

# La calidad del aceite de palma como un nuevo reto para la palmicultura mundial

## Palm Oil Quality as a New Challenge for Palm Cultivation Worldwide

**CITACIÓN:** Baena-S., M. A., García-Nunez, J. A., González-D., A., Mondragón, A. & Caballero-B., K. (2021). La calidad del aceite de palma como un nuevo reto para la palmicultura mundial. *Palmas*, 42(1), 65-80.

**PALABRAS CLAVE:** Aceite de palma, Calidad, Comercialización, Fitonutrientes, Precursores de contaminantes, Contaminantes del aceite de palma.

**KEYWORDS:** Palm oil, Quality, Trade, Phytonutrients, Pollutant precursors, Palm oil pollutants.

**BAENA S. MARÍA A.**

Analista del Proyecto Especial de Salud y Nutrición de Cenipalma

**GARCÍA-N. JESÚS A.**

Coordinador del Programa de Procesamiento de Cenipalma  
jgarcia@cenipalma.org

**GONZÁLEZ D. ALEXIS**

Asistente de Investigación II de Cenipalma

**MONDRAGÓN ALEXANDRA**

Responsable del Proyecto Especial de Salud y Nutrición de Cenipalma

**CABALLERO B. KENNYHER**

Auxiliar de Investigación I de Cenipalma

### Resumen

A nivel mundial, los productores de aceite de palma crudo (APC) se han visto en la necesidad de adaptarse a las más recientes exigencias de calidad de los distintos mercados, al igual que a los requisitos normativos pedidos por los países en donde se comercializa este tipo de aceite. Actualmente, más y nuevos parámetros de calidad conforman el grupo de requerimientos exigidos por los compradores durante las negociaciones del APC, materia prima indispensable para la producción de distintos alimentos. Hoy por hoy, los metales pesados, trazas de hidrocarburos aromáticos y alifáticos, cloropropanoles y compuestos de cloro y fósforo son monitoreados con mayor frecuencia durante la evaluación de las propiedades y características del aceite de palma

crudo y refinado para su comercialización. Adicional a estos parámetros de calidad, es necesario tener en cuenta los que comúnmente se utilizan como el contenido de ácidos grasos libres (AGL), el índice de deterioro de la blanqueabilidad (DOBI) y la humedad e impurezas. En la actualidad, se trabaja de manera exhaustiva en la búsqueda de buenas prácticas de cultivo, procesamiento y refinación que garanticen la reducción de compuestos contaminantes del APC y de los precursores de contaminantes para los aceites refinados. De otro lado, el APC tiene una gran cantidad de compuestos menores con alto potencial nutricional y la capacidad de generar elementos de alto valor agregado que no han sido debidamente utilizados. El objetivo del presente artículo es dar a conocer parte de las características que atribuyen valor nutricional al aceite de palma y los nuevos retos que enfrenta el sector palmero en lo referente a la presencia y disminución de precursores de contaminantes y de contaminantes formados durante la producción del aceite de palma, asimismo, pretende resaltar las prácticas que han dado buenos resultados en la mitigación de estos compuestos.

## Abstract

Producers of crude palm oil (CPO) worldwide have seen the need to adapt to the latest quality requirements of various markets and the regulatory requirements of the countries where this oil is marketed. Buyers are demanding more and new quality parameters when negotiating CPO, a raw material that is essential to produce different foods. Today, heavy metals, traces of aromatic and aliphatic hydrocarbons, chloropropanols, and chlorine and phosphorus compounds are most frequently monitored during the evaluation of the properties and characteristics of crude and refined palm oil for marketing. In addition to these quality parameters, other commonly used parameters, such as the free fatty acids (FFA) content, the deterioration or bleachability index (DOBI), and humidity and impurities, should also be considered. Currently, extensive work is being carried out in the search for good cultivation, processing and refining practices that guarantee the reduction of CPO contaminant compounds and pollutant precursors for refined oils. On the other hand, CPO has many minor compounds with high nutritional potential and the capacity to generate high value-added elements that have not been adequately utilized. This article aims to present some of the characteristics that contribute nutritional value to palm oil and the new challenges the oil palm sector faces regarding the presence and reduction of pollutant precursors and pollutants formed during palm oil production. Likewise, it aims to highlight the practices that have been successful in mitigating these compounds.

## Introducción

El cultivo de palma de aceite en Colombia ha tenido una expansión importante en los últimos años, pasando de 540.687 hectáreas sembradas en 2018 a 559.582, a finales de 2019, 18.895 hectáreas adicionales que representan un incremento del 3,49 % en el cultivo (Fedepalma, 2020). Asimismo, la producción de aceite de palma crudo (APC) en Colombia alcanzó 1.528.739 toneladas para el 2019 (Fedepalma, 2020). En las plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia, el APC se produce mediante extracción

mecánica, bajo condiciones específicas de presión y de temperatura, de los frutos maduros producidos por los cultivares de palma tipo tenera cruce dura x pisifera (DxP) (*Elaeis guineensis* Jacq.) o de los híbridos interespecíficos OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) (Gesteiro *et al.*, 2018). En cuanto al mercado del APC en Colombia, entre los años 2014 y 2019, la mayor parte de esta materia prima fue aprovechada en la manufactura de productos alimenticios, seguido por la producción de biodiésel, concentrados para animales y, por último, para la obtención de productos cosméticos (Fedepalma, 2019).

Desde el punto de vista de los compuestos benéficos que contiene el APC, se puede mencionar que es graso y rico en tocotrienoles, una forma de vitamina E caracterizada por su alto poder antioxidante (Mba *et al.*, 2015). Además, es fuente natural de carotenos, un pigmento que actúa como provitamina A, el cual es necesario para el sistema inmunológico y es esencial durante el desarrollo de la visión (Chaves *et al.*, 2018; Estiasih y Ahmadi, 2018). De manera adicional, contiene otros compuestos minoritarios como escualeno, polifenoles, fitoesteroles y, en algunos reportes, se ha indicado la presencia de coenzima Q-10 (Koufaki, 2016; Ribeiro *et al.*, 2018; Sampaio *et al.*, 2017; Uddin *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2019). Estos fitoquímicos agregan valor al APC, y hacen de este un atractivo para su inclusión en productos con potencial funcional (S. C. Chew *et al.*, 2019; Dian *et al.*, 2017).

En contraste, metales pesados como el cobre (Cu), el plomo (Pb), el hierro (Fe) y el arsénico (As), al igual que los hidrocarburos aromáticos de aceite mineral (MOAH por sus siglas en inglés) y alifáticos hidrocarburos aromáticos de aceite mineral (MOSH por sus siglas en inglés), los bifenilos policlorados (PCB's por sus siglas en inglés), las trazas de dioxinas, de plaguicidas, de hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos clorados y fosforados repercuten en las especificaciones de calidad del APC (C. L. Chew *et al.*, 2021; Santiago *et al.*, 2021). Además, una concentración elevada de compuestos organoclorados y de mono y diglicéridos en el APC durante su refinación, conduce a la formación de ésteres de 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPD), de 2-monocloropropano-1,3-diol (2-MPCD) y de ésteres glicídlicos (EG), respectivamente (Hew *et al.*, 2020; Velisek *et al.*, 2011; Vispute y Dabhade, 2018).

