

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 $\cdot 100\text{g}^{-1}$ y de $21,5 \pm 2,80$ mg EAG $\cdot 100\text{g}^{-1}$, 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 $\cdot 100\text{g}^{-1}$. 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 $\times$ Pisifera – D $\times$ 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 $\cdot 100\text{g}^{-1}$ and 21.5 ± 2.80 mg GAE $\cdot 100\text{g}^{-1}$, respectively, while in the methanolic extracts of the Nolí[®] commercial oil, the mean equivalent content was 15.8 ± 0.82 mg GAE $\cdot 100\text{g}^{-1}$. 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 $\times$ Pisifera – D $\times$ 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 constitui-

do 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).

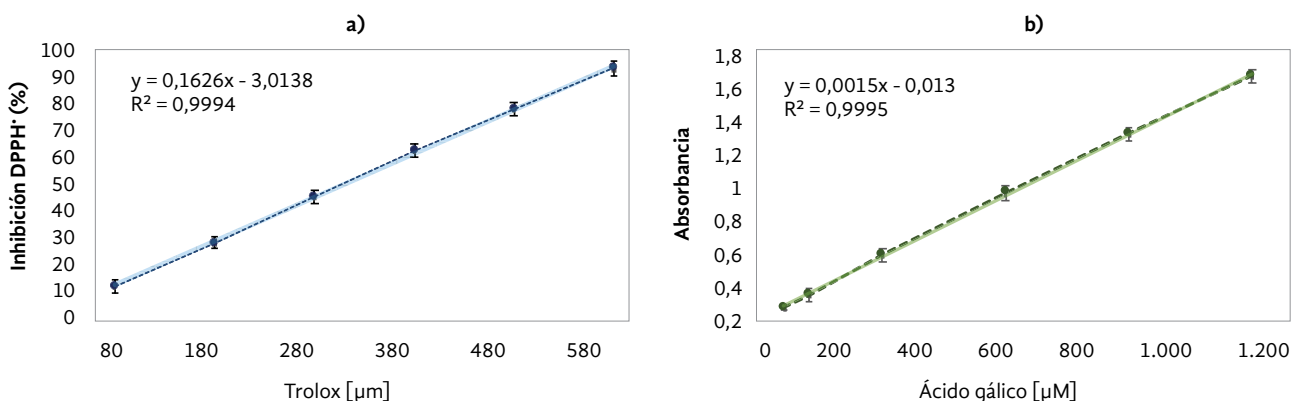
3. Resultados y discusión

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).

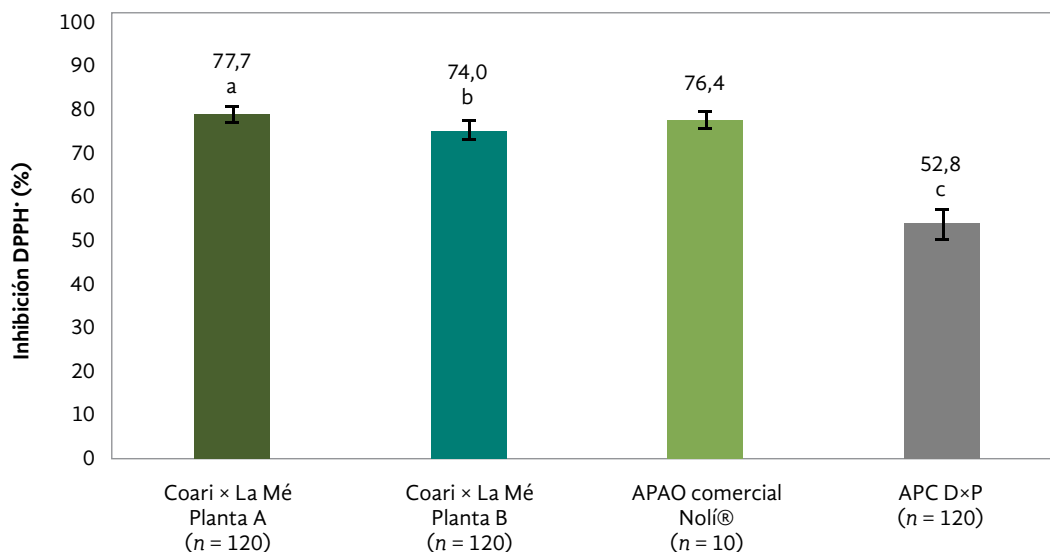
En este estudio, la metodología analítica descrita para la determinación de la capacidad antioxidante por el método del radical libre DPPH[•], implementa Trolox como estándar de referencia. El Trolox es un análogo de la vitamina E, utilizado como antioxidante en aplicaciones biológicas o bioquímicas 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.

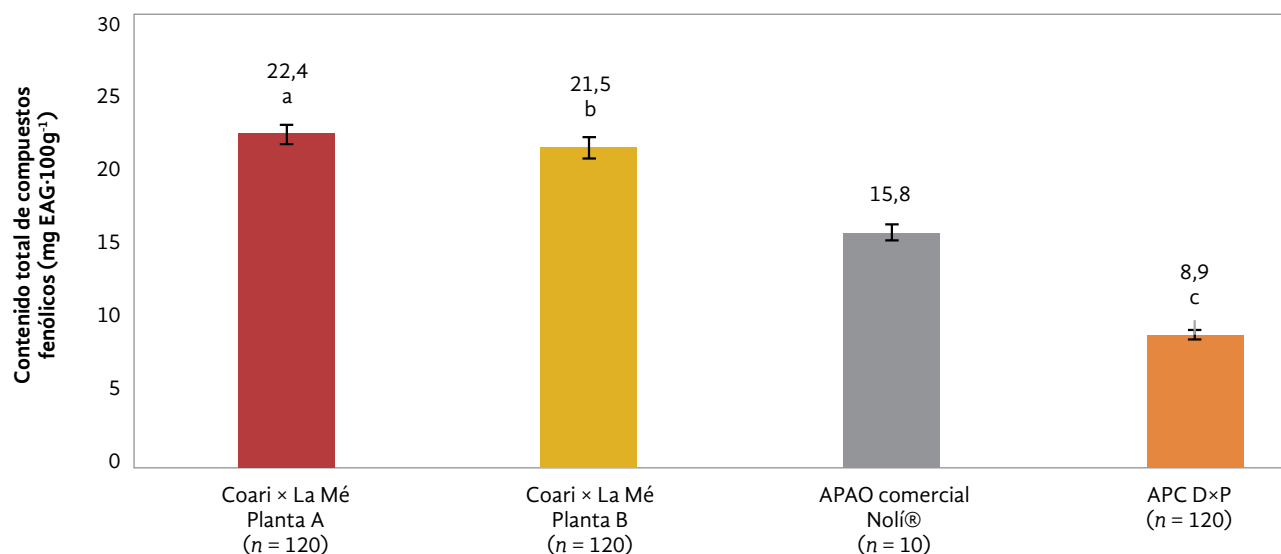
De otro lado, las muestras de APC D×P presentaron un contenido promedio equivalente al Trolox de $54,7 \pm 1,08 \mu\text{mol Trolox} \cdot 100\text{g}^{-1}$, muy por debajo del valor promedio encontrado en las muestras de APAO crudo y comercial. Además, tanto el contenido equivalente al Trolox de compuestos 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 $\cdot$ 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 $\cdot$ 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 $\cdot$ 100g⁻¹ y de $9,1 \pm 0,6$ mg EAG $\cdot$ 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**)	(Gouveinhas <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**)	(Gouveinhas <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., protocatechualdehído) (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 donar átomos de hidrógeno y comportarse como que-

lantes 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, fitoesteroides, 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 ante-

rior, 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 financiación de este estudio, a la Corporación Centro de Investigación en Palma de aceite, Cenipalma, a

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/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/s1101-013-9270-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.
- Szydlowska-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>
- Szydlowska-Czerniak, A., Trokowski, K., Karlovits, G., & Szlyk, 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>
- Szydlowska-Czerniak, A., Trokowski, K., Karlovits, G., & Szlyk, 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. 471–526). <https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-9-3.50019-8>