva a cabo personal capacitado. 2. Control y eliminación: se hace manualmente y suele emplear máquinas para la eliminación de palmas o para la aspersión de productos de control.
Polinización	Se realiza en cultivares híbridos OxG y se lleva a cabo de manera manual con la asistencia de herramientas para el retiro de brácteas y para la aspersión de polen o de ácido naftalenacético (ANA).
Riego	El riego no es frecuente en palma de aceite en Colombia. Y en aquellas zonas más expuestas al déficit hídrico (más de cuatro meses al año) predomina el riego por superficie.

producir una tonelada de RFF. El peso relativo del precio de cada bien depende de su participación en la canasta de costos y de su frecuencia de uso.

2.5. Canasta de insumos y servicios

La canasta se construyó a partir de 87 cuestionarios a través de los cuales se indagó por frecuencia de labores, jornales, insumos, herramientas y equipos utilizados. Los cuestionarios fueron diligenciados por personal técnico de empresas de las cuatro zonas palmeras, Norte, Central, Oriental y Suroccidental, durante el período 2017-2021.

2.6. Factores de producción considerados

A partir de las encuestas analizadas se determinaron los bienes y servicios que con mayor frecuencia intervienen en la producción de RFF, según la siguiente clasificación:

- Tierra: costo de oportunidad de la tierra.
- Mano de obra: precio del jornal y número de jornales empleados en las labores operativas y administrativas de los cultivos.
- Capital: insumos (fertilizantes, plaguicidas, reguladores de crecimiento, polen, etc.), combustible (ACPM, gasolina, aceites lubricantes), bienes de capital (máquinas, herramientas y semovientes), servicios (energía eléctrica, agua).

2.7. Determinación de cantidades de bienes

Tanto en cultivos *E. guineensis* como en cultivos híbridos OxG se empleó el mismo método para determinar las cantidades necesarias para mantener una hectárea de palma adulta y corresponde a lo reportado en las encuestas revisadas para cada cultivar.

Mano de obra: se estableció la cantidad de jornales empleados anualmente en cada uno de los procesos de producción del cultivo (cosecha, fertilización, polinización, control de malezas, podas, control fitosanitario y supervisión). Dicha cuantificación se estimó a partir de la eficiencia o rendimiento en cada una de las labores de un trabajador, la conformación de equipos de trabajo y la frecuencia con la que se realizan las labores

anualmente en las plantaciones (Mosquera *et al.*, 2019; Ruiz Álvarez *et al.*, 2022; Ruiz *et al.*, 2020). También se consideró la fuerza laboral empleada en actividades relacionadas con la administración del cultivo, y en planificación y desarrollo de operaciones.

Insumos: los insumos que se incluyeron en la canasta fueron seleccionados de acuerdo con su frecuencia de uso y nivel de participación entre las empresas participantes. Se seleccionaron aquellos reportados por más del 33 % de las plantaciones. Respecto a las cantidades se determinó el promedio de consumo por hectárea (dosis y frecuencias), reportado por las plantaciones participantes.

2.8. Seguimiento a precios

Para cada uno de los rubros definidos en la canasta se identificaron las referencias que permitirán estimar la variación de precios entre los períodos base y actual (2021), acordes a cada tipo de bien (Tabla 2). La variación del precio del rubro asociado podrá ser entonces ponderada, permitiendo así deducir su contribución a la variación del índice de costos, que resulta de la suma aritmética de las contribuciones¹.

En el caso de insumos como fertilizantes se consideraron dos fuentes: los precios recogidos por SIPSA (DANE) en municipios palmeros de Colombia y la segunda fuente correspondió a un sondeo realizado a empresas referentes por su productividad en cada zona palmera, y en las cuales se había realizado la recolección de costos de producción detallada, producto de las encuestas analizadas en este trabajo. La variación fue ponderada de acuerdo con la contribución en términos de cantidad de cada uno de los fertilizantes respecto al total aplicado en una hectárea cultivada.

En el caso de la polinización asistida, la variación de precios se ponderó de acuerdo con la contribución de cada insumo (polen, talco y ANA) dentro del total de cantidad requerida para polinizar una inflorescencia.

De igual manera, para todos los insumos se evitaron distorsiones debidas a precios diferentes para un mismo producto según presentaciones comerciales,

¹ Las contribuciones de los rubros pueden ser positivas y/o negativas, ya que conservan el signo reportado para la variación de su precio con relación al período base.

Tabla 2. Referencias para seguimiento a precios.

Rubro		Fuente
Mano de obra		Variación Salario Mínimo Legal Vigente
Insumos	Herbicidas (control de maleza y erradicaciones)	SIPSA, DANE (DANE, 2021)
	Fertilizantes	SIPSA, DANE (DANE, 2021) Sondeo de precios con plantaciones de las zonas palmeras referentes por productividad
	Insecticidas, fungicidas, bactericidas (control fitosanitario)	Índice de precios al productor Índice de precios para insecticidas, fungicidas y bactericidas – DANE (Hoja 4.1)
	Insumos para la polinización (ANA, polen, talco)	ANA y Talco (Tecnopalma – Colinagro)
Bienes de capital	Herramientas y máquinas	Índice de precios al productor Índice de precios para maquinaria y herramienta – DANE (Hoja 1.1)
	Animales (costo fijo)	Índice de precios al productor Índice de precios para animales vivos – DANE (Hoja 1.1)
	Animales (costo de mantenimiento)	Índice de precios al productor Índice de precios para insumos veterinarios – DANE
	Transporte de RFF (costo fijo)	Índice costos fijos transporte de carga por carretera (ICTC) Ministerio de Transporte Capítulo costos fijos (DANE, 2021)
Servicios y mantenimiento	Agua	Tasas de Uso de Agua de Corporaciones Autónomas Regionales (Variación anual IPC)
	Energía	Precios ACPM históricos – Ministerio de Minas y Energía
	Transporte	Índice costos fijos transporte de carga por carretera (ICTC) Capítulo: Mantenimiento y reparación
Combustible		Precios ACPM históricos – Ministerio de -Minas y Energía
Tierra		Variación anual IPC

y se tomó el precio por unidad (precio por centímetro cúbico, por kilogramo o por dosis).

Finalmente, los índices actualizados con el DANE se calcularon al observar la variación entre diciembre de 2021 y diciembre de 2022 (DANE, 2022).

3. Resultados

3.1. Insumos

En la Tabla 3 se refieren los insumos que son empleados para la producción de cultivares *E. guineensis* y

en la Tabla 4, para los cultivares híbridos OxG. Se reportan los ingredientes activos.

Para la demanda por combustible se utilizó el valor reportado por Ramírez-Contreras y colaboradores, de acuerdo con el cual se requieren 4,9 l de ACPM para la producción de una tonelada de RFF (Ramírez-Contreras *et al.*, 2020).

3.2. Herramientas

Se seleccionaron las de uso más frecuente para cada uno de los procesos productivos; es decir, aquellas reporta-

Tabla 3. Insumos considerados en la canasta de bienes *E. guineensis* por proceso productivo.

Fertilización	Control fitosanitario (plagas)	Control fitosanitario (enfermedades)	Control de malezas
Boro 15 % ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Diflubenzurom + Lambda Cyhalothrim	Quelato de zinc	Glifosato
Urea (46 – 0 – 0)	Flubendiamide SC 480	Metalaxil + Mancozeb	Imazapic + Imazapir
Cloruro de potasio (KCL) (0 – 0 – 60)	Clorpirifos	Kasugamicina	
Fertilizantes compuestos (13- 5 – 5 – 27 – 5 – 05) (13 – 6 – 26 – 6)	Cipermetrina	Mancozeb	
Sulfato de magnesio (25% de MgO)	Fipronil	Fosetil aluminio	
Otras fuentes de nitrógeno (28 – 4 – 0 – 6) Sulfato de amonio (SAM)	<i>Beauveria bassiana</i>	Azoxistrobina	
Otras fuentes de fósforo Fosfato diamónico (DAP) Fosfato monoamónico (MAP)	<i>Bacillus thuringensis</i>	Carbendazim	
		Trichoderma	
		M.S.M.A	

Tabla 4. Insumos considerados en la canasta de bienes del híbrido OxG.

Fertilización	Control fitosanitario (principalmente plagas)	Control de malezas	Polinización asistida
Boro 15 % ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Diflubenzurom + Lambda Cyhalothrim	Glifosato	Ácido naftalenácetico (ANA)
Urea (46 – 0 – 0)	Flubendiamide SC 480	M.S.M.A	Polen
Cloruro de potasio (KCL) (0 – 0 – 60)	Clorpirifos	Imazapic + Imazapir	Talco
Fertilizantes compuestos (13- 5 – 5 – 27 – 5 – 05) (13 – 6 – 26 – 6)	Cipermetrina		
Sulfato de magnesio (25% de MgO)	Fipronil		
Otras fuentes de nitrógeno (28 – 4 – 0 – 6) Sulfato de amonio (SAM)	Dipel (<i>Bacillus thuringensis</i>)		
Otras fuentes de fósforo Fosfato diamónico (DAP) Fosfato monoamónico (MAP)	<i>Beauveria bassiana</i>		

das por dos de cada tres empresas (Tabla 5). Se consideraron los precios comerciales de estas herramientas y la cantidad requerida se calculó para una hectárea en el lapso de un año, según reporte de plantaciones.

3.3. Bienes de capital

El conjunto de equipos, máquinas y semovientes más frecuentemente empleados en los diferentes procesos de producción (Tabla 6). El uso de maquinaria se llevó a hectárea por año considerando vida útil, costos de mantenimiento y de reparación. Adicionalmente se tuvo en cuenta el porcentaje de uso para cada proceso de producción y el precio comercial de las máquinas en el año 2020.

Servicios: se asocian fundamentalmente a los sistemas de riego por aspersión y por superficie disponibles hoy en día para cultivos de palma de aceite (Álvarez *et al.*, 2018). Específicamente, se consideraron los consumos de agua y energía. Adicionalmente, incluye el costo de flete y transporte de los insumos desde su lugar de compra hasta los lotes.