En cuanto a la salud de los consumidores, la garantía de la inocuidad de los alimentos es una característica indispensable para los distintos clientes (Kushairi *et al.*, 2019). Según las tendencias de las conductas alimentarias actuales, con mayor frecuencia, un número más grande de personas se interesa en conocer la forma de producción, el origen de las materias primas, la manera en cómo se comercializa, el contenido nutricional, los ingredientes naturales y los adicionados artificiales que se encuentran en los productos que consumen (FAO *et al.*, 2019). Siendo todo lo anterior, factores que se han vuelto determinantes durante la

decisión de compra de un producto alimenticio (Piernas *et al.*, 2014). De forma tal que los consumidores se han tornado más críticos y consientes en temas relacionados con la nutrición y la alimentación (Barrera *et al.*, 2014), buscando prevenir la aparición o el desarrollo de enfermedades crónicas o el envejecimiento prematuro de órganos y tejidos (Simpson *et al.*, 2017; Springmann *et al.*, 2018). Por lo que la adquisición de alimentos a buen precio y de buena calidad, funcionales y que aporten al sustento de la salud, ahora son protagonistas. Como consecuencia de estas nuevas tendencias, la industria alimentaria se encuentra en renovación e innovación constante, y en la búsqueda de nuevas o de mejoradas materias primas que hagan sus productos más atractivos (Vicentini *et al.*, 2016).

Hoy por hoy, gran parte de los esfuerzos del sector palmero a nivel internacional se han centrado en la mitigación de precursores de contaminantes organoclorados, al igual que en la obtención de APC con características de calidad superiores a las establecidas, para su negociación y comercialización en los distintos mercados. De modo que, continúa trabajando constantemente en el desarrollo de prácticas aplicables a lo largo de la cadena de producción del APC para la mitigación del contenido de contaminantes y de precursores de estos compuestos (Code of Practice for the Reduction of 3-Monochloropropane-1,2-Diol Esters (3-MCPDE) and Glycidyl Esters (GEs) in Refined Oils and Food Products Made with Refined Oils, 2019). Dichas prácticas incluyen medidas que pueden ser aplicadas en el cultivo, en la planta de beneficio y en la refinadora.

En Colombia, todos estos esfuerzos se han centralizado en la obtención de APC de mejores características, con propiedades diferenciadas y con atributos nutricionales y funcionales únicos. Sin dejar de mencionar las acciones que desde el sector palmero colombiano se llevan a cabo para garantizar que estas mejoras aseguren la sostenibilidad del sector y generen impactos mínimos en el ambiente. Por todo lo anterior, el objetivo del presente documento es resaltar los trabajos más relevantes, desarrollados por parte del Programa de Procesamiento de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), en lo referente a mejorar y mantener la calidad, además de potenciar las propiedades que atribuyen valor nutricional al aceite de palma, dando prioridad a los

nuevos retos que enfrenta el sector ante la presencia y disminución de contaminantes formados durante su producción, además, pretende destacar las prácticas que han dado buenos resultados en la mitigación de estos compuestos.

## Composición general del aceite de palma crudo

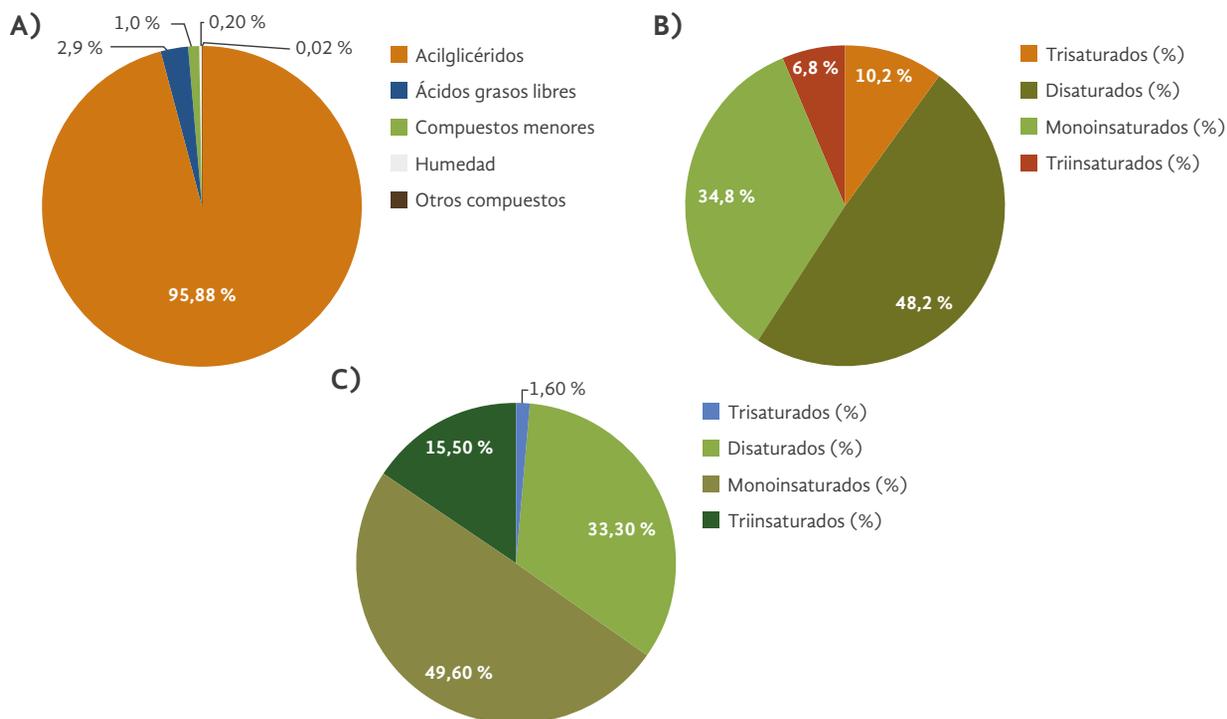
Los acilglicéridos conforman cerca del 95,9 % del APC (Mba *et al.*, 2015) (Figura 1), mientras que los ácidos grasos libres (AGL) forman parte de un 2,9 % adicional (Chinenye, 2020). Asimismo, el grupo de compuestos menores, integrado por carotenoides, tocoferoles, tocotrienoles, polifenoles, escualeno, entre otros, constituyen alrededor del 1,0 % del APC (Rodríguez *et al.*, 2016) (Figura 2). Entre tanto, el contenido de humedad y de otros compuestos en el APC de buena calidad, no superan el 0,20 % ni el 0,02 %, respectivamente (Prasanth Kumar y Gopala Krishna, 2014) (Figura 1-A).

