

Efecto del proceso de desodorización a diferentes temperaturas en la pérdida de antioxidantes naturales del aceite de palma híbrido (*Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*).

Effect of the deodorization process at different temperatures on the loss of natural antioxidants in hybrid palm oil (Elaeis guineensis and Elaeis oleifera).

Parrales Hernández, María Fernanda ¹; Espinoza Zambrano, Paulina ²

¹ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Ecuador, Manta, maría.parrales1501@gmail.com

² Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Ecuador, Manta, jeniffer.espinoza@uleam.edu.ec

Resumen: El aceite de palma híbrido (*Elaeis guineensis* × *E. oleifera*) es valioso por su alto contenido de antioxidantes naturales (carotenoides y compuestos de vitamina E), pero los procesos de refinación convencionales pueden degradarlos; por ello se buscan procesos de refinación menos agresivos para preservar su valor nutracéutico. Este estudio comparó la desodorización del aceite a 180 °C y 260 °C, analizando carotenoides, tocoferoles y tocotrienoles mediante espectrofotometría (carotenoides totales) y HPLC (vitamina E). Los resultados muestran que a 180 °C se conservó cerca del 50% de los carotenoides originales y más del 90% de los tocoferoles/tocotrienoles, mientras que a 260 °C se perdieron casi la totalidad (99%) de los carotenoides y más del 40% de los tocoferoles/tocotrienoles. En conclusión, una desodorización a menor temperatura (180 °C) permite conservar mejor estos compuestos bioactivos, favoreciendo el valor nutracéutico del aceite y su estabilidad oxidativa.



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).**

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Palabras clave: Aceite de palma híbrido; desodorización; carotenoides; tocoferoles; tocotrienoles.

Abstract: The hybrid palm oil (*Elaeis guineensis* × *E. oleifera*) is valued for its high content of natural antioxidants (carotenoids and vitamin E compounds), but conventional refining processes can degrade them; therefore, less aggressive refining methods are sought to preserve its nutraceutical value. This study compared the oil's deodorization at 180 °C and 260 °C, analyzing carotenoids, tocopherols, and tocotrienols by spectrophotometry (total carotenoids) and HPLC (vitamin E). The results show that at 180 °C approximately 50% of the original carotenoids and over 90% of the tocopherols/tocotrienols were retained, whereas at 260 °C almost all carotenoids (99%) and more than 40% of the tocopherols/tocotrienols were lost. In conclusion, lower-temperature deodorization (180 °C) better preserves these bioactive compounds, enhancing the oil's nutraceutical value and oxidative stability.

Keywords: Hybrid palm oil; deodorization; carotenoids; tocopherols; tocotrienols

1. Introducción

Los aceites y las grasas cumplen funciones fundamentales tanto en la alimentación como en otros ámbitos de la vida diaria. Desde épocas antiguas, la humanidad ha aprovechado estos compuestos como fuente de energía, alimento y combustible (Mondragón Serna & Baena Santa, 2019). En la actualidad, el aceite de palma se destaca por producir hasta diez veces más aceite por hectárea que otros cultivos oleaginosos (Robins, 2018, 2020, 2021), convirtiéndose en la principal fuente de grasas a nivel mundial gracias a su alta productividad, eficiencia energética y versatilidad (Chamorro, 2023). Históricamente, el cultivo ha enfrentado enfermedades que han limitado su productividad, como la mancha anular, la marchitez sorpresiva, el anillo rojo y, de forma más crítica, la pudrición del cogollo (PC) causada por *Phytophthora palmivora* (Bastidas y otros, 2007). En Ecuador, la PC fue reportada desde 1979 y ha ocasionado la pérdida de aproximadamente 125.000 ha (Agrocalidad y ANCUPA, 2015) (MAG, FEDAPAL, ANCUPA, AEXPALMA, APROGRACEC, AGROPRESICIÓN., 2018). Esta patología afectó severamente a la palma africana (*Elaeis guineensis*) debido a su susceptibilidad genética (Bravo y otros, 2022) y la solución más efectiva ha sido la renovación de plantaciones con híbridos interespecíficos OxG (*E. guineensis* × *E. oleifera*), que incorporan genes de resistencia y mejoran la sostenibilidad productiva (Alvarado y otros, 2023) (Vera T, 2025). Estos híbridos presentan tolerancia a PC y anillo rojo, frutos partenocárpicos y, en algunos casos, rendimientos similares o superiores a *E. guineensis*. El aceite del híbrido muestra mayor contenido de oleína, ácido oleico, carotenoides y tocoles, lo que mejora su perfil de calidad (Rivera Casignia, 2020). De acuerdo con el Codex Alimentarius, puede comercializarse como High Oleic Palm Oil (HOPO), con un mayor porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados y compuestos valiosos como carotenoides (α - y β -caroteno, provitamina A) y vitamina E en forma de tocoferoles y tocotrienoles (de Almeida y otros, 2021).