3.4. Participación del costo de cada labor en el costo de producción de 1 t RFF

En la Tabla 7 se observa la participación del costo de cada labor en el costo de producción de una tonelada de RFF en cultivos adultos de palma. En 2020 se estimó que el costo de producción de una tonelada

Tabla 5. Herramientas empleadas en la producción de cultivares *E. guineensis* e híbrido OxG.

Proceso productivo	Herramienta
Cosecha (corte y alce de racimos)	Palín, cuchillo malayo, lima, machete, carromato, cajas transportadoras
Control de malezas	Machete, lima
Podas	Palín, cuchillo malayo
Control fitosanitario	Tanques de agua, lima
Polinización	Equipo de polinización

Tabla 6. Máquinas y semovientes empleadas por empresas palmeras.

Proceso productivo	Máquinas
Fertilización	Tractores ≥ 60 a 80 HP Búfalos Zorrillos de volteo lateral
Cosecha (corte y alce de racimos)	Tractores entre 60 y 90 HP Búfalos
Control de malezas	Tractores entre 60 y 80 HP Cortamalezas Rotospeed Guadañas Bombas de espalda
Control fitosanitario	Tractores entre 50 y 75 HP Motosierra Pulverizador de cañón Bomba de espalda a motor Semiestacionaria Avioneta
Transporte de fruta	Camiones con capacidad de carga de al menos 15 toneladas

Tabla 7. Participación de las labores en el costo por tonelada de fruto *E. guineensis* e híbrido OxG.

Labor	Cultivar			
	<i>E. guineensis</i>	\$/t RFF	OxG	\$/t RFF
Fertilización	30,7 %	77.903	23,2 %	59.812
Control de malezas	3,1 %	7.869	3,9 %	10.140
Podas	1,6 %	4.142	1,5 %	3.843
Control fitosanitario	4 %	10.200	2,5 %	6.474
Polinización	-	-	19,8 %	51.011
Operación sistemas de riego	9 %	22.921	2,2 %	5.702
Cosecha	18,4 %	46.542	19,7 %	50.669
Transporte de RFF	7,2 %	18.362	6,3 %	16.198
Costo de oportunidad de la tierra	11,1 %	28.075	9,5 %	24.488
Planeación y seguimiento de actividades	6,9 %	17.347	7,8 %	20.142
Asistencia técnica	2,1 %	5.237	1,9 %	4.897
Mantenimiento de infraestructura	3,6 %	9.183	0,6 %	1.459
Labores poco frecuentes	2,3 %	5.605	1,1 %	2.880
Total	100 %	253.386	100 %	257.715

de RFF en cultivos adultos de *E. guineensis* fue de \$ 253.386 y para cultivares híbridos OxG, \$ 257.715.

3.5. Participación de factores de producción en el costo de cada labor

Para cada labor se determinó la participación de cada uno de los factores considerados en el costo total (mano de obra, insumos, bienes de capital, servicios y mantenimiento, combustible). En la Tabla 8 y Tabla 9 se presentan dichas participaciones para cultivares *E. guineensis* y cultivares híbridos OxG, respectivamente.

3.6. Coeficientes técnicos

Los coeficientes técnicos para *E. guineensis* (Tabla 10) e híbridos OxG (Tabla 11) se mantendrán constantes hasta que se vuelva a realizar una nueva actualización de la canasta; es decir, ellos representarán el período base con el cual se compararán los períodos futuros.

3.7. ICPA a diciembre 2021, comparación con período base

La Tabla 12 señala el cambio en la contribución en el uso de bienes y servicios necesarios para producir una tonelada de RFF en el año 2021 respecto al año 2020 para cultivares *E. guineensis*; la misma información se presenta en la Tabla 13 para cultivares híbridos OxG. Esta contribución cambió específicamente por el incremento en el precio de insumos, como los fertilizantes.

4. Conclusiones

El índice de costos para la palma de aceite permitirá determinar de manera oportuna el impacto de los cambios en los precios de insumos y servicios necesarios para producir racimos de fruta fresca de palma de aceite (RFF), sobre su costo de producción. Para ello será necesario monitorear las variaciones de precios en la canasta definida con base en las referencias del DANE presentadas en este documento.

Tabla 8. Participación de cada uno de los ítems por labor para cultivos *E. guineensis*.

Labor	Mano de obra (%)	Insumos (%)	Bienes de capital (%)	Servicios y mantenimiento (%)	Combustible (%)	Total (%)
Fertilización	7 %	88 %	4 %	0 %	1 %	100 %
Control de malezas	74 %	25 %	1,0 %	0 %	0 %	100 %
Podas	89,5 %	0,5 %	10 %	0 %	0 %	100 %
Control fitosanitario	72 %	23 %	5 %	0 %	0 %	100 %
Operación sistemas de riego	13,5 %	0 %	0 %	67,5 %	19 %	100 %
Mantenimiento de vías y drenajes	54 %	0 %	20 %	0 %	26 %	100 %
Cosecha	87 %	0 %	12 %	0 %	1 %	100 %
Transporte de RFF	7 %	0 %	9 %	45 %	39 %	100 %
Planeación y seguimiento de actividades	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %
Asistencia técnica	90 %	0 %	0 %	10 %	0 %	100 %
Otras labores	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %	100 %

Tabla 9. Participación de cada uno de los ítems por labor para cultivos OxG.

Labor	Mano de obra (%)	Insumos (%)	Bienes de capital (%)	Servicios y mantenimiento (%)	Combustible (%)	Total (%)
Fertilización	7 %	88 %	4 %	0 %	1 %	100 %
Control de malezas	74 %	25 %	1 %	0 %	0 %	100 %
Podas	89,5 %	0,5 %	10 %	0 %	0 %	100 %
Control fitosanitario	72 %	23 %	5 %	0 %	0 %	100 %
Operación sistemas de riego	13,5 %	0 %	0 %	67,5 %	19 %	100 %
Polinización	67 %	28 %	5 %	0 %	0 %	100 %
Mantenimiento de vías y drenajes	54 %	0 %	20 %	0 %	26 %	100 %
Cosecha	87 %	0 %	12 %	0 %	1 %	100 %
Transporte de RFF	7 %	0 %	9 %	45 %	39 %	100 %
Planeación y seguimiento de actividades	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %
Asistencia técnica	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %
Otras labores	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %	100 %

Tabla 10. Coeficientes técnicos en los cultivos *E. guineensis*.

Proceso productivo	Mano de obra (%)	Insumos (%)	Bienes de capital (%)	Servicios y mantenimiento (%)	Combustible (%)	Tierra (%)	Total (%)
Fertilización	2,15 %	27,07 %	1,23 %	0 %	0,31 %		30,74 %
Control de malezas	2,3 %	0,78 %	0,03 %	0 %	0 %		3,11 %
Podas	1,46 %	0,01 %	0,17 %	0 %	0 %		1,63 %
Control fitosanitario	2,90 %	0,92 %	0,2 %	0 %	0 %		4,02 %
Operación sistemas de riego	1,22 %	0 %	0 %	6,11 %	1,72 %		9,05 %
Mantenimiento de vías y drenajes	1,95 %	0 %	0,73 %	0 %	0,94 %		3,62 %
Cosecha	15,98 %	0 %	2,21 %	0 %	0,18 %		18,37 %
Transporte de RFF	0,51 %	0 %	0,65 %	3,26 %	2,83 %		7,25 %
Planeación y seguimiento de actividades	6,85 %	0 %	0 %	0 %	0 %		6,85 %
Asistencia técnica	1,86 %	0 %	0 %	0,21 %	0 %		2,07 %
Otras labores	0 %	1,65 %	0,45 %	0,10 %	0 %		2,21 %
Tierra	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	11,08 %	11,08 %
Total	37,18 %	30,41 %	5,66 %	9,69 %	5,98 %	11,08 %	100,0 %

Tabla 11. Coeficientes técnicos en los cultivos híbridos OXG.

Proceso productivo	Mano de obra (%)	Insumos (%)	Bienes de capital (%)	Servicios y mantenimiento (%)	Combustible (%)	Tierra (%)	Total %
Fertilización	1,62 %	20,42 %	0,93 %	0 %	0,20 %		23,21 %
Control de malezas	2,91 %	0,98 %	0,04 %	0 %	0 %		3,93 %
Podas	1,33 %	0,01 %	0,15 %	0 %	0 %		1,49 %
Control fitosanitario	1,81 %	0,58 %	0,13 %	0 %	0 %		2,71 %
Operación sistemas de riego	0,30 %	0 %	0 %	1,50 %	0,42 %		2,21 %
Mantenimiento de vías y drenajes	0,31 %	0 %	0,11 %	0 %	0,15 %		0,57 %
Polinización	13,26 %	5,54 %	0,99 %	0 %	0 %		19,79 %
Cosecha	17,10 %	0 %	2,36 %	0 %	0,20 %		19,66 %
Transporte de RFF	0,44 %	0 %	0,57 %	2,83 %	2,45 %		6,29 %
Planeación y seguimiento de actividades	7,82 %	0 %	0 %	0 %	0 %		7,82 %
Asistencia técnica	1,90 %	0 %	0 %	0 %	0 %		1,90 %
Otras labores	0 %	0,26 %	0,70 %	0,17 %	0 %		1,12 %
Tierra	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	9,50 %	9,50 %
Total (%)	48,80 %	27,79 %	5,97 %	4,49 %	3,45 %	9,50 %	100 %

Tabla 12. Participación de las labores en el costo por tonelada de fruto *E. guineensis* en 2020 y cambio a 2021.

	Participación 2020	Variación precios (2020/2021)	Participación 2021
Mano de obra	37,2 %	3,50 %	33 %
Insumos			
Fertilizantes	27,1 %	48 %	35 %
Plaguicidas	0,92 %	6 %	1 %
Herbicidas	0,78 %	14 %	1 %
Otras labores	1,66 %	1 %	1 %
Bienes de capital	5,64 %	1 %	5 %
Servicios			
Agua	6,1 %	6 %	6 %
Energía	0,3 %	7 %	0 %
Transporte	3,3 %	5 %	3 %
Combustible	5,90 %	7 %	5 %
Tierra	11,1 %	5,60 %	10 %
Total	100 %		100 %

Tabla 13. Participación de las labores en el costo por tonelada de fruto híbrido OxG en 2020 y cambio a 2021.