De otro lado, los acilglicéridos en el APC DxP son en 10,2 % trisaturados, 48 % disaturados, 34,6 % monoinsaturados y 6,8 % triinsaturados (Figura 1-B), en contraste, en el APC extraído del cultivar híbrido OxG Coari x La Mé, estos compuestos son en un 1,6 % trisaturados, 33,3 % disaturados, 49,6 % monoinsaturados y 15,5 % triinsaturados (Figura 1-C). En consecuencia, ciertas propiedades fisicoquímicas en el APC, tales como: punto de fusión, índice de refracción, índice de yodo y perfil lipídico varían dependiendo del cultivar del cual haya sido extraído (Mozzon *et al.*, 2013, 2018).

## Compuestos menores en el aceite de palma crudo

La vitamina E y los carotenoides hacen parte del grupo de constituyentes minoritarios del APC, con cerca de 600 ppm a 1.000 ppm (Md Sarip *et al.*, 2016) y de 500 ppm a 700 ppm (Han y Choo, 2015),

**Figura 1.** A. Composición general del APC. B. Acilglicéridos en el APC DxP (%p/p). C. Acilglicéridos en el APC OxG, cultivar Coari x La Mé. Adaptado de: Chinenye, 2020; Mba *et al.*, 2015; Prasanth Kumar y Gopala Krishna, 2014; Rodríguez *et al.*, 2016



respectivamente. Estas son sustancias importantes para el correcto funcionamiento fisiológico de los organismos, pues son antioxidantes fuertes, esenciales para el crecimiento y la visión (Bennett *et al.*, 2012; Karmowski *et al.*, 2015; Koushki *et al.*, 2015; Rubin *et al.*, 2017). El APC contiene, además, entre 300 ppm a 620 ppm de fitoesteroles (Chang *et al.*, 2016), 250 ppm a 540 ppm de escualeno (terpeno hipocolesterolemico) (May y Nesaretnam, 2014), 18 ppm a 80 ppm de ubiquinona o coenzima Q10 (CoQ10) (Zou *et al.*, 2012), 20 ppm a 100 ppm de fosfolípidos y de 40 ppm a 70 ppm de polifenoles (Chang *et al.*, 2016). La Figura 2 presenta la composición aproximada del grupo de compuestos minoritarios presentes en el APC. Cabe aclarar que esta puede variar dependiendo del cultivar del cual haya sido extraído (Mozzon *et al.*, 2013, 2018).

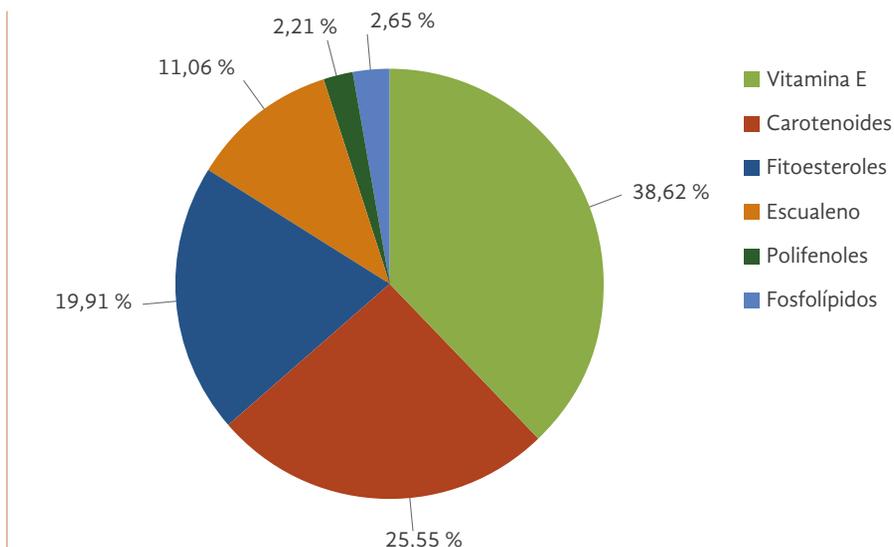
La vitamina E es un antioxidante potente, capaz de neutralizar radicales libres al donar átomos de hidrógeno presentes en la estructura (Peh *et al.*, 2016). El  $\alpha$ -tocoferol es considerado como la forma isomérica más dominante de la vitamina E, sin embargo, se ha demostrado que los tocotrienoles poseen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes superiores a las de los tocoferoles (Karmowski *et al.*, 2015). Estudios previos realizados en Colombia por Cenipalma encontraron que el contenido promedio de vitamina E (1.113 ppm) en los APC DxP, estuvo representado por aproximadamente 12,5 %<sup>p/p</sup> en tocoferoles y 87,5 %<sup>p/p</sup> en tocotrienoles (Rincón Miranda y Martínez Cárde-

nas, 2009). Algunos han reportado que la vitamina E tiene efectos positivos en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Goon *et al.*, 2017), óseas (Dutta y Dutta, 2003), oculares y neurológicas (Musa *et al.*, 2017), nefrológicas y diferentes tipos de cáncer (Peh *et al.*, 2016).

De otro lado, los carotenos son pigmentos de estructura orgánica que se encuentran en las plantas y en otros organismos fotosintéticos (Qian *et al.*, 2012). El  $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno son provitaminas que actúan como sustancias importantes requeridas por el cuerpo humano para la síntesis de la vitamina A, grupo conformado por compuestos orgánicos insaturados como el retinol, retinal, el ácido retinoico y otros carotenoides provitamina A (Gul *et al.*, 2015). Por otra parte, el escualeno es un precursor bioquímico del colesterol y de otros esteroides en el cuerpo humano (Buddhan *et al.*, 2007). También es una sustancia bioactiva perteneciente a la clase de antioxidantes denominados como isoprenoides, que tienen la capacidad de prevenir los efectos nocivos de los radicales libres presentes en el cuerpo (Buddhan *et al.*, 2007; Narayan Bhilwade *et al.*, 2010).

Además, el colesterol, uno de los fitoesteroles de mayor concentración en el APC, es un componente importante de las membranas celulares y es el precursor de moléculas bioquímicamente activas como: hormonas (Šošić-Jurjević *et al.*, 2017), vitamina D (Prabhu *et al.*, 2016) y ácidos biliares (Hanel y Carlberg, 2020; Nuno M. F. S. A *et al.*, 2016; Zerbinati y Iuliano, 2017).

**Figura 2.** Porcentajes aproximados de compuestos menores en el APC



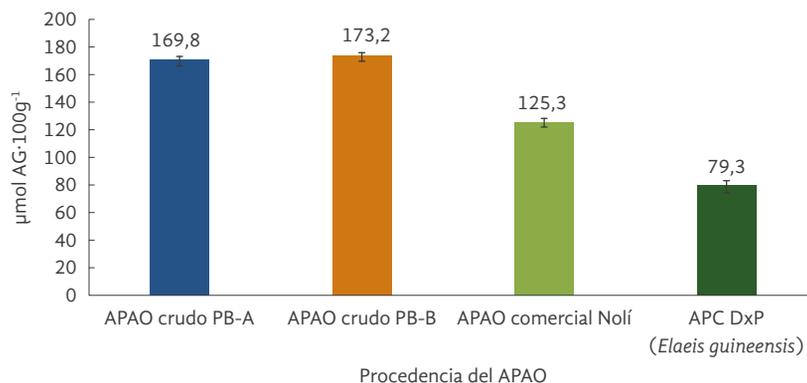
## Antioxidantes y compuestos fenólicos y polifenólicos totales en el APC con la capacidad de combatir el estrés oxidativo y las especies reactivas de oxígeno

El APC con mayor contenido de ácido oleico extraído del cultivar híbrido O<sub>x</sub>G Coari x La Mé (APAO) es un sustrato rico en compuestos menores con actividad biológica y funcional que, en dosis adecuadas, estimula el sistema inmunitario y brinda protección frente a especies reactivas de oxígeno (EROs), como los radicales libres (Liochev, 2013). Las EROs pueden causar perturbaciones a nivel celular, facilitar la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y de los aminoácidos que constituyen las proteínas (Goon *et al.*, 2017). El consumo de alimentos con altas concentraciones de compuestos con actividad antioxidante como carotenoides, fenoles, polifenoles e isoprenoides, minimiza la reactividad de las EROs a nivel celular y son aliados para combatir el estrés oxidativo (Buddhan *et al.*, 2007; Narayan Bhilwade *et al.*, 2010).

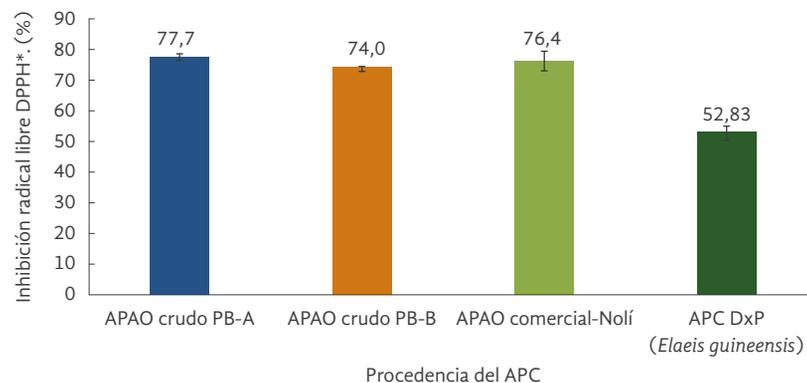
En estudios desarrollados por el Programa de Procesamiento de Cenipalma, se determinó el contenido de compuestos fenólicos y polifenólicos totales al igual que la capacidad antioxidante en APAO crudo y comercial de distinta procedencia, por medio del ensayo de Folin-Ciocalteu y del método del radical libre DPPH<sup>•</sup> (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), respectivamente. En extractos metanólicos de APAO 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 (AG), de 169,8±4,12 μmol AG·100g<sup>-1</sup> y de 173,2±3,21 μmol AG·100g<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que en los extractos metanólicos de APAO comercial Nolí se determinó un contenido promedio equivalente de 125,3±4,63 μmol AG·100g<sup>-1</sup> (Figura 3).

De otro lado, los extractos metanólicos de APAO crudo de las plantas de beneficio A y B inhibieron el radical libre DPPH<sup>•</sup> en cerca del 77,7 % y del 74,0 %, respectivamente. Asimismo, los extractos metanólicos del APAO comercial Nolí lograron inhibir el radical libre DPPH<sup>•</sup> en un promedio de 76,4 % (Figura 4).

**Figura 3.** Compuestos fenólicos y polifenólicos totales en APAO crudo y comercial, y en APC D<sub>x</sub>P



**Figura 4.** Porcentaje de inhibición del radical libre DPPH<sup>•</sup> por extractos metanólicos de APAO crudo (PB-A: planta de beneficio A; PB-B: planta de beneficio B), de APAO comercial Nolí y de APC D<sub>x</sub>P



Tanto el contenido de fenoles totales como el porcentaje de inhibición del radical libre DPPH<sup>•</sup> fueron propiedades que se mostraron superiores en los extractos metanólicos de APAO 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 dura x pisifera (*Elaeis guineensis* Jacq.).

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. Los compuestos fenólicos metilados (tocoferoles y tocotrienoles, principalmente), los carotenoides ( $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno, mayormente) y el escualeno presente en el APAO son considerados como el principal grupo de fitonutrientes con actividad antioxidante presente en este tipo de aceites.

### Mezclas entre APC procedente de cultivares de palma tipo DxP y OxG

En las plantas de beneficio, una práctica que se ha vuelto común es la mezcla entre APC DxP y APC OxG, por la proporción de fruta que se procesa de cada uno de ellos y/o la facilidad, o no, de separar los aceites durante el almacenamiento. Esta también depende de la facilidad, o no, de vender aceites mezclados (González-Díaz *et al.*, 2019). Este último tiene un efecto directo en los clientes de las plantas de beneficio, es decir, las refinadoras de aceite. Un porcentaje alto de mezcla con aceite OxG puede llevar a un mayor consumo de tierras de

blanqueo y a efectuar un cambio en la producción y calidad de las oleínas y las estearinas que se fabrican en las refinadoras, también disminuye la cantidad de estearina (fracción más sólida, compuesta principalmente por ácidos grasos saturados) y aumenta la proporción de oleína (fracción más líquida con un mayor contenido de ácidos grasos (AG) insaturados). Esto hace que se afecten los procesos que se tienen estandarizados en las refinadoras y que pueda haber un cambio en la composición de sus productos. Dependiendo de su mercado objetivo, estas mezclas podrían transformar las relaciones comerciales de estas industrias (González-Díaz *et al.*, 2019; Rincón-Miranda *et al.*, 2013).

Por otra parte, los valores asociados al índice de yodo (IY) del APC DxP (50 a 55) están directamente relacionados con el grado de insaturaciones presentes en la matriz lipídica. A razón de esto, el valor del IY en el APC OxG del cultivar Coari x La Mé se encuentra en un rango entre 60 a 72, al contener un número mayor de AG insaturados (Koushki *et al.*, 2015; Ramírez, 2004). En la Tabla 1 se presenta el valor del IY encontrado en la caracterización de APC extraído de diferentes cultivares de híbridos interespecíficos OxG y de DxP.

### Compuestos contaminantes en el aceite de palma

#### Cloro

Durante el cultivo, se puede evidenciar que entre las principales fuentes de cloro se encuentran las sales de cloro (agua de riego), remanentes de fertilizantes,

**Tabla 1.** Valores promedio máximos y mínimos encontrados en la determinación del IY en APC de diferentes cultivares de palma de aceite

Cultivar de palma de aceite	Índice de yodo (promedio)	IY máximo	IY mínimo
OxG Coari x La Mé	68,53	68,93	67,26
OxG Brasil x Djongo	63,01	69,66	56,38
OxG Cereté x Deli	61,68	66,75	52,95
OxG Manaus x Compacta	60,13	65,53	50,63
<i>Elaeis guineensis</i>	54,6	52,2	55,7

compuestos organoclorados como los pesticidas e insecticidas y lluvias. Adicionalmente, la presencia de sales de cloro más condiciones ácidas permiten la formación de ácidos grasos libres, diglicéridos y monoglicéridos, los cuales son considerados precursores para la formación de los contaminantes MCPD y GE. En la Figura 5 se puede observar cómo la descomposición de compuestos de cloro orgánico presentes en el APC influye en la formación de 3-MCPD diésteres (Taylor *et al.*, 2011).