La oleína roja de palma (RPOL), derivada del aceite crudo del híbrido OxG (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*), ha ganado presencia en el mercado por su alto valor nutricional y perfil saludable de ácidos grasos. Se caracteriza por su elevada proporción de ácido oleico y alto contenido de carotenoides y esteroides, conservando cerca del 80 % de sus compuestos bioactivos gracias a un refinado suave (Mohamad y otros, 2023). Entre estos destacan carotenoides, tocoferoles y tocotrienoles, reconocidos como fuentes naturales de vitaminas A y E (Kannan Punathil & Gundappa Ambale, 2014) (Teh & Lau Nang, 2021). Los α - y β -carotenos aportan capacidad antioxidante, reducen la peroxidación lipídica y mejoran el estado nutricional, siendo el β -caroteno un precursor eficiente de vitamina A, esencial para la visión, el sistema inmune y el crecimiento, previniendo deficiencias graves como ceguera o retraso en el desarrollo infantil (Gurmu y otros, 2014). Aunque los carotenoides son sensibles al calor, oxígeno y luz, presentan actividad antioxidante comparable a la de los tocoferoles y tocotrienoles. La combinación de β -caroteno con α -tocotrienol ha mostrado un efecto sinérgico que mejora la estabilidad oxidativa, posicionando al aceite de palma como una matriz lipídica naturalmente estable frente a la oxidación (Rada-Bula y otros, 2024).

La vitamina E en el aceite de palma híbrido se presenta como tocoferoles y tocotrienoles en isoformas α , β , γ y δ . Los tocoferoles poseen una cadena lateral fitoídica saturada unida a un anillo de cromano, mientras que los tocotrienoles incorporan tres dobles enlaces en su cadena (Puah y otros, 2007). Actúan de forma sinérgica con los

carotenoides, neutralizando radicales libres y especies reactivas de oxígeno mediante la donación de hidrógeno (Peh y otros, 2016). El perfil de tocoles varía según el aceite: en soya y canola predomina el γ -tocoferol; el aceite de girasol contiene más del 93 % de α -tocoferol; y el de palma se distingue por su diversidad y por tener al γ -tocotrienol como principal antioxidante lipofílico, rasgo único frente a otros aceites comestibles (Shahidi & Costa de Camargo, 2016). El α -tocoferol, principal forma vitamínica, es un antioxidante no enzimático clave en membranas celulares, protegiendo ADN y lípidos del daño oxidativo (Miyazawa y otros, 2019) (Godoy-Parejo y otros, 2020). Otras isoformas, como γ -tocoferol, δ -tocoferol y γ -tocotrienol, también destacan; el γ -tocoferol, en particular, neutraliza especies reactivas de nitrógeno, capacidad ausente en el α -tocoferol (Jiang, 2014).