	Participación 2020	Variación precios (2020/2021)	Participación 2021
Mano de obra	48,8 %	3,50 %	47 %
Insumos			
Fertilizantes	20,40 %	48 %	28 %
Plaguicidas	0,60 %	6 %	1 %
Herbicidas	1,00 %	14 %	1 %
Polen, talco, ANA	5,50 %		0 %
Otras labores	0,30 %	1 %	0 %
Bienes de capital	6,00 %	1 %	6 %
Servicios			
Agua	1,50 %	6 %	2 %
Energía	0,20 %	7 %	0 %
Transporte	2,80 %	5 %	3 %
Combustible	3,4 %	7 %	3 %
Tierra	9,50 %	5,60 %	9 %
Total	100 %		100 %

El ICPA contribuye a la oportunidad en la disponibilidad de información para la toma de decisiones de las empresas de la agroindustria de la palma de aceite, e incluso permitirá tener mayor precisión en la generación de sus presupuestos de producción correspondientes a vigencias futuras. Igualmente, a los actores involucrados en la cade-

na de la palma de aceite les permitirá entender la dinámica de los costos de la materia prima.

Finalmente, los hacedores de política pública contarán con una herramienta que permite entender el efecto de sus decisiones sobre la competitividad del sector de la palma de aceite.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, O., Ruiz, E., Mosquera, M., & Silva, J. (2018). Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia. *Palmas*, 38(4), 69–85. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12401/12312>
- Cenipalma y Fedepalma (2017). Costos de producción para el cultivo de la palma de aceite en Colombia en Fedepalma y Cenipalma (Eds.), *Mejores prácticas agroindustriales del cultivo de la palma de aceite en Colombia*, 427–435.
- DANE. (2021). *Índice costos fijos de transporte de carga por carretera (ICTC)*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ictc/bol_ICTC_2021_mayo.pdf
- DANE. (2021). *Estadísticas por tema*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>
- DANE. (2022). *Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA). Componente Insumos*. Información Histórica de Precios Mensuales. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/componente-insumos-1/componente-insumos-historicos>
- Fedepalma & Cenipalma. (2017). *Mejores Prácticas Agroindustriales del cultivo de palma de aceite en Colombia*. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107723>
- Fedepalma. (2019). *Seguimiento a los costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma 2019: para 29 empresas de más de 500 hectáreas*. Fedepalma, Cenipalma.
- Fedepalma. (2022). *Seguimiento a los costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma 2020: para 27 empresas con mas de 500 hectáreas*. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/141467>
- Fedepalma. (2022). *Seguimiento a los costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma 2021 según índice de costos para el cultivo de la palma de aceite ICPA*. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/141573>
- Guterman, L. (2008). Actualización de los costos de producción del aceite de palma en 2006. *Palmas*, 29(2), 71–80. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1343>

- Guterman, L. (2014). Costos de producción e indicadores de productividad laboral en la agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2011 - 2012. *Palmas*, 35(3), 23–40. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10984>
- Mosquera, M., Beltrán, J., Arias, N., García, J., & Hinestroza, A. (2017). Mejores prácticas agroindustriales para una palmicultura más productiva. *Revista Palmas*, 38(3), 166–170. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12232>
- Mosquera-Montoya, M., López-Alfonso, D., Ruiz-Álvarez, E., Valderrama-Villanobona, M., & Castro-Zamudio, L. E. (2019). Mano de obra en cultivos de palma aceitera de Colombia: participación en el costo de producción y demanda. *Palmas*, 40(1), 46–53. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12791>
- Mosquera-Montoya, M., Ruiz, E., Castro, L., López, D., & Munévar, D. (2019). Estimación del costo de producción, en el periodo 2017-2018, para productores de palma de aceite de Colombia que han adoptado buenas prácticas agrícolas. *Palmas*, 40(3), 20–34. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12865>
- Mosquera Montoya, M., Ruiz Á., E., Munévar M., D., Castro Z., L., Díaz F., L., & López A., D. (2021). Costos de producción 2019 para la palmicultura colombiana. Estudio de referenciación competitiva entre empresas que han adoptado mejores prácticas. *Palmas (Colombia)*, 41(4), 43–54. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13349>
- Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar-Martínez, D. E., Estupiñán, M., Guerrero, Á. E., & Cala, S. (2022). Estudio de costos de producción 2021 para empresas *benchmark* 2021 Production Costs Study on Benchmark Companies from the. *Palmas*, 43(4), 26–39. <https://doi.org/10.56866/01212923.13911>
- Mosquera Montoya, M., Valderrama Villabona, M., Fontanilla Díaz, C., Ruiz Álvarez, E., Uñate Suárez, M., Rincón Vargas, F., & Arias Arias, N. (2016). Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014. *Palmas*, 37(2), 37–53. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11737>
- Mosquera Montoya, M., Valderrama Villabona, M., Ruiz Álvarez, E., López Alfonso, D., Castro Zamudio, L. E., Fontanilla Díaz, C. A., & Gonzáles Arenas, M. A. (2017). Costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma en 2015: estimación de un grupo de productores colombianos. *Palmas*, 38(2), 10–26. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12122>
- Mosquera-Montoya, M., Valderrama Villabona, M., Ruiz Álvarez, E., López Alfonso, D., Castro Zamudio, L., & Gonzáles Arenas, M. A. (2018). Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos. *Palmas*, 39(2), 13–26. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12596>
- Ramirez-Contreras, N. E., Munar-Florez, D. A., Garcia-Nuñez, J. A., Mosquera-Montoya, M., & Faaij, A. P. C. (2020). The GHG emissions and economic performance of the Colombian palm oil sector; current status and long-term perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120757. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>
- Ruiz Álvarez, E., Mosquera-Montoya, M., Munevar, D. E., Vargas, L. E., Vélez Zape, J. C., & Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite. (2022). Productividad laboral en plantaciones de palma de aceite en Colombia. *Boletines Técnicos*, (43). <https://doi.org/10.56866/9789588360966>

Niveles de madurez tecnológica: una oportunidad para categorizar los productos de Cenipalma

Technology readiness levels (TRL): an opportunity to categorize Cenipalma products

CITACIÓN: Rivera, Y. D., & Romero, H. M. (2023). Niveles de madurez tecnológica: una oportunidad para categorizar los productos de Cenipalma. *Palmas*, 44(3), 70-83.

PALABRAS CLAVE: ciencia, desarrollo tecnológico, disponibilidad, innovación, investigación, tecnología.

KEYWORDS: availability, innovation, research, science, technological development, technology.

YURANY DAYANNA RIVERA MÉNDEZ
Investigadora Asociada
Dirección de Investigación, Cenipalma

HERNÁN MAURICIO ROMERO
Dirección de Investigación, Cenipalma
Departamento de Biología, Universidad
Nacional de Colombia
Autor para correspondencia:
hromero@cenipalma.org

Resumen

Cenipalma despliega actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación que se enmarcan en la gestión de proyectos de ciencia, tecnología e innovación. Con el fin de garantizar la pertinencia, calidad y factibilidad de estos proyectos, se estableció el marco conceptual para identificar el alcance con base en el Nivel de Madurez Tecnológica o

TRL (por sus siglas en inglés de *Technology Readiness Level*) de los productos esperados para las próximas vigencias. Hay nueve niveles de madurez tecnológica, que se extienden desde los principios básicos de la tecnología o TRL 1 (nivel más bajo: mínima disponibilidad) hasta llegar con éxito a un entorno real o TRL 9 (nivel más alto: máxima disponibilidad). Por lo tanto, si se considera una tecnología concreta y se tiene información del TRL o nivel en el que se encuentra, se podrá reconocer su nivel de disponibilidad. Mediante la ejemplificación del desarrollo e implementación de la tecnología de Polinización artificial, se diseñó una guía para determinar el TRL de un proyecto con base en la definición de los parámetros característicos de cada nivel y su oportunidad de disponibilidad (*readiness*). De esta manera, la identificación del TRL en los proyectos de Cenipalma es una oportunidad para: aprobar la realización de un nuevo proyecto antes de su inicio o definir el plan de inversión de una segunda fase, decidir sobre la pertinencia de llevar una tecnología a un nivel más avanzado de desarrollo, contar con una evaluación prospectiva de la(s) tecnología(s) que conlleve a afinar los resultados esperados de un proyecto e incrementar las oportunidades de financiación por parte de entidades externas.

Abstract

Cenipalma conducts scientific research, technological development, and innovation activities as part of its management of science, technology, and innovation projects. To ensure the clarity, quality, and feasibility of these projects, we have established a conceptual framework to define the scope based on the expected Technology Readiness Level (TRL) of the products for upcoming periods. There are nine levels of technological readiness, ranging from the basic principles of the technology (TRL 1, the lowest level with minimum readiness) to successful testing in a real environment (TRL 9, the highest level with maximum readiness). Therefore, if a specific technology is considered, and its TRL level is known, its readiness level can be determined. Through the example of developing and implementing artificial pollination technology, a guide was designed to determine the TRL of a technology based on defining its characteristic parameters of each level and readiness. Thus, the identification of the TRL in Cenipalma projects is an opportunity to: approve the implementation of a new project before its start or define the investment plan for a second phase, decide on the relevance of bringing a technology to a more advanced level of development, have a prospective evaluation of the technology(s) that leads to fine-tuning the expected results of a project and increasing financing opportunities from external entities.

1. Introducción

Cenipalma despliega actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i), que son sistemáticas e inician con el entendimiento y búsqueda de aplicación de los fenómenos y hechos observables, y terminan con la introducción e implementación de soluciones a problemas o aprovechamiento de oportunidades del sector palmero colombiano, para que sea más competitivo y sostenible. Para ello, la Dirección de Investigación organiza, planea, promueve, evalúa y hace seguimiento y con-

trol a la investigación en torno a la agroindustria de la palma de aceite, y, además, posibilita la apropiación del conocimiento y su materialización en productos (bienes y/o servicios) y procesos por parte del sector palmero, en articulación con la Dirección de Extensión y la Gerencia de Innovación y Desarrollo de productos. De esta manera, las actividades de I+D+i que adelanta Cenipalma cumplen las condiciones que establece el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) (2021) para el cierre de brechas, la sostenibilidad y la productividad del sector productivo en colaboración con la academia y el Gobierno:

1.1. Investigación científica

Comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática, para incrementar el volumen de conocimientos o generar nuevo conocimiento y, de esta manera, adquirir un profundo entendimiento de los fenómenos objeto de estudio y de las posibles aplicaciones que podrán realizarse a futuro. La investigación científica engloba tres modalidades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental, siendo estas dos últimas las que adelanta Cenipalma:

- Investigación básica: consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.
- Investigación aplicada: también está relacionada con trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico. Se emprende para determinar los posibles usos de los resultados de la investigación básica o nuevos métodos o formas de alcanzar objetivos específicos predeterminados. Ejemplo: identificación del poder biocida de aislamientos de *Trichoderma* sp. mediante evaluación *in vitro* e *in vivo*.
- Desarrollo experimental: se trata de trabajos sistemáticos fundamentados en los conocimientos existentes obtenidos por la investigación o la experiencia práctica, con el fin de fabricar nuevos materiales, productos o dispositivos, establecer nuevos procedimientos, sistemas o servicios o mejorar considerablemente los que ya existen. Ejemplo: análisis del comportamiento del aceite de palma en el desarrollo de biopavimentos.

1.2. Desarrollo tecnológico

Consiste en la aplicación de los resultados de la investigación, dirigida a la fabricación de nuevos materiales o productos; el diseño de nuevos procesos, sistemas de producción o prestación de servicios, y el mejoramiento tecnológico sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes.

Esta actividad incluye la materialización de los resultados de la investigación en un plano, esquema o diseño, prototipos no comercializables, proyectos de demostración inicial, modelos de validación o proyectos piloto, siempre que los mismos no se conviertan o utilicen en aplicaciones industriales o para su explotación comercial. Se considera como la primera fase de la innovación y se diferencia de los proyectos de desarrollo experimental en que, en este tipo de investigaciones, existe una solución teórica a un problema, pero todavía no reúne las condiciones necesarias para el desarrollo de un prototipo comercial. Ejemplo: diseño de una planta piloto para el procesamiento de racimo del híbrido OxG.

1.3. Innovación

Comprende la introducción de un producto (bien o servicio) o proceso nuevo o significativamente mejorado, o la creación de un nuevo método de comercialización o de organización aplicado a prácticas de negocio, organización del trabajo o relaciones externas organizativas. Su principal objetivo es introducir un producto en el mercado o implementar un nuevo proceso a escala industrial o un método organizativo en todas las áreas involucradas.

- Innovación en producto (bien o servicio): busca la introducción para un sector, una región o un país de productos nuevos o significativamente mejorados; es decir, que se modifican algunas características de manera tal que tengan mejor desempeño respecto a sus propiedades o a sus posibles usos. Ejemplo: introducción al mercado del Polinizador Artificial con ácido naftalenacético (ANA).
- Innovación de proceso: se orienta a la introducción de nuevos procesos, para la producción o distribución de un producto o prestación de un servicio nuevo o significativamente mejorado, para optimizar el desempeño de procesos en términos de reducción de costos e incremento de la capacidad (se enfoca en el mejoramiento de la forma como se realiza un producto). Ejemplo: implementación de una tecnología para medir el potencial industrial de aceite.
- Innovación organizacional: está dirigida a la creación y aplicación de nuevos modelos organi-

zacionales de una empresa y está enfocada principalmente en las personas y/o organización del trabajo. Ejemplo: sistema de gestión de proyectos de Cenipalma.

Estas actividades se enmarcan en la iniciación, planificación, ejecución y cierre de proyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI), los cuales, para Cenipalma, son financiados por el Fondo de Fomento Palmero o con recursos de inversión del Gobierno nacional, entidades territoriales, el Sistema General de Regalías y otras fuentes públicas o privadas. Estos proyectos son esfuerzos temporales (con un inicio y un fin), que se llevan a cabo para crear un producto (bien, servicio o resultado) único y verificable de CTeI para el palmicultor, que responden a la oferta tecnológica que se definió en el direccionamiento estratégico de las Líneas de Investigación y Extensión.

Por ello, con el objetivo de garantizar la pertinencia, calidad y factibilidad de los proyectos de CTeI liderados desde la Dirección de Investigación y la Dirección de Extensión de Cenipalma, se buscó identificar el alcance de sus actividades de I+D+i, con base en el nivel de madurez tecnológica de los productos (entregables) esperados para las próximas vigencias. La identificación se realizó en términos del Nivel de Madurez Tecnológica o TRL (por sus siglas en inglés de *Technology Readiness Level*), concepto que concibe la tecnología como la suma de técnicas, habilidades, métodos y procesos que son utilizados en la producción de bienes y/o servicios (Fierro *et al.*, 2021; [1]).

Los TRL son un sistema de medición creado por la NASA a mediados de la década de los años 70, para evaluar el nivel de madurez de una tecnología en particular. Posteriormente, su uso se generalizó para cualquier proyecto desde su idea original hasta su despliegue (no necesariamente para proyectos aeronáuticos o espaciales). Cada tecnología se evalúa según los parámetros de cada nivel y luego se le asigna una calificación TRL, basada en su disponibilidad (*readiness*) (Minciencias, 2018). Hay nueve niveles de madurez tecnológica, que van desde los principios básicos de la tecnología o TRL 1 (nivel más bajo: mínima disponibilidad) hasta llegar con éxito a un entorno real o TRL 9 (nivel más alto: máxima disponibilidad). Por lo tanto, si se considera una tecnología concreta y se tiene información del TRL o nivel en

el que se encuentra, se podrá reconocer su nivel de disponibilidad (Minciencias, 2017).

De acuerdo con Minciencias (2017, 2018; [1]), cuando una tecnología está en TRL 1, comienza la investigación científica y sus resultados se traducen en investigación y desarrollo futuros. TRL 2 ocurre una vez que se han estudiado los principios básicos y se pueden proponer aplicaciones prácticas a hallazgos obtenidos inicialmente; sin embargo, la tecnología en este nivel es muy especulativa, ya que hay poca o ninguna prueba experimental de concepto. En el TRL 3 comienza la investigación y el diseño activo de una tecnología, para lo cual, generalmente, se requieren estudios tanto analíticos como de laboratorio para ver si una tecnología es viable y está lista para continuar con el proceso de desarrollo; se construye entonces un modelo de prueba de concepto. En TRL 4 se pueden llevar a cabo fácilmente modificaciones en los componentes de la tecnología. En TRL 5 continúan las pruebas con varios componentes y la tecnología se somete a ensayos más rigurosos y a simulaciones en entornos que sean lo más realistas posibles. En TRL 6 se tiene un prototipo o modelo representacional completamente funcional en un entorno relevante; es decir, cuyas condiciones se aproximan o simulan suficientemente a las existentes en un entorno real (o de misión). En TRL 7 se requiere que el modelo o prototipo funcional se demuestre en un entorno real. La tecnología TRL 8 ha sido probada y “calificada para vuelo”; esto significa que está lista para su implementación en un sistema tecnológico ya existente. Una vez que una tecnología ha sido implementada con éxito, se puede denominar TRL 9 (Tabla 1).

La aplicación práctica de los TRL se relaciona con: (i) la comprensión común del estado de madurez o disponibilidad de una tecnología, que permita gestionar con mayor precisión el alcance y el riesgo de un determinado proyecto; (ii) la priorización de proyectos en función de los diferentes niveles de madurez tecnológica que se pretenda considerar; (iii) el reconocimiento del punto de partida (TRL inicial) y de llegada (TRL final) de un nuevo proyecto para financiar:

- Si lo que se quiere es conllevar el ciclo de vida completo de la tecnología que se pretende desarrollar, se debe partir desde el TRL 1 con una primera idea novedosa hasta llegar a la prueba de concepto en el TRL 3. Posteriormente se abor-

daría el desarrollo tecnológico (TRL 4 - TRL 7) hasta su validación y, finalmente, su puesta en el mercado y despliegue (TRL 8 - TRL 9).

- Cuando el proyecto parte del nivel de prueba de concepto (TRL 3), al final se podría disponer de un producto comercial (TRL 8 - TRL 9) luego de llevar a cabo actividades de desarrollo, pruebas e industrialización, entre otros, antes de acceder al mercado.
- Si los esfuerzos se centran en el desarrollo tecnológico, habría que comenzar con una tecnología validada a nivel de prueba de concepto (TRL 3) y centrarse en los niveles TRL 4 - TRL 7, con un desarrollo tecnológico más cercano al mercado según se aproxima al nivel TRL 8.
- Finalmente, los proyectos de innovación que exigen la introducción del producto nuevo o mejorado en el mercado se deben abordar en los mayores niveles (TRL 8 - TRL 9).

Por otro lado, las actividades de divulgación científica, formación de recurso humano, servicios tecnológicos, asesoría y consultoría, y apropiación social del conocimiento son complementarias a las labores de I+D+i realizadas en el proyecto, aunque pueden tener mayor énfasis en algunos niveles de madurez tecnológica, y eso corresponde a mayor intensidad de color de la actividad en los TRL respectivos (Figura 1).

El sistema del TRL está presente en las actividades de I+D+i de Cenipalma y constituye una gran oportunidad para precisar la oferta tecnológica que se define a través de los entregables de los proyectos de Investigación y Extensión. Prueba de ello se ejemplifica con el desarrollo e implementación de la tecnología de Polinización artificial, que implicó varios proyectos de CTeI liderados por los programas de Biología y Mejoramiento, Validación y la Gerencia de Innovación y Desarrollo (Tabla 2).

Tabla 1. Correspondencia y características de cada TRL. Adaptado de Bedoya y Gómez (2021), Ibáñez (2021) y Minciencias (2017, 2018; [1]).

	TRL	Parámetros esperados al final del nivel. Si no se cumplen, se encuentra en un nivel inferior de TRL	Producto de CTeI
1 Principios básicos observados y reportados	• La investigación científica básica se ha completado y comienza la transición a la investigación aplicada. • Los principios básicos de la idea han sido cualitativamente postulados, observados y reportados. • Las herramientas descriptivas pueden ser formulaciones matemáticas o algoritmos. • No existe todavía ningún grado de aplicación comercial.	• La investigación científica inicial ha culminado: ¿los principios fundamentales de la idea han podido ser postulados y observados? • ¿Se cuenta con alguna publicación sobre los principios básicos de la investigación? • Posible resultado: publicación revisada por pares sobre los principios del concepto o aplicación tecnológica propuesta.	• Artículo de investigación A1, A2, B y C; D. • Notas científicas: publicadas en revistas indexadas e índices bibliográficos.
2 Concepto y/o aplicación tecnológica formulada	• La teoría y principios científicos se enfocan en formular eventuales usos o aplicaciones para definir el concepto (investigación aplicada). Se han desarrollado herramientas analíticas para la simulación o análisis de la aplicación; sin embargo, puede no haber pruebas o análisis que confirmen o validen las suposiciones de aplicación. • La evidencia se basa en publicaciones que describen una aplicación y proveen un análisis para confirmar el concepto.	• ¿Se han identificado eventuales usos o aplicaciones prácticas de la tecnología; es decir, se ha iniciado la investigación aplicada? • ¿Se cuenta con evidencia documental sobre la viabilidad de la aplicación y como fuente para confirmar el concepto? • ¿Ha sido identificada alguna solución de diseño empírica o teórica? • ¿Se han identificado potenciales <i>stakeholders</i> e impactos relevantes?	• Libros resultado de investigación. • Capítulos en libro, como resultado de investigación.

	TRL	Parámetros esperados al final del nivel. Si no se cumplen, se encuentra en un nivel inferior de TRL	Producto de CTel
2 Concepto y/o aplicación tecnológica formulada	- Se llevan a cabo pequeños estudios o experimentos que proporcionan información para las posteriores pruebas de concepto de la tecnología. - Se formula el plan de desarrollo y puesta en práctica de la tecnología y se identifican potenciales impactos y <i>stakeholders</i> relevantes. - El tema de propiedad intelectual cobra interés sobre ventajas competitivas en el mercado y el derecho de explotación y/o no infracción por uso de la tecnología.	¿Se han desarrollado estudios analíticos o pequeños experimentos para confirmar los principios básicos de la tecnología? ¿Han sido formulados el concepto de la tecnología, su aplicación y puesta en práctica? Posible resultado: publicación o referencia documental revisada por pares que describa las aplicaciones de la nueva tecnología.	- Artículo de investigación A1, A2, B y C; D. - Notas científicas: publicadas en revistas indexadas e índices bibliográficos. - Libros resultado de investigación. - Capítulos en libro, como resultado de investigación.
3 Prueba de concepto experimental	- Incluye la realización de pruebas analíticas, pruebas de concepto o a escala bajo condiciones controladas (en laboratorio), para medir parámetros, validar físicamente las predicciones (modelado y simulación) y demostrar la factibilidad técnica de los conceptos tecnológicos (I+D). - Los componentes de la tecnología han sido validados a escala de laboratorio, aunque esto no derive en la integración de todos los elementos en un sistema completo. - El trabajo ha evolucionado de un artículo científico a desarrollo experimental que verifica que el concepto funciona según lo esperado. - Se ha identificado el potencial de los materiales y cuestiones de escalamiento. - Inicia la validación del posible producto y/o mercado con <i>stakeholders</i> relevantes.	¿Han sido identificados los componentes de la tecnología? ¿Se ha demostrado la viabilidad técnica de los componentes y del concepto de la tecnología a escala de laboratorio? ¿Se han realizado estudios o exploraciones sobre los aspectos regulatorios (comités de ética, normas, ISO's o certificaciones) requeridos para el desarrollo? Posible resultado: prueba de desempeño o resultados analíticos o experimentales (en laboratorio) de parámetros clave de la tecnología.	- Artículos de investigación. - Libros resultado de investigación. - Capítulos en libros resultados de investigación.
4 Tecnología validada en condiciones controladas (laboratorio)	- Los niveles del 4 al 6 representan el puente entre la investigación científica y el desarrollo tecnológico. - Los componentes individuales de la tecnología han sido identificados y se busca establecer si funcionarán de manera integrada como un sistema en un entorno de laboratorio. - Se contemplan diseños preliminares de la tecnología. - La unidad de prototipo ha sido construida en un entorno controlado. - La simulación de los procesos permite identificar el potencial de escalamiento de la tecnología y sus cuestiones operativas.	¿Han sido integrados los componentes principales de la tecnología? ¿Se cuenta con un prototipo –así sea incompleto o por mejorar– del desarrollo? ¿Se han completado las pruebas iniciales de los componentes integrados en un entorno de laboratorio? ¿Se ha identificado el potencial de escalamiento de la tecnología? Posible resultado: prueba de desempeño de la tecnología realizada en laboratorio.	Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente.

	TRL	Parámetros esperados al final del nivel. Si no se cumplen, se encuentra en un nivel inferior de TRL	Producto de CTel
5 Tecnología validada en entorno relevante	- Los elementos básicos de la tecnología se integraron de manera que la configuración del sistema es similar a su aplicación final en casi todas sus características. - El prototipo (sistema integrado) está listo para simularse en un entorno relevante; sin embargo, su operatividad podría ocurrir aún a nivel de laboratorio. - El rendimiento del prototipo se ha simulado en el entorno relevante. - Se realizan evaluaciones del ciclo de vida y modelos de evaluación técnica y económica del diseño inicial. - Se identifican los requisitos para su escalamiento: salud y seguridad, limitaciones ambientales y regulatorias, y/o disponibilidad de recursos (materias primas, equipos, infraestructura).	¿Los elementos de la tecnología se integraron y el prototipo se ha evaluado en un entorno relevante? ¿Se han considerado los requisitos para la producción (salud y seguridad, ambiente, regulaciones y/o disponibilidad de recursos) a una escala mayor? ¿El prototipo cuenta con evaluación del ciclo de vida y viabilidad técnica y económica? <u>Posible resultado</u>: prueba de desempeño sobre componentes validados en entorno relevante (permite prever el rendimiento en el entorno operativo).	- Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente. - Variedades vegetales. - Productos de investigación, creación en artes, arquitectura y diseño. - Productos tecnológicos certificados o validados: diseños industriales, esquemas de circuitos integrados, <i>software</i>, plantas piloto, prototipos industriales y signos distintivos.
6 Tecnología demostrada en entorno relevante	- La mayoría de los problemas identificados previamente han sido resueltos. - Los componentes y procesos se han escalado para demostrar el potencial en condiciones reales. - El prototipo ha superado las pruebas en condiciones muy cercanas a las de funcionamiento real, cuenta con diseño detallado, estrategia de escalamiento y documentación. - El sistema a escala comercial ha sido modelado, y la evaluación económica y del ciclo de vida se ha completado. - La demostración de mercado (<i>early adopters</i>) y/o la apropiación social con <i>stakeholders</i> ha iniciado.	¿Han sido escalados los componentes y procesos? ¿El prototipo ha sido validado técnica y económicamente por una empresa con buenos resultados, y estos resultados han sido documentados? ¿Se inició la demostración de mercado (<i>early adopters</i>) o de apropiación social con posibles usuarios? ¿Ha sido modelado el sistema a escala comercial? ¿Se hizo el levantamiento de requerimientos para la producción y el despliegue del prototipo? <u>Posible resultado</u>: pruebas de viabilidad del prototipo en entorno relevante.	- Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente. - Variedades vegetales. - Productos de investigación, creación en artes, arquitectura y diseño.
7 Demostración del prototipo de sistema en entorno real	- Los asuntos tecnológicos menores han sido resueltos. - Se realiza la primera corrida piloto e inician las pruebas en entorno real. - Se identifican los aspectos relacionados con la producción e implementación de la tecnología, y se ha perfeccionado la evaluación económica y de su ciclo de vida. - Prototipo completo y funcional, próximo a operar o ya está operando en escala pre-comercial. - El sistema se ha validado con <i>stakeholders</i>. - La documentación disponible demuestra que la tecnología funciona en entorno real.	¿Se identifican los aspectos relacionados con la producción e implementación en escala pre-comercial? ¿Se cuenta con un prototipo completo, funcional y listo para prueba con primeros usuarios? ¿Se ha demostrado el éxito de la tecnología en un entorno operacional (con <i>stakeholders</i> reales)? <u>Posible resultado</u>: pruebas de viabilidad del prototipo en entorno operativo.	Productos tecnológicos certificados o validados: diseños industriales, esquemas de circuitos integrados, <i>software</i>, plantas piloto, prototipos industriales y signos distintivos.

	TRL	Parámetros esperados al final del nivel. Si no se cumplen, se encuentra en un nivel inferior de TRL	Producto de CTel
8 Sistema completo y certificado	• Los componentes están integrados y se demuestra que el sistema funciona a nivel comercial o a mayor escala. • En muchos casos significa el final del desarrollo. • Todos los asuntos operativos y de fabricación han sido resueltos. • Los resultados finales son difundidos y se establece el plan para su apropiación social. • La documentación está completa y se cuenta con manuales para el uso y mantenimiento del producto.	• ¿Han sido resueltas todas las cuestiones operacionales y de fabricación? • ¿Se tiene un producto en su versión final o cuasi final? • ¿Se cuenta con un producto comercializable? • ¿Los resultados finales han sido divulgados y se ha establecido el plan para su apropiación social? • ¿Existen manuales para su uso y mantenimiento? • <u>Possible resultado:</u> prueba de desempeño que verifica y valida la funcionalidad del sistema en su configuración final.	• Productos empresariales: secretos empresariales, empresas de base tecnológica (<i>spin off</i> o <i>start-up</i>), empresas creativas y culturales, innovaciones generadas en la gestión empresarial e innovaciones en procesos y servicios. • Regulaciones, normas, reglamentos o legislaciones.
9 Sistema probado en entorno real	• El sistema se encuentra en su fase final, ha sido probado en un entorno real y es funcional en diferentes condiciones operativas. • Es un producto completamente desarrollado y disponible para su producción en serie y/o comercialización. • Se establece una estrategia de difusión de resultados, transferencia y apropiación en comunidades objetivo.	• ¿La tecnología ha sido completamente desarrollada y es funcional en diferentes condiciones operativas? • ¿La tecnología está disponible comercialmente? • ¿Cuenta con producción sostenida? • ¿Los procesos de manufactura y producción son optimizados a través de innovaciones incrementales? • ¿Cuenta con una estrategia de difusión de resultados, transferencia y apropiación en comunidades objetivo? • <u>Possible resultado:</u> informes finales (completos) del funcionamiento exitoso del sistema en condiciones reales.	• Productos empresariales: secretos empresariales, empresas de base tecnológica (<i>spin off</i> o <i>start-up</i>), empresas creativas y culturales, innovaciones generadas en la gestión empresarial e innovaciones en procesos y servicios. • Regulaciones, normas, reglamentos o legislaciones.

Figura 1. Relación entre los TRL y las etapas de la I+D+i

	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
	Principios básicos observados y reportados	Concepto y/o aplicación tecnológica formulada	Prueba de concepto experimental	Tecnología validada en condiciones controladas (laboratorio)	Tecnología validada en entorno relevante	Tecnología demostrada en entorno relevante	Demostración del prototipo de sistema en entorno real	Sistema completo y certificado	Sistema probado en entorno real
Pruebas y validación	Idea	Concepto tecnológico	Prueba de concepto	Validación de componentes en condiciones controladas (laboratorio)	Validación de componentes en entorno relevante	Demostración de sistema o subsistema en entorno relevante	Demostración de sistema en un entorno real	Certificación de sistema completo	Despliegue
Actividades de I+D+i	Investigación científica				Desarrollo tecnológico			Innovación	
Temáticas para financiar por entidad del Sistema Nacional de CTeI	Investigación básica	Formulación de la tecnología	Investigación aplicada: prueba de concepto	Desarrollo a pequeña escala (laboratorio)	Desarrollo a escala real	Sistema/ prototipo validado en entorno relevante	Sistema/ prototipo validado en entorno real	Primer sistema/ prototipo comercial	Aplicación comercial
Entorno de validación	Condiciones controladas (laboratorio)				Relevante		Real		
Relación con la cadena de innovación	Investigación		Análisis de viabilidad		Desarrollos tecnológicos y prototipos		Mercado y comercialización		
			Demostración tecnológica			Planta piloto y escalamiento			
Actividades complementarias						Divulgación científica			
				Formación de recurso humano					
						Servicios tecnológicos			
	Asesoría y consultoría								
	Apropiación social del conocimiento								

Creación propia: adaptado de Ibáñez (2021) y Minciencias (2017, 2018, 2021; ([1]).

Tabla 2. Ejemplo de la evolución del sistema TRL en el desarrollo de la tecnología de Polinización artificial por parte de Cenipalma.

TRL	Descripción
1 Principios básicos observados y reportados	La producción de aceite en racimos de cultivares híbridos OxG depende de la formación de frutos normales o fértiles (con semilla; es decir, con endospermo y embrión) y, principalmente, de partenocárpicos (sin semilla, desarrollados sin que el óvulo fuera fertilizado), ya que ambos tipos de frutos acumulan aceite en el mesocarpio. Esto implica realizar polinización asistida que, si se hace con polen, es una práctica costosa y delicada. El desarrollo de frutos partenocárpicos se puede inducir artificialmente mediante la aplicación a las flores femeninas no polinizadas de reguladores de crecimiento, principalmente del grupo de las giberelinas y las auxinas. Teniendo en cuenta que la polinización es fundamental para la formación e incremento del potencial de aceite en los racimos de los cultivares híbridos OxG, se planteó la Polinización artificial; es decir, la aplicación de reguladores de crecimiento a las inflorescencias femeninas para inducir la formación de frutos. Hito: se definió que reguladores de crecimiento tienen un efecto potencial de inducir la formación de frutos partenocárpicos en racimos de cultivares híbridos OxG.

TRL	Descripción
2 Concepto y/o aplicación tecnológica formulada	Inflorescencias femeninas de cultivares híbridos OxG fueron aisladas en estado de preantesis I o II con bolsas de poliéster que permitieron el intercambio gaseoso y mantuvieron las condiciones óptimas de temperatura y humedad para el completo desarrollo de la inflorescencia. Posteriormente, se les aplicó los reguladores de crecimiento, ácido indolacético, ácido naftalenacético (ANA), 2,4-D y etefón en concentraciones referidas como funcionales para estimular la partenocarpia en otras especies vegetales. El ácido indolacético y el etefón no estimularon una producción constante de racimos ni de frutos partenocárpicos en el híbrido OxG, mientras que la aplicación de auxinas como el 2,4-D y el ANA promovieron el desarrollo de racimos partenocárpicos de mayor tamaño y contenido de aceite. Hitos: se formuló la Polinización artificial como la aplicación de ANA a las inflorescencias femeninas para promover el desarrollo de racimos con frutos partenocárpicos aceitosos; se verificó que ANA no reporta ningún efecto colateral; se diseñó el modelo de aplicación con soluciones entre 300 y 1.200 ppm ANA en preantesis III, antesis y postantesis. Se inició la evaluación de fuentes comerciales de ANA, para lo cual se dejó como testigo la polinización con ANA grado analítico (artificial) y polen (tradicional).
3 Prueba de concepto experimental	En parcelas experimentales de dos zonas de producción palmera (Central y Oriental) se determinó que la aplicación de una solución de 1.200 ppm de ANA en al menos dos estados fenológicos (preantesis y antesis o antesis y postantesis) indujo un incremento de hasta un 15 % de frutos cosechados con mejor conformación o llenado del racimo (<i>fruit set</i> ≥ 95 %) con frutos partenocárpicos y mayores pesos del racimo con contenido de aceite, sin necesidad de realizar polinización asistida con polen. Asimismo, se establecieron las ventajas de la Polinización artificial: • Elimina la necesidad de pasar sobre la misma inflorescencia tres veces en una semana, ya que la receptividad de las flores no se limita únicamente al período de antesis. • Incrementa el área neta de cobertura semanal entre 50 % y 86 %, con un mayor rendimiento por hombre y la consecuente reducción en el costo de la labor e incremento en la probabilidad de éxito en la labor. • No altera la calidad del aceite producido en términos de composición de ácidos grasos, carotenos o vitamina E. Finalmente, se estimó que la Polinización artificial podría incrementar la tasa de extracción de aceite hasta en 5 puntos porcentuales, lo que la convierte en una tecnología prometedora, siempre y cuando se garantice una buena fertilización y suministro de agua al cultivo. Hitos: se realizaron pruebas experimentales en las zonas de producción con mayor proporción de área sembrada con cultivares híbridos OxG; se determinaron los beneficios y ventajas de la aplicación de soluciones líquidas de 1.200 ppm de ANA antes, durante o hasta 14 días después de la antesis; se exploraron modelos de predicción del beneficio potencial de la Polinización artificial, con base en el análisis fisiológico del uso de ANA.
4 Tecnología validada en condiciones controladas (laboratorio)	Se realizaron pruebas de estabilidad y formulación de la solución de ANA: la efectividad de la aplicación de más 600 ppm de ANA implicó su adecuada solubilidad, teniendo en cuenta que es un compuesto orgánico, cristalino, ligeramente amarillento, con una solubilidad limitada en agua ($0,38 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 380 \text{ ppm}$ a temperatura ambiente), pero soluble en solventes orgánicos. Por ello, después de las pruebas de solubilidad y estabilidad en laboratorio (fuente de ANA asequible y accesible, agua corriente –de la llave o la disponible–, corrector de pH y dureza, y diferentes factores de solubilidad), se estableció y validó el procedimiento para preparar la solución, que puede ser conservada en oscuridad y refrigeración por cerca de 20 días, y su aplicación no se restringe a un horario determinado, sino que se puede llevar a cabo durante el día. Al tiempo se evaluó la cobertura de aplicación con diferentes volúmenes y equipos disponibles en las plantaciones, y su relación con la efectividad en términos de componentes del racimo y los frutos formados. La cobertura y efectividad obtenidas no mostraron diferencias significativas a partir de los 100 ml cuando se emplean bombas manuales de 20 litros, ya que son de fácil adquisición, funcionamiento y mantenimiento por parte de los usuarios finales. Hitos: se determinó la formulación de la solución de ANA y la forma de aplicación para obtener los resultados agrícolas y ambientales esperados; se inició el diseño del sistema óptimo para realizar la Polinización artificial.
5 Tecnología validada en entorno relevante	Teniendo en cuenta que los cultivadores implementaron la Polinización artificial con mezcla sólida de ANA + talco o ANA + polen + talco, se planteó la validación en campo de este método sólido y del método líquido (recomendado por Cenipalma), y se obtuvieron los siguientes resultados: • Con la mezcla sólida de ANA + talco se alcanzaron tasas de extracción de aceite de 25 % y hasta del 28 % con soluciones acuosas de 1.200 ppm de ANA. • La mezcla de ANA y polen no es recomendable para la polinización de los híbridos OxG, ya que el ANA generó una alteración o inhibición de la viabilidad y germinación del polen. • La mezcla de ANA y polen indujo baja formación de frutos normales y, por lo tanto, se afectó negativamente la cantidad de almendra y el cuesco de los racimos. De esta manera, la cantidad de cuesco producido no fue suficiente para superar las dificultades en el prensado por el procesamiento de la fruta producida solo con ANA. Por otro lado, se estudiaron los efectos secundarios y la residualidad del ANA en la planta (órganos diferentes a las inflorescencias), cuerpos de agua, suelo y aceite:

TRL	Descripción
5 Tecnología validada en entorno relevante	• Bajo condiciones controladas, la aplicación de ANA en diferentes estados fenológicos no generó residuos o trazas en el aceite extraído de los racimos tratados. • Al considerar las prácticas de cosecha de racimos y frutos sueltos polinizados con ANA en plantación, se encontró que no hay trazas de ANA en las muestras de suelos y aguas analizadas; sin embargo, el análisis cuantitativo en el aceite arrojó concentraciones no tóxicas y muy por debajo de los valores permitidos para ANA en diferentes cultivos. • No hay efecto de ANA sobre la diversidad microbiana edáfica a través del tiempo (0, 3 y 6 meses después de la aplicación), ya que no existe diferenciación en la comunidad bacteriana de los suelos donde se realiza Polinización artificial y suelos de bosque. • Al cabo de un año de seguimiento, el uso continuo de ANA no generó consecuencias visibles sobre las plantas. • Luego de dos años de aplicaciones continuas de elevadas concentraciones de ANA (líquida y sólida) a la corona o parte foliar (> 1.200 ppm), se presentó un cambio en el desarrollo y crecimiento de la parte aérea. Lo anterior sugiere inicialmente un posible efecto tóxico en la planta, lo que implica que la Polinización artificial se debe realizar con precaución para evitar que el producto llegue a nivel foliar. No obstante, estos monitoreos continúan y se llevarán a cabo por tiempos más prolongados, teniendo en cuenta la vida útil del cultivo y sus características perennes. De esta manera, se estableció que, si la Polinización artificial se realiza de acuerdo con las recomendaciones técnicas de Cenipalma, no se esperarían efectos adversos sobre la salud y el ambiente. Hitos: se evaluó la residualidad y los efectos secundarios o riesgos a corto plazo del uso de ANA; se estableció la toxicología y el nivel de seguridad de ANA; se determinó el riesgo potencial de la mezcla de ANA y polen, y se obtuvo información sobre la respuesta de la mezcla sólida ANA + talco.
6 Tecnología demostrada en entorno relevante	La Polinización artificial con ANA mediante suspensión líquida asperjada (recomendado por Cenipalma) y la mezcla sólida espolvoreada de ANA + talco fue validada a nivel de parcelas (escala precomercial) tanto en cultivares híbridos OxG como en <i>E. guineensis</i>. Las variables de respuesta tuvieron en cuenta la cobertura de la aplicación, la conformación o llenado del racimo (<i>fruit set</i>) y contenidos de aceite a racimo bajo apertura parcial y total de las brácteas pedunculares de la inflorescencia. Se encontró que: • Demanda tanta mano de obra como la cosecha de racimos y participa con el 19,7 % del costo de producción del cultivo. • En el cultivo de <i>E. guineensis</i> es una labor complementaria, que podría no realizarse si la polinización natural ocurre sin mayores contratiempos. • El uso de la mezcla sólida es prometedor en términos de rendimientos laborales y formación de racimos; sin embargo, el peso medio de los racimos de fruta fresca obtenido mediante el uso de ANA en mezcla líquida fue un 19,4 % mayor al obtenido con la mezcla sólida, lo que favoreció su adopción desde el punto de vista de la rentabilidad, sobre todo cuando la realiza un solo operario, ya que es menos costosa. Hitos: se demostraron las ventajas de la Polinización artificial líquida y sólida a escala precomercial, no solo para cultivares híbridos OxG sino también para cultivares de <i>E. guineensis</i> sembrados en plantaciones de las cuatro zonas palmeras; se establecieron los costos de la labor y el margen de rentabilidad de ambos métodos.
7 Demostración del prototipo de sistema en entorno real	El escalamiento de la Polinización artificial se llevó a cabo con plantaciones de todas las zonas palmeras con los cultivares más comunes de híbridos OxG, mediante estudios de tiempos y movimientos, indicadores de productividad laboral, implementación del punto óptimo de cosecha y análisis de costo-beneficio. Los resultados señalan que: • A un trabajador de Polinización artificial se le pueden pedir entre 188 y 249 inflorescencias por día de trabajo, dependiendo de la densidad de inflorescencias por hectárea. • Al implementar criterios sobre el punto óptimo de cosecha, la tasa de extracción de aceite aumentó del 6 al 29,7 %. • La Polinización artificial es más costosa que usar solo polen de <i>E. guineensis</i>, pero el aumento en la productividad de racimos y el aumento en la cantidad de aceite extraído compensan este costo extra y brindan mayor rentabilidad a los productores. En definitiva, se demostró que la Polinización artificial como complemento de la implementación del punto óptimo de cosecha permite intensificar sosteniblemente el cultivo, con mayores rendimientos y un negocio más resiliente. Por ello, se estableció el protocolo de la aplicación segura de ANA, para lo cual el personal de recepción, inspección, verificación y distribución del producto deben usar elementos de protección personal, como casco, mascarilla, guantes y botas de caucho. Hito: se realizó la validación de la eficacia de la Polinización artificial a una escala comercial.

TRL	Descripción
8 Sistema completo y certificado	Tecnopalma - Bioinsumos incluyó en su oferta tecnológica el Polinizador Artificial 98 %, un producto cuyo ingrediente activo es ANA al 98 %, primer producto registrado ante el ICA de ácido naftalenacético para el cultivo de palma de aceite (Registro ICA No. 2686). Al tiempo, el Polinizador Artificial 98 % se consideró un 'plaguicida químico de uso agrícola' por la Decisión 767 de 2011, pese a ser un regulador de crecimiento en plantas, lo que implicaría que su uso indiscriminado y en dosis no controladas genera los mismos efectos que se obtienen con la aplicación de un herbicida. Por lo anterior, el Instituto Nacional de Salud otorgó, bajo Resolución 1913 de 2019, el dictamen técnico toxicológico al Polinizador Artificial 98 %, en el que se clasifica en la categoría III como ligeramente peligroso, y se establecen los peligros para la salud y el ambiente, así como las indicaciones de almacenamiento y manipulación con todos los elementos de protección personal. Esto se complementó con la definición de la Ficha de Datos de Seguridad del Polinizador Artificial 98 % en el marco del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos. Con estas normativas se aseguró la eficacia agronómica y se demostró la calidad y la seguridad del Polinizador Artificial 98 %. De esta manera, se llevaron a cabo pruebas controladas y no controladas con el Polinizador Artificial 98 % en plantaciones y campos experimentales de Cenipalma, en las cuales se establecieron las siguientes recomendaciones: • Las aplicaciones pueden ser en polvo o líquido (según la preferencia); sin embargo, se debe tener en cuenta que la dosis y la mezcla varía entre ellos. • Cada inflorescencia debe recibir al menos tres aplicaciones, así: 1) estadio fenológico 607 de antesis, 2) estadio fenológico 609, y 3) estadio fenológico 703. • Se debe asegurar la homogeneidad de la mezcla con el Polinizador Artificial 98 %, y, preferiblemente, preparar la mezcla el mismo día que se va a realizar la aplicación. • El equipo de aplicación debe poseer y mantener la presión que asegure el cubrimiento total de la inflorescencia, y dispensar la cantidad justa del producto en cada aplicación. • No se debe mezclar el Polinizador Artificial 98 % con polen, ya que este último pierde su viabilidad. • El Polinizador Artificial 98 % se debe mantener almacenado a una temperatura inferior a 20 °C. Hitos: se llevaron a cabo estudios de efectividad, toxicidad y seguridad del Polinizador Artificial 98 %; se evaluó el riesgo-beneficio asociado a su uso en condiciones controladas y no controladas en plantaciones; se obtuvieron las certificaciones requeridas para la comercialización del Polinizador Artificial 98 %.
9 Sistema probado en entorno real	La evaluación en campo del Polinizador Artificial 98 % bajo condiciones comerciales permitió establecer que su aplicación no solo indujo la formación de frutos partenocárpicos aceitosos, sino también un incremento de la producción de aceite a niveles nunca vistos (con producciones incluso superiores a 10 t aceite/ha/año), tanto en cultivares de <i>E. guineensis</i> como en híbridos OxG, por lo que su uso se convirtió en un estándar del manejo agronómico de estos últimos. Adicionalmente, se determinaron los siguientes beneficios: • Incrementa un 15 % los frutos cosechados en las plantaciones para una mejor conformación de racimos y disminución de malogros, gracias a que genera mayor receptividad en las flores. • Aumenta en promedio la extracción de aceite entre un 23 y 26 %, y se han encontrado extracciones hasta de 31 %, debido al aumento en la formación de frutos partenocárpicos. • Disminuye la frecuencia de entrada de los polinizadores al lote cada semana, ya que permite aplicaciones en postantesis. • Mejora la relación costo-beneficio, ya que se garantiza un mayor número de inflorescencias polinizadas al día. El Polinizador Artificial 98 % está disponible para las cuatro zonas de producción, tiene un costo de \$ 195.000 / Kg + el valor del flete con posibilidad de realizar despachos a nivel nacional, y por ello se ha implementado en la totalidad del área productiva de cultivares híbridos OxG. Hitos: se completaron las pruebas de campo de la Polinización artificial en condiciones operativas; el Polinizador Artificial 98 % ha sido aprobado y está disponible para su comercialización en el territorio nacional; la tecnología de Polinización artificial ha sido implementada en las cuatro zonas palmeras y es un referente de manejo agronómico para cultivares híbridos OxG.

2. Conclusiones

El empleo de los TRL constituye una oportunidad para que la oferta tecnológica de Cenipalma al sector palmero (recomendaciones, protocolos, metodologías; servicios de laboratorio; sistemas de información; material de siembra; equipos, instrumentos, herramientas; servicios tecnológicos, bioproductos, entre otros) sea más precisa en el corto, mediano y largo plazo, ya que permite definir el nivel de madurez tecnológica al que se compromete determinado proyecto. Apoyar un proyecto en el que se abordarían los 9 TRL significaría fomentar el desarrollo de una nueva tecnología desde su idea hasta su despliegue en el mercado. Si el foco es la investigación, los proyectos se deberían referir fundamentalmente a los tres primeros niveles (TRL 1 - TRL 3), mientras que, si se abordan fundamentalmente actividades de desarrollo tecnológico, el proyecto se debe centrar más en los cuatro siguientes (TRL 4 - TRL 7). Finalmente, los proyectos de innovación más cercanos al mercado y los proyectos de implementación y despliegue se contemplarían en los dos últimos (TRL 8 - TRL 9). De esta manera, las direcciones misionales de Cenipalma ratificarían su acción a la luz de los TRL: la Dirección de Investigación soportaría las actividades de investigación científica (TRL 1 - TRL 4) y desarrollo tecnológico (TRL 5 - TRL 7), la Dirección de Extensión se encargaría desde el desarrollo tecnológico hasta la innovación (TRL 6 - TRL 9), y la Gerencia de Innovación y Desarrollo lideraría las acciones de certificación y despliegue (TRL 8 - TRL 9).

Por lo tanto, la identificación del TRL en los proyectos le permitirá a Cenipalma:

- Aprobar la realización de un nuevo proyecto antes de su inicio o definir el plan de inversión de una segunda fase, a partir de un punto de partida cierto (alguno de los TRL). De acuerdo con Ibáñez (2021), tal definición de TRL se puede realizar desde dos enfoques: (i) *TRL's bottom-up approach*: el solicitante del proyecto indica el TRL de partida y el TRL final al que se debe llegar una vez termine el proyecto; (ii) *TRL's top-down approach*: el solicitante o planificador establece, en general o para cada temática, los TRL que se deberían abordar y realiza las actividades dentro del rango

indicado (dependiendo del estado inicial) hasta alcanzar el TRL objetivo.

- Decidir sobre la pertinencia de llevar una tecnología a un nivel más avanzado de desarrollo, con el fin de lograr, por ejemplo, un licenciamiento, una patente o un producto comercializable por Tecnopalma.
- Contar con una evaluación prospectiva de la(s) tecnología(s) que conlleve a afinar los resultados esperados de un proyecto, en coherencia con las actividades que se van a desarrollar en un plazo y presupuesto precisos y las demandas u oportunidades del sector palmero colombiano.
- Incrementar las oportunidades de financiación de las convocatorias de Minciencias, el Sistema General de Regalías u otra entidad que haga uso de los TRL como un referente para identificar la correspondencia del alcance de las actividades de I+D+i con los beneficios científicos, sociales, ambientales o económicos del país.

Finalmente, es importante identificar si los proyectos de Cenipalma abordarán la realización de productos nuevos o mejorados y se desarrollarán a partir de tecnologías con alto o bajo nivel de madurez o disponibilidad. En este caso, para identificar el carácter innovador de un proyecto de CTel es importante tener en cuenta no solo el nivel de madurez de la tecnología que efectivamente se desarrollará como consecuencia de este, sino también las tecnologías que se utilizarán o que directamente se incorporarán durante el ciclo de vida del proyecto. Lo anterior porque existe una correlación entre las tecnologías que se usan durante el ciclo de vida del proyecto y el propio desarrollo tecnológico que se realiza durante la ejecución de este (Fierro *et al.*, 2021). En general, cuanto más inmaduras sean las tecnologías que se utilizan, más riesgo se afrontará y más desarrollo tecnológico propio se requerirá para alcanzar los objetivos planteados, por lo que el riesgo del proyecto será mayor y, en consecuencia, también será mayor su carácter innovador (Ibáñez, 2021). Por lo tanto, conocer el punto de inicio y el punto de finalización en términos de TRL de un determinado proyecto significa mayor conocimiento del alcance del proyecto susceptible de financiación.

Referencias bibliográficas

- Bedoya, G., & Gómez, I. (2021). Guía para la identificación del grado de madurez (TRL). Procedimientos MCDIIFMiGU001 del Centro de Desarrollo e Innovación de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín. <https://minas.medellin.unal.edu.co/>
- Fierro, O., Martínez, J., & Domínguez, I. (2021). Madurez tecnológica e innovación en empresas mexicanas. *Investigación administrativa*, 50(128). <https://doi.org/10.35426/iav50n128.09>
- Ibáñez, J.M. (2021). Niveles de Madurez de la Tecnología - Technology Readiness Level (TRLs) - Una introducción. Notas del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo de España. <https://www.mincotur.gob.es/es-es/Paginas/index.aspx>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2017). Anexo 13. Technology Readiness Levels (TRL) - Descripción. 2ª Convocatoria ecosistema científico para la financiación de Programas de ID+i que contribuyan al mejoramiento de la calidad de las instituciones de educación superior colombianas 2017. <https://minciencias.gov.co/>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2018). Anexo 1. Technology Readiness Levels – TRL. Convocatoria Cierre de Brechas Tecnológicas 2018. <https://minciencias.gov.co/>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2021). Tipología de proyectos calificados como de carácter científico, tecnológico e innovación - versión 6.0. <https://minciencias.gov.co/>
- [1]: Technology Readiness Level. https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level.

Lo que debe saber del Fondo de Fomento Palmero

Por: Gabriel Alejandro Molano, Especialista de Publicaciones y Ana Marcela Hernández, Analista de Publicaciones.

Gracias al Fondo de Fomento Palmero (FFP) los palmicultores cuentan desde hace 29 años con instrumentos para el desarrollo tecnológico; la investigación sobre el mejoramiento genético y problemas agronómicos; apoyar el estudio orientado a aumentar y mejorar el uso del aceite de palma; promocionar los atributos nutricionales; divulgar y promover los resultados de la investigación; desarrollar la infraestructura de comercialización y mecanismos de estabilización de precios de exportación para el palmiste, el aceite de palma y sus subproductos; y para fortalecer otras actividades y programas de interés general para la agroindustria de la palma de aceite.

Pero para entender aún más su función se tienen algunas preguntas y respuestas al respecto:

¿Qué es el Fondo de Fomento Palmero?

Es una cuenta especial para el recaudo y el manejo de los recursos provenientes de la Cuota de Fomento para la Agroindustria de la Palma de Aceite, creada mediante la Ley 138 de 1994, cuyo objeto es la financiación de programas y proyectos de beneficio para la agroindustria de la palma de aceite.



Investigación en problemas agronómicos del cultivo.
Foto: archivo Fedepalma.

¿Cuál es el destino de los dineros recaudados?

Los ingresos de la Cuota para el Fomento de la Agroindustria de la Palma de Aceite se aplican a la obtención de los siguientes 10 fines:

1. Apoyar los programas de investigación sobre el desarrollo y adaptación de tecnologías que contribuyan a mejorar la eficiencia de los cultivos de palma de aceite y su beneficio.
2. Investigar sobre el mejoramiento genético de los materiales de palma de aceite.
3. Investigar los principales problemas agronómicos que afectan el cultivo de la palma de aceite en Colombia.
4. Apoyar la investigación orientada a aumentar y mejorar el uso del aceite de palma, el palmiste y sus fracciones.
5. Investigar y promocionar los atributos nutricionales del aceite de palma, el palmiste y sus subproductos.
6. Apoyar programas de divulgación y promoción de los resultados de la investigación y de las aplicaciones y usos de los productos y subproductos del cultivo de la palma de aceite.
7. Apoyar a los cultivadores de palma de aceite en el desarrollo de la infraestructura de comercialización necesaria, de interés general para los productores, que contribuya a regular el mercado del producto, a mejorar su comercialización, reducir sus costos y a facilitar su acceso a los mercados de exportación.
8. Promover las exportaciones del palmiste, el aceite de palma y sus subproductos.
9. Apoyar mecanismos de estabilización de precios de exportación para el palmiste, el aceite de palma y sus subproductos, que cuenten

con el apoyo de los palmicultores y del Gobierno Nacional.

10. Apoyar otras actividades y programas de interés general para la agroindustria de la palma de aceite que contribuyan a su fortalecimiento.

¿Qué es la Cuota de Fomento Palmero?

De acuerdo con el Artículo 2 de la Ley 138 de 1994 es una contribución obligatoria de carácter parafiscal aplicada al sector palmero colombiano para ser utilizada en programas de interés general para el fortalecimiento de esta agroindustria.

¿Quién administra los recursos?

Según el Artículo 30 de la Ley 101 de 1993, “La administración de las contribuciones parafiscales agropecuarias y pesqueras se realizará directamente por las entidades gremiales que reúnan condiciones de representatividad nacional de una actividad agropecuaria o pesquera determinada y que hayan celebrado un contrato especial con el Gobierno Nacional, sujeto a los términos y procedimientos de la ley que haya creado las contribuciones respectivas”.

Además, según lo estipula el Artículo 9 de la Ley 138 de 1994, “Del organismo de gestión. El Gobierno Nacional, por intermedio del Ministerio de Agricultura, contratará con la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) la administración del Fondo de Fomento Palmero y el recaudo de la Cuota para el Fomento de la Agroindustria de la Palma de Aceite”.

¿Quién integra el Comité Directivo?

Como lo establece el Artículo 10 de la Ley 138 y el Artículo 7 del Decreto 1730 de 1994, está integrado por seis miembros, así:

- El Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural o su delegado, quien lo presidirá.
- El Ministro de Comercio, Industria y Turismo o su delegado.
- Cuatro representantes de los cultivadores de palma de aceite, uno por cada zona palmera del país.



Apoyo para mejorar la eficiencia del cultivo. Foto: archivo Fedepalma.

Funciones del Comité Directivo del Fondo

- Aprobar el presupuesto anual de ingresos y gastos del FFP presentado por Fedepalma, previo visto bueno del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Aprobar las inversiones que con recursos del FFP deba llevar a cabo Fedepalma y otras entidades de origen gremial al servicio de los palmicultores.
- Velar por la correcta y eficiente gestión del Fondo por parte de Fedepalma.

¿Cuál es la tarifa de la cuota?

Equivale al 1,5 % del precio de cada kilogramo de palmiste y aceite de palma crudo extraídos. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural fija para cada semestre el precio de referencia de liquidación de la cuota.

¿Quiénes son los sujetos de la cuota?

Todos aquellos que por cuenta propia se benefician del fruto de palma de aceite o quien encargue a una extractora o planta de beneficio la maquila de su fruto, según lo establecido en el Artículo 40 de la Ley 138 de 1994.

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

PALMAS

La revista Palmas volumen 44, número 3 , fue editada por la
Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma.

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.