### Seguimiento en el contenido de contaminantes en aceite refinado a nivel nacional

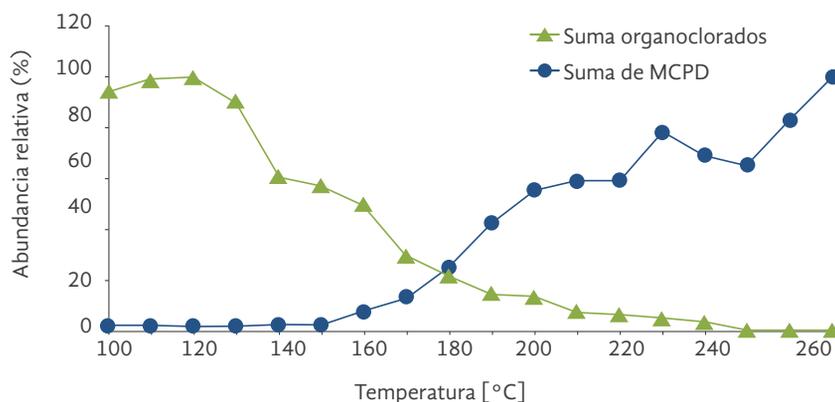
Para la obtención de datos y seguimiento en el contenido de estos contaminantes, se decidió tomar una muestra inicial aleatoria a nivel nacional de aceite de palma terminado, esto con el fin de definir el contenido de 3-MCPD y GE, el ideal era identificar el cumplimiento de la regulación emitida por la Unión

Europea de 2,5 ppm ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) de 3MCPD y 1,0 ppm ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) de GE. De acuerdo con las muestras identificadas se puede evidenciar el cumplimiento de 3MCPD en el 75 % de estas, y solo 1 de las 8 muestras cumplió con respecto al contenido de GE (Figura 6).

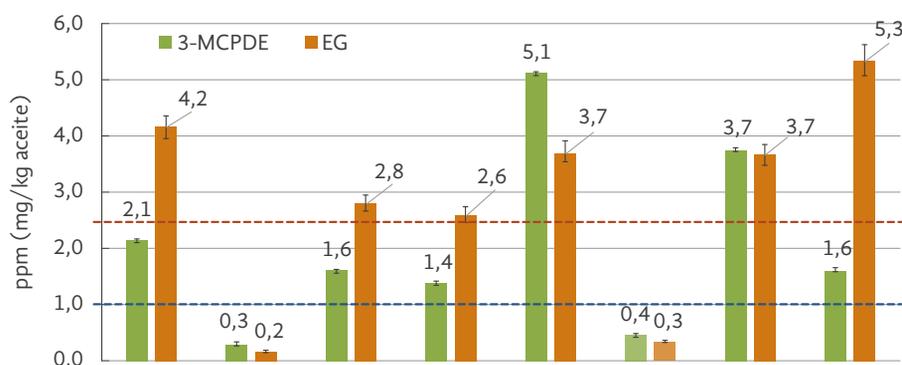
### Otros compuestos contaminantes en el APC

Otro de los componentes presentes en el aceite de palma proveniente de lubricantes son los hidrocarburos saturados de aceite mineral (MOSH por sus siglas en inglés) y los hidrocarburos aromáticos de aceites minerales (MOAH por sus siglas en inglés), lo que se ha identificado frente a los riesgos y a los niveles máximos de exposición a estos contaminantes es que, con respecto a los MOSH, se acumulan en tejidos, nódulos linfáticos, bazo e hígado y pueden llegar a causar granulomas, y los MOAH son considerados como posibles sustancias carcinogénicas y mutagénicas (AECOSAN, 2016).

**Figura 5.** Relación entre temperatura y abundancia relativa de organoclorados y MCPD (Taylor *et al.*, 2011)



**Figura 6.** Ésteres de 2- y 3-MCPD y ésteres glicídicos (EG) en aceites vegetales comerciales (muestras en estanterías)



Lo que se ha identificado es que la contaminación no requiere contacto directo entre el APC y el material que contiene los hidrocarburos, pues puede transferirse por evaporación, transporte en fase gaseosa o recondensación en los alimentos, por ejemplo, en proceso de esterilización es importante tener en cuenta que los aceites minerales para uso alimentario tienen contenidos de MOAH por debajo de 3 %, dentro de los requerimientos de clientes para el APC y el aceite de palmiste (PKO) para MOSH es menor a 10 ppm y para MOAH menor a 2 ppm (Figura 7).

## Características encontradas en el aceite de palma crudo en Colombia

En la Tabla 2 se pueden observar las características encontradas en el APC en Colombia, donde se puede identificar un mínimo y un máximo por cada parámetro de calidad con respecto a ácidos grasos libres, cloro, MOSH, MOAH y fósforo, además, del contenido de metales como hierro, cobre, plomo y arsénico. De igual forma, se puede identificar el máximo permitido de acuerdo con la normatividad vigente a nivel mundial con respecto a cada uno de ellos (Tabla 2).

## Características del aceite de palma de óptima calidad

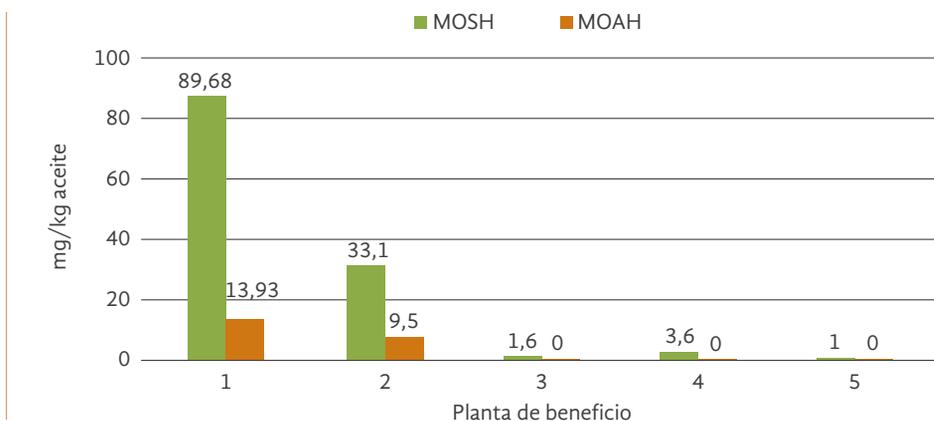
Los países productores de aceite como Malasia o Indonesia están en la búsqueda de desarrollar un APC *prémium*, con unas especificaciones a tener en cuenta

frente a los parámetros de calidad, como se puede observar en la Tabla 3.

## Normatividad vigente y requerimientos de un comprador en Colombia

Es indispensable tener en cuenta que todo lo anteriormente mencionado va alineado a la normatividad técnica colombiana, la Resolución 2154 de 2021 la cual, “establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal que se procesen, envasen, almacenen, transporten, exporten, importen y/o comercialicen en el país, destinados para el consumo humano y se dictan otras disposiciones”, es de obligatorio cumplimiento, en la cual se fijan límites de hierro, cobre, plomo y arsénico. De igual forma, se debe reconocer que no solo la normatividad vigente y sus lineamientos podrían llegar a ser una barrera comercial, también está la relación compra-venta y las exigencias que tienen los compradores para la adquisición del aceite de palma. Dentro de los requerimientos en Colombia, estos exigen que el MOSH se encuentre menor a 10 ppm y el MOAH menos de 2 ppm. En cuanto los clientes europeos, se espera que tanto los 3MCPD como los GE se encuentren por debajo de 1 ppm. Sin embargo, hay otras especificaciones a nivel de Europa en las que algunos exigen que la suma de los 3MCPD más GE debe ser menor o igual a 1 ppm incluso, menor o igual a 0,5 ppm en aceite de palma RBD. En Estados Unidos la exigencia es que los 3MCPD presenten un rango menor o igual a 0,4 ppm y el GE menor o igual a 0,177 ppm en oleína de palma.

**Figura 7.** Contenido de MOSH y MOAH en aceite de palma crudo



**Tabla 2.** Mínimos y máximos de los parámetros de calidad en el aceite de palma crudo en Colombia

Parámetro de calidad	Mínimo	Máximo	Máximo permitido (2154/2012) - EFSA CONTAM Panel, 2012
AGL (% Ácido palmítico)	2,0	5,0	5 %
Cl (mg·kg <sup>-1</sup> )	----	8,9	< 2
MOSH (mg·kg <sup>-1</sup> )	3,6	89,68	< 10
MOAH (mg·kg <sup>-1</sup> )	0	13,93	< 2
P (mg·kg <sup>-1</sup> )	7,6	37,8	< 10
<b>Metales (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>			
Hierro (Fe)	1,01 ± 0,1	40,34 ± 0,1	5
Cobre (Cu)	0,12 ± 0,3	69,11 ± 0,1	0,4
Plomo (Pb)	0,0021 ± 0,2	1,9 ± 0,4	0,1
Arsénico (As)	0,0011 ± 0,3	0,23 ± 0,5	0,1

Fuente: (Olafisoye *et al.*, 2020)**Tabla 3.** Características del aceite de palma de óptima calidad

Parámetro de calidad	Aceite de palma crudo prémium (Especificaciones)
AGL (% ácido palmítico)	3,0 % máx.
Humedad e impurezas	0,25 % máx.
DOBI	2,80 mín.
Fósforo	10 ppm máx.
Hierro	5 ppm máx.
Cloro	2 ppm máx.
MOSH	< 10 ppm
MOAH	< 2 ppm
3 MCPD*	< 2,5 ppm
EG*	< 1,0 ppm

\* Aceites refinados y producto final

## Prevención y mitigación en planta de beneficio para mejorar la calidad de los aceites

Con respecto al manejo en planta de beneficio de los precursores de los contaminantes presentes en el aceite de palma, es importante tener en cuenta que la recirculación de corrientes dentro del proceso ha demostrado aumentar el contenido de cloro y esto es directamente proporcional al contenido de MCPD en el aceite al someterlo a altas temperaturas. También se ha concluido que los cloruros (Cl<sup>-</sup>) se encuentran en mayor proporción en el licor de prensa de tusa y en la descarga de las centrífugas, al igual, se ha encontrado que en el primero se presenta un DOBI muy disminuido y el contenido de AGL es alto, lo cual implica y está directamente relacionado con la formación de contaminantes. Dentro de las estrategias de mitigación de estos se están buscando una serie de acciones que permitirán evitar la contaminación de los aceites minerales para el caso de MOSH y MOAH,

al igual que la presencia de precursores para el caso de MCPD Y GE, sin embargo, se están trabajando en diferentes acciones o alternativas en plantas de beneficio para así encontrar la mejor estrategia en pro de mejorar la calidad de los aceites de palma.

## Conclusiones

Es responsabilidad de toda la cadena productiva garantizar un aceite de palma colombiano de óptima calidad, trabajando de manera conjunta desde el campo hasta la refinación, pasando por la planta de beneficio. Si se hace de esta manera, se puede llegar a cumplir con los lineamientos exigidos por la normatividad y los compradores, y así evitar barreras comerciales para las ventas tanto del aceite crudo como de los productos terminados.

El aceite de palma contiene una gran cantidad de compuestos menores, los cuales no están siendo aprovechados de una mejor manera, ya sea para dar valor al mismo o para obtener productos de alto valor agregado.

---

## Referencias

- AECOSAN. Agencia Española de Consumo y Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2016). *Aceites Minerales*, 4-7. Recuperado de <http://americanoils.co/es/productos/aceites-minerales-usp.html>
- Barrera, C., Hamner, H. C., Perrine, C. G. & Scanlon, K. S. (2014). National Health and Nutrition Examination Survey. *Encyclopedia of Human Services and Diversity*, 118(3), 464-470. doi: 10.4135/9781483346663.n401
- Bennett, L. L., Rojas, S. & Seefeldt, T. (2012). Role of Antioxidants in the Prevention of Cancer. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 4(4), 215-222. doi: 10.1016/j.jecm.2012.06.001
- Buddhan, S., Sivakumar, R., Dhandapani, N., Ganesan, B. & Anandan, R. (2007). Protective Effect of Detary Squalene Supplementation on Mitochondrial Function in Liver of Aged Rats. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 76(6), 349-355. doi: 10.1016/j.plefa.2007.05.001

- Chang, A. S., Sherazi, S. T. H., Kandhro, A. A., Mahesar, S. A., Chang, F., Shah, S. N., Laghari, Z. H. & Panhwar, T. (2016). Characterization of Palm Fatty Acid Distillate of Different Oil Processing Industries of Pakistan. *Journal of Oleo Science*, 65(11), 897-901. doi:10.5650/jos.ess16073
- 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 Agronómica*, 67(1), 168-176. doi: 10.15446/acag.v67n1.62028
- Chew, C. L., Ab Karim, N. A., Kong, P. S., Tang, S. Y. & Chan, E.-S. (2021). A Sustainable *In situ* Treatment Method to Improve the Quality of Crude Palm Oil by Repurposing Treated Aerobic Liquor. *Food and Bioprocess Technology*. doi: 10.1007/s11947-021-02582-6
- Chew, S. C., Tan, C. H., Pui, L. P., Chong, P. N., Gunasekaran, B. & Lin, N. K. (2019). Encapsulation Technologies: A Tool for Functional Foods Development. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(5s), 154-160.
- Chinenye, C. (2020). Storage Oxidation Stability of Crude Palm Oil with some Traditional Nigerian Spices. *IOSR Journal of Environmental Science*, 14(August), 1-09. doi: 10.9790/2402-1408020109
- Code of Practice for the Reduction of 3-monochloropropane-1,2- diol esters (3-MCPDEs) and Glycidyl Esters (GEs) in Refined Oils and Food Products Made with Refined Oils*, 6 (2019). Recuperado de [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXC%2B79-2019%252FCXC\\_079e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXC%2B79-2019%252FCXC_079e.pdf)
- Dian, N. L. H. M., Hamid, R. A., Kanagaratnam, S., Isa, W. R. A., Hassim, N. A. M., Ismail, N. H., Omar, Z. & Sahri, M. M. (2017). Palm oil and Palm Kernel Oil: Versatile Ingredients for Food Applications. *Journal of Oil Palm Research*, 29(4), 487-511. doi: 10.21894/jopr.2017.00014
- Dutta, A. & Dutta, S. K. (2003). Vitamin E and its Role in the Prevention of Atherosclerosis and Carcinogenesis: A review. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(4), 258-268. doi: 10.1080/07315724.2003.10719302
- Estiasih, T. & Ahmadi, K. (2018). Bioactive Compounds from Palm Fatty Acid Distillate and Crude Palm Oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131(1). doi: 10.1088/1755-1315/131/1/012016
- FAO, OPS, WFP & UNICEF. (2019). Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2019. Hacia entornos alimentarios más saludables que hagan frente a todas las formas de malnutrición. En *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2019*.
- Fedepalma. (2019). *Anuario estadístico 2019. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo*.
- Fedepalma. (2020). *Anuario estadístico 2020. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo*. 238.

- Gesteiro, E., Galera-Gordo, J. & González-Gross, M. (2018). Palm Oil and Cardiovascular Health: Considerations to Evaluate the Literature Critically. *Nutrición Hospitalaria*, 35(5), 1229-1242. doi: 10.20960/nh.1970
- Gonzalez-Díaz, A., García-Núñez, J. A. & Dueñas-Solarte, J. (2019). Índice de yodo: un parámetro determinante para establecer el nivel de mezcla entre aceites de palma crudos (APC) provenientes de cultivares DxP e híbridos OxG--“CxL” (No. 0123-8353 Índice).
- 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  $\alpha$ -tocopherol Supplementation on Oxidative Stress in Healthy Older Adults. *Clinical Nutrition ESPEN*, 21, 1-12. doi: 10.1016/j.clnesp.2017.07.004
- Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B. & Wani, A. A. (2015). Chemistry, Encapsulation, and Health Benefits of  $\beta$ -carotene-A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1-12. doi: 10.1080/23311932.2015.1018696
- Han, N. M. & Choo, M. Y. (2015). Enhancing the Separation and Purification Efficiency of Palm Oil Carotenes Using Supercritical Fluid Chromatography. *Journal of Oil Palm Research*, 27(4), 387-392.
- Hanel, A. & Carlberg, C. (2020). Vitamin D and Evolution: Pharmacologic Implications. *Biochemical Pharmacology*, 173. doi: 10.1016/j.bcp.2019.07.024
- Hew, K. S., Asis, A. J., Tan, T. B., Yusoff, M. M., Lai, O. M., Nehdi, I. A. & Tan, C. P. (2020). Revising Degumming and Bleaching Processes of Palm Oil Refining for the Mitigation of 3-monochloropropane-1,2-diol Esters (3-MCPDE) and Glycidyl Esters (GE) Contents in Refined Palm Oil. *Food Chemistry*, 307, 125545. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125545
- Karmowski, J., Hintze, V., Kschonsek, J., Killenberg, M. & Böhm, V. (2015). Antioxidant Activities of Tocopherols/tocotrienols and Lipophilic Antioxidant Capacity of Wheat, Vegetable Oils, Milk and Milk Cream by Using Photochemiluminescence. *Food Chemistry*, 175, 593-600. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.010
- Koufaki, M. (2016). Vitamin E Derivatives: A patent review (2010 - 2015). *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 26(1), 35-47. doi: 10.1517/13543776.2016.1106476
- Koushki, M., Nahidi, M. & Cheraghali, F. (2015). Physico-Chemical Properties, Fatty Acid Profile and Nutrition in Palm Oil Mohammadreza. *Journal of Paramedical Sciences (JPS)*, 6(3), 117-134. doi: 10.22037/jps.v6i3.9772
- Kushairi, A., Ong-Abdullah, M., Nambiappan, B., Hishamuddin, E., Bidin, M. N. I. Z., Ghazali, R., Subramaniam, V., Sundram, S. & Parveez, G. K. A. (2019). Oil Palm Economic Performance in Malaysia and R&D Progress in 2018. *Journal of Oil Palm Research*, 31(2), 165-194. doi: 10.21894/jopr.2019.0026
- Liochev, S. I. (2013). Reactive Oxygen Species and the Free Radical Theory of Aging. *Free Radical Biology and Medicine*, 60, 1-4. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2013.02.011

- May, C. Y. & Nesaretnam, K. (2014). Research Advancements in Palm Oil Nutrition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(10), 1301-1315. doi: 10.1002/ejlt.201400076
- Mba, O. I., Dumont, M. J. & Ngadi, M. (2015). Palm oil: Processing, Characterization and Utilization in the Food Industry. A review. En *Food Bioscience*, 10, Issue 1, 26-41. doi: 10.1016/j.fbio.2015.01.003
- Md Sarip, M. S., Morad, N. A., Yamashita, Y., Tsuji, T., Yunus, M. A. C., Aziz, M. K. A. & Lam, H. L. (2016). Crude Palm Oil (CPO) Extraction Using Hot Compressed Water (HCW). *Separation and Purification Technology*, 169, 103-112. doi: 10.1016/j.seppur.2016.06.001
- Mozzon, M., Foligni, R. & Tylewicz, U. (2018). Chemical Characteristics and Nutritional Properties of Hybrid Palm Oils. En *Palm Oil* (pp. 149-170). IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.75421
- Mozzon, M., Pacetti, D., Lucci, P., Balzano, M. & Frega, N. G. (2013). Crude Palm Oil from Interspecific Hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*: Fatty Acid Regiodistribution and Molecular Species of Glycerides. *Food Chemistry*, 141(1), 245-252. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.03.016
- Musa, I., Khaza'ai, H., Abdul Mutalib, M. S., Yusuf, F., Sanusi, J. & Chang, S. K. (2017). Effects of Oil Palm Tocotrienol Rich Fraction on the Viability and Morphology of Astrocytes Injured with Glutamate. *Food Bioscience*, 20, 168-177. doi: 10.1016/j.fbio.2017.10.005
- Narayan Bhilwade, H., Tatewaki, N., Nishida, H. & Konishi, T. (2010). Squalene as Novel Food Factor. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11(8), 875-880. doi: 10.2174/138920110793262088
- Nuno M. F. S. A., Cerquera, E. F., Oliveira, D. S., Gesto, D. S.-M., Cátia Moreira, H. N., Moorthy, M. J. R. & Fernandes, P. A. (2016). Cholesterol Biosynthesis: A Mechanistic Overview. *Biochemistry*, 55(39), 5483-5506. doi: 10.1021/acs.biochem.6b00342
- Olafisoye, O. B., Fatoki, O. S., Oguntibeju, O. O. & Osibote, O. A. (2020). Accumulation and Risk Assessment of Metals in Palm Oil Cultivated on Contaminated Oil Palm Plantation Soils. *Toxicology Reports*, 7 (enero), 324-334. doi: 10.1016/j.toxrep.2020.01.016
- 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. doi: 10.1016/j.pharmthera.2015.12.003 Associate Editor: Y. Zhang
- Piernas, C., Méndez, M. A., Ng, S. W., Gordon-Larsen, P. & Popkin, B. M. (2014). Low-calorie- and Calorie-sweetened Beverages: Diet Quality, Food Intake, and Purchase Patterns of US Household Consumers. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99(3), 567-577. doi: 10.3945/ajcn.113.072132
- Prabhu, A. V., Luu, W., Sharpe, L. J. & Brown, A. J. (2016). Cholesterol-mediated Degradation of 7-dehydrocholesterol Reductase Switches the Balance from Cholesterol to Vitamin D Synthesis. *Journal of Biological Chemistry*, 291(16), 8363-8376. doi:10.1074/jbc.M115.699546

- Prasanth Kumar, P. K. & Gopala Krishna, A. G. (2014). Physico-chemical Characteristics and Nutraceutical Distribution of Crude Palm Oil and its Fractions. *Grasas y Aceites*, 65(2). doi: 10.3989/gya.097413
- Qian, C., Decker, E. A., Xiao, H. & McClements, D. J. (2012). Physical and Chemical Stability of  $\beta$ -carotene-enriched Nanoemulsions: Influence of pH, Ionic Strength, Temperature, and Emulsifier type. *Food Chemistry*, 132(3), 1221-1229. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.091
- Ramírez, O. (2004). Híbrido de la palma: una alternativa a la soya. *Revista Palmas*, 25 (Especial Conferencia Internacional, Tomo I, 25), 295-300.
- 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. doi: 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. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.04.035
- Rincón Miranda, S. M. & Martínez Cárdenas, D. M. (2009). An Analysis of the Properties of Oil Palm in the Development of the its Industry. *Revista Palmas*, 30(2), 11-24.
- Rodríguez, J. C., Gómez, D., Pacetti, D., Núnnez, O., Gagliardi, R., Frega, N. G., Ojeda, M. L., Loizzo, M. R., Tundis, R. & Lucci, P. (2016). Effects of the Fruit Ripening Stage on Antioxidant Capacity, Total Phenolics, and Polyphenolic Composition of Crude Palm Oil from Interspecific Hybrid *Elaeis oleifera*  $\times$  *Elaeis guineensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(4), 852-859. doi: 10.1021/acs.jafc.5b04990
- Rubin, L. P., Ross, A. C., Stephensen, C. B., Bohn, T. & Tanumihardjo, S. A. (2017). Metabolic Effects of Inflammation on Vitamin A and Carotenoids in Humans and Animal Models. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 8(2), 197-212. doi: 10.3945/an.116.014167
- Sampaio, K. A., Ayala, J. V., Van Hoed, V., Monteiro, S., Ceriani, R., Verhé, R. & Meirelles, A. J. A. (2017). Impact of Crude Oil Quality on the Refining Conditions and Composition of Nutraceuticals in Refined Palm Oil. *Journal of Food Science*, 82(8), 1842-1850. doi: 10.1111/1750-3841.13805
- Santiago, J. K., Silva, W. C., Capristo, M. F., Ferreira, M. C., Ferrari, R. A., Vicente, E., Meirelles, A. J. A., Ariseto, A. P. & Sampaio, K. A. (2021). Organic, Conventional and Sustainable Palm Oil (RSPO): Formation of 2- and 3-MCPD Esters and Glycidyl Esters and Influence of Aqueous Washing on their Reduction. *Food Research International*, 140, 109998. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109998
- Simpson, S. J., Le Couteur, D. G., Raubenheimer, D., Solon-Biet, S. M., Cooney, G. J., Cogger, V. C. & Fontana, L. (2017). Dietary Protein, Aging and Nutritional Geometry. *Ageing Research Reviews*, 39, 78-86. doi: 10.1016/j.arr.2017.03.001

- Šošić-Jurjević, B., Lütjohann, D., Jarić, I., Miler, M., Vojnović Milutinović, D., Filipović, B., Ajdžanović, V., Renko, K., Wirth, E. K., Janković, S., Köhrle, J. & Milošević, V. (2017). Effects of Age and Soybean Isoflavones on Hepatic Cholesterol Metabolism and Thyroid Hormone Availability in Acyclic Female Rats. *Experimental Gerontology*, 92(October), 74-81. doi: 10.1016/j.exger.2017.03.016
- Springmann, M., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Sulser, T. B., Rayner, M. & Scarborough, P. (2018). Health and Nutritional Aspects of Sustainable Diet Strategies and their Association with Environmental Impacts: a Global Modelling Analysis with Country-Level Detail. *The Lancet Planetary Health*, 2(10), e451-e461. doi: 10.1016/S2542-5196(18)30206-7
- Taylor, P., Craft, B. D., Nagy, K., Sandoz, L. & Destailats, F. (2011). *Food Additives & Contaminants: Part A Factors Impacting the formation of Monochloropropanediol (MCPD) Fatty Acid Diesters During Palm ( Elaeis guineensis ) oil production*. April 2013, 37-41.
- Uddin, M. S., Sarker, M. Z. I., Ferdosh, S., Akanda, M. J. H., Easmin, M. S., Bt Shamsudin, S. H. & Yunus, K. Bin. (2015). Phytosterols and their Extraction from Various Plant Matrices Using Supercritical Carbon Dioxide. A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(7), 1385-1394. doi: 10.1002/jsfa.6833
- Velisek, J., Zelinkova, Z., Novotny, O., Schurek, J. & Hajslova, J. (2011). Occurrence of 3-MCPD Fatty Acid Esters in Human Breast Milk. *Food Additives & Contaminants: Part A*.
- Vicentini, A., Liberatore, L. & Mastrocola, D. (2016). Functional Foods: Trends and Development. *Italian Journal of Food Science*, 28, 338-352.
- Vispute, P., & Dabhade, S. (2018). *Refining of palm oil: A Review on Palm Oil Refining Process, 3-MCPD Esters in Refined Palm Oil, and Possible Reduction Tactics for 3-MCPD Esters*, 11(149), 149-154. doi: 10.15740/HAS/IJAE/11.Sp
- Zerbinati, C. & Iuliano, L. (2017). Cholesterol and Related Sterols Autoxidation. *Free Radical Biology and Medicine*, 111, 151-155. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.04.013
- Zhou, J., Ma, Y., Jia, Y., Pang, M., Cheng, G. & Cai, S. (2019). Phenolic Profiles, Antioxidant Activities and Cytoprotective Effects of Different Phenolic Fractions from Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Fruits Treated by Ultra-high Pressure. *Food Chemistry*, 288 (November 2018), 68-77. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.002
- Zou, Y., Jiang, Y., Yang, T., Hu, P. & Xu, X. (2012). Minor Constituents of Palm Oil: Characterization, Processing, and Application. En *Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses*. AOCS Press. doi: 10.1016/B978-0-9818936-9-3.50019-8