Según la Food and Nutrition Board del Institute of Medicine (2000), solo el α -tocoferol es reconocido como nutriente capaz de cubrir los requerimientos de vitamina E en humanos. Su deficiencia provoca trastornos neuronales como ataxia y daño oxidativo, además de asociarse con enfermedades cardiovasculares, cáncer y cataratas (Azzi, 2019). Niveles séricos cercanos a 30 $\mu\text{mol/L}$ se vinculan con menor mortalidad y beneficios para la salud (Torquato y otros, 2020) (Wright y otros, 2006) (Mangialasche y otros, 2012), pero solo el 21 % de la población mundial alcanza este valor (Eggersdorfer, 2017). Las recomendaciones de ingesta oscilan entre 8 y 15 mg/día, con variaciones en el consumo: 8–10 mg/día en Finlandia, Islandia, Japón y Nueva Zelanda, y 20–25 mg/día en Francia, Grecia y España (Institute of Medicine, 2000) (Food and Agriculture Organization; World Health Organization, 1998), situándose más del 80 % de las poblaciones por debajo de los 15 mg/día recomendados. Por su parte, los tocotrienoles, especialmente α , poseen actividad anticancerígena, efectos neuroprotectores y capacidad para regular el colesterol hepático (Meganathan & Fu, 2016) (Muñoz, 2019). Además, pueden reducir la obesidad al inhibir la adipogénesis y la acumulación de triglicéridos, siendo el γ -tocotrienol el más activo, seguido de δ y α -tocotrienol (Pang & Chin, 2019).

Los tocoles cumplen una doble función: como vitamina esencial y como antioxidantes que protegen las grasas de la oxidación. Solo el α -tocoferol posee alta actividad vitamínica debido a su retención preferente por la proteína de transferencia hepática, mientras que otros isómeros (γ , δ) y los tocotrienoles presentan menor eficacia biológica por diferencias estructurales. Según equivalencias nutricionales, 1 mg de α -tocoferol equivale a 2 mg de β -tocoferol, 10 mg de γ -tocoferol y un tercio de la actividad del α -tocoferol para el α -tocotrienol (Szewczyk y otros, 2021). Los tocotrienoles, gracias a su cadena lateral insaturada, tienen mayor movilidad en las membranas celulares y neutralizan radicales libres con alta eficacia, destacando γ - y δ -tocotrienol por superar al α -tocoferol en sistemas biológicos y aceites vegetales. Sin embargo, durante el refinado del aceite de palma híbrido, especialmente en la etapa de desodorización, la exposición a altas temperaturas y vacío elevado provoca la degradación térmica y el arrastre de antioxidantes naturales, reduciendo notablemente el contenido de carotenoides y tocoles (Cámara Oltra, 2023) (Mozzon y otros, 2020). Se ha estimado que la pérdida de β -caroteno durante el refinado podría ser suficiente para cubrir la necesidad mundial de vitamina A (Mayamol y otros, 2007), lo que evidencia la magnitud del deterioro nutricional. Este deterioro no solo disminuye el valor nutritivo, sino que también afecta la estabilidad oxidativa y la funcionalidad del aceite, limitando su potencial en aplicaciones alimentarias y nutracéuticas. En consecuencia, se ha incrementado el interés por desarrollar métodos de refinación menos agresivos que permitan conservar estos compuestos, empleando temperaturas más bajas, tiempos de

residencia reducidos y un mayor vacío, con el fin de equilibrar la calidad sensorial con la preservación de bioactivos (Szewczyk y otros, 2021).

En este marco, el presente estudio evaluó cómo influye la desodorización a dos temperaturas contrastantes (180 °C y 260 °C) en la pérdida de antioxidantes en un aceite de palma híbrido. Para ello, se analizaron los niveles de tocoferoles, tocotrienoles y carotenos antes y después del tratamiento, utilizando técnicas como HPLC y espectrofotometría. Además, se determinaron parámetros de calidad como el porcentaje de acidez (AGL%), el índice de peróxidos y el DOBI, con el fin de comprender cómo las condiciones del proceso afectan la estabilidad oxidativa y la calidad del aceite. La hipótesis plantea que un tratamiento a menor temperatura (180 °C) permitirá conservar una mayor proporción de antioxidantes en comparación con el refinado convencional a 260 °C, aunque posiblemente con menor eficiencia en la eliminación de compuestos indeseables. Este estudio busca aportar conocimientos que contribuyan a optimizar el refinado del aceite de palma híbrido, favoreciendo la conservación de sus compuestos bioactivos y su aprovechamiento en sectores como la alimentación, la cosmética y la producción de biocombustibles.

2. Materiales y Métodos

2.1. Toma de muestra

Se recolectaron 1L de muestras de aceite de palma híbrido en cada una de las etapas del proceso de refinación: aceite crudo (materia prima), aceite tras el blanqueo y aceite tras la desodorización. La desodorización se realizó a dos temperaturas distintas: 180 °C y 260 °C. Antes de cada tratamiento, se efectuaron análisis de rutina para determinar acidez libre, índice DOBI, Coeficiente de extinción k270-k232, contenido de carotenos y tocoles, con el fin de establecer la calidad inicial de las muestras.

2.2. Proceso de blanqueo y desodorización.

El aceite de palma híbrida se sometió inicialmente a un pretratamiento ácido en una sola etapa integrada. Primero, el aceite crudo se calentó a 50 °C con agitación a fin de garantizar homogeneidad. Posteriormente en mezcladores se adicionó ácido fosfórico al 85 % en una proporción de 0,04 % p/p, con agitación durante 10 min, con el fin de precipitar los fosfolípidos no hidratables y metales asociados (Ca, Mg) en forma de fosfatos insolubles. A continuación, se añadió ácido cítrico al 0,06 % p/p a 60 °C durante 10 min para quelar trazas remanentes de hierro y cobre, estabilizando así el aceite frente a reacciones de oxidación temprana (Barba, 2016).

Acto seguido, el aceite desgomado pasó al reactor con un vacío máximo 50 mbar donde se mezcló con tierra blanqueadora al 0,8 % p/p elevando la temperatura proporcionalmente hasta llegar a los 95°C, etapa en la que inicia el proceso de blanqueo por un tiempo máximo de 30 minutos. Este paso adsorbió pigmentos (carotenoides), gomas residuales, jabones y metales no precipitados, transformando el aceite a un tono más claro. El aceite se filtró a través de un filtro prensa para eliminar la arcilla cargada con impurezas.

Finalmente, la fracción blanqueada paso a un proceso de desodorización, aplicando borboteo a 1.0 mbar, y con una temperatura dependiendo del tipo de ensayo (180 °C o 260 °C), cada uno bajo vacío absoluto (2–2.6 mbar) durante un tiempo de residencia de 22 min por bandeja. Esta etapa eliminó los ácidos grasos libres volátiles, aldehídos,

cetonas y otros compuestos responsables de olores y sabores indeseables, produciendo un aceite RBD neutro en olor y sabor. Posteriormente, las muestras se enfriaron y se recolectaron para sus análisis respectivos.

2.3. Valor de ácidos grasos libres

El análisis de FFA se realizó según el Método Oficial AOCS Ca 5a-40 (AOCS Official Method, 2012). Se pesaron de muestra para el análisis en aceite crudo 10gr y para aceite refinado 50gr, se añadió 50 ml de etanol neutralizado. La solución se tituló con NaOH 1 N para aceite crudo y 0,1 N para aceite refinado, usando fenolftaleína al 1 % como indicador. El final de la titulación fue cuando la mezcla se tornó de color malina estable. El porcentaje de ácido palmítico se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$\%FFA (A. Palmítico) = \frac{V * N * M * 100}{(P * 1000)}$$

Donde:

V= Volumen de Sol. Hidróxido de sodio consumido, ml

N= Normalidad de Sol. Hidróxido Sódico

M= Masa molecular de ácido graso referente

P= Peso de la muestra, gr

2.4. Coeficientes de extinción k₂₃₂-k₂₇₀

En la determinación del coeficiente de extinción K₂₃₂-K₂₇₀ por el método PORIM p.15 (Protocolo oficial del Palm Oil Research Institute of Malaysia) (Council, 2019) se pesaron 0,25 g de aceite de palma en un matraz aforado de 25 ml, se añadió iso-octano hasta el enrase de 25 ml diluyendo la muestra completamente. Tras efectuar la corrección de línea base del espectrofotómetro UV-Vis con solvente en ambos compartimentos, se midieron las absorbancias a 232 nm y 270 nm en una celda de cuarzo de 1 cm; los valores obtenidos se adoptaron como K₂₃₂ y K₂₇₀, los cuales reflejaron la presencia de dienos conjugados (oxidación primaria) para los valores de k₂₃₂ y de compuestos secundarios como trienos, cetonas y aldehídos (oxidación avanzada) para los valores de k₂₇₀, de modo que cifras bajas indican un aceite poco oxidado y de buena calidad, mientras que valores elevados evidencian rancidez avanzada que al procesarse, requiere mayores dosis de blanqueo y temperaturas más altas en la desodorización para eliminar los compuestos oxidativos y asegurar la estabilidad del producto final.

2.5. Índice de deterioro de la capacidad de blanqueo DOBI

La deterioración del índice de Blanqueabilidad (DOBI) es la relación de absorbancia molecular entre pigmentos carotenoides (carotenos) y compuestos de oxidación secundaria (compuestos carbonilos: aldehídos, cetonas). Específicamente se refiere a la relación numérica entre la absorbancia UV del aceite (disuelto en solvente) a 446 nm y su absorbancia a 269 nm. La absorbancia de 446 nm indica el pico de absorción de los carotenos, mientras que a 269 nm es característica de los productos de oxidación secundaria. Este índice es el indicador de la frescura del aceite de palma, del grado de oxidación del aceite y la facilidad de decoloración (Blanqueo) con que puede ser procesado (Zarate Jiménez, 2025). Una alta presencia de carotenos es sinónimo de frescura y de un estado óptimo de madurez del fruto mientras que la alta presencia de compuestos carbonilos indica un aceite muy deteriorado por oxidación, estos

compuestos difícilmente se remueven durante la etapa de blanqueo, mientras que en la desodorización solo los más livianos o volátiles son eliminados.

No existe un parámetro dado por el Codex Alimentarius, pero se considera una herramienta de control interno dentro de las empresas para determinar la frescura del aceite crudo de palma. Un índice <2.30 indica una calidad pobre o deteriorada con altos niveles de oxidación y requiere dosis elevadas de tierra de blanqueo para lograr un color claro en el aceite refinado. Un valor de $2.31-2.92$ se considera un aceite de calidad medio/bueno, rango aceptable en la mayoría de los aceites crudos, que refiere a una cantidad moderada de carotenos y algo de compuestos oxidados. Un DOBI >3 es considerado un aceite crudo de alta calidad, con altos niveles de carotenoides y mínima oxidación, que en el proceso requiere de menos tierras de blanqueo para lograr colores claros fácilmente (Market Intelligence Team, 2021).

El DOBI se determinó por el método de PORIM p2.9 (Kuntom y otros, 2005) mediante un espectrofotómetro UV-Vis. Se pesó 0,25 g de aceite de palma en un matraz aforado de 25 ml, se agregó iso-octano hasta el aforo de 25 ml disolviendo el aceite en el solvente. Se configuró el espectrofotómetro UV-Vis con el blanco y se seleccionó las longitudes de ondas de 446 nm y 269 nm. Se llenó la cubeta de cuarzo de 1cm con las muestras y se procedió a medir la absorbancia. El valor de DOBI es obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$DOBI = \frac{\text{Absorbancia de Carotenos } 446 \text{ nm}}{\text{Absorbancia de Carbonilos } 269 \text{ nm}}$$

2.6. Contenido de Carotenos

El contenido de caroteno en aceite de palma se determinó según el método MPOB p.2.6 (anteriormente PORIM p.2.6) disolviendo 0,10 g de muestra fundida en 25 mL de iso-octano, midiendo la absorbancia a 446 nm en un espectrofotómetro UV-Vis con cubeta de cuarzo de 1 cm. El caroteno del aceite de palma se define y calcula como β -caroteno en partes por millón (ppm) (Sulihatimarsyila y otros, 2020).

2.7. Contenido de vitamina E

El contenido de tocoles se determinó según el método AOCS Ce 8-89, se pesaron 0,5 g del aceite o grasa, se disolvieron en 10 mL de hexano, se filtró la solución a través de una membrana de $0,45 \mu\text{m}$ y se inyectaron $20 \mu\text{L}$ en un equipo de HPLC con columna de sílice (Lichrosorb Si 60, $250 \times 4 \text{ mm}$, $5 \mu\text{m}$); la fase móvil consistió en hexano/acetato de etilo (99,5:0,5 v/v) a un caudal de $1,0 \text{ mL/min}$, la detección se realizó por fluorimetría con excitación a 290 nm y emisión a 330 nm, y la identificación y cuantificación de α -, β -, γ - y δ -tocoferoles y tocotrienoles se efectuó mediante curvas de calibración externas con estándares puros, garantizando así la separación y medida precisa de cada isómero en menos de 30 minutos de corrida cromatográfica (Maija Lampi, 2019)

2.8. Análisis estadístico

Todos los experimentos se llevaron a cabo bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, considerando dos niveles de temperatura de desodorización (180°C y 260°C) y tres etapas del proceso (crudo, blanqueado y refinado-desodorizado). Cada tratamiento se replicó en dos réplicas y los datos se expresaron como medias \pm desviación estándar (DE). Las diferencias entre tratamientos

se evaluaron mediante un análisis de varianza de un factor (ANOVA) seguido de la prueba de Tukey para comparaciones múltiples, con un nivel de significación de $p \leq 0,05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el software Infostat.

3. Resultados

3.1. Parámetros de calidad.

En la Tabla 1 se presentaron los resultados de acidez libre, índice de DOBI y coeficiente de extinción ultravioleta k232 y k270 para el aceite de palma híbrido en sus tres etapas: crudo, blanqueado y refinado a 180°C y a 260°C.

Tabla 1

Acidez, DOBI y coeficiente de extinción ($n=2$, media \pm SD), en aceite de palma híbrido refinado a temperaturas de 180 °C y 260°C

Temperatura °C	Parámetros	CR*	BQ**	RBD***
180	Acidez (% FFA)	3.04 \pm 0.08	3.19 \pm 0.17	2.67 \pm 0.10
	DOBI	2.6 \pm 0.01	2,36 \pm 0.08	1,24 \pm 0.06
	K232	1.83 \pm 0.06	1.47 \pm 0.03	1.69 \pm 0.16
	K270	0.71 \pm 0.05	0.51 \pm 0.11	0.71 \pm 0.11
260	Acidez (% FFA)	3.2 \pm 0.14	3.35 \pm 0.07	0.03 \pm 0.0
	DOBI	2,6 \pm 0.22	2.25 \pm 0.07	0,02 \pm 0.01
	K232	1.67 \pm 0.20	1.47 \pm 0.23	2.12 \pm 0.01
	K270	0.61 \pm 0.11	0.63 \pm 0.21	0.46 \pm 0.02

Nota: Esta tabla resume los promedios de los parámetros de calidad como Crudo (CR*), Blanqueado (BQ**) y Desodorizado (RBD***) a dos temperaturas 180°C y 260°C, se analiza por separado los resultados obtenidos. Fuente: Propia del autor.

En general, se observó que el proceso de refinación redujo significativamente la acidez del aceite. El aceite crudo presentaba la acidez más alta debido al contenido de ácidos grasos libres naturales; tras el proceso de blanqueo la acidez tuvo un ligero incremento dado por los ácidos fosfóricos y cítricos que son añadidos para precipitar los fosfolípidos no hidratables y quelar trazas metálicas. En particular el tratamiento a 260°C logró mayor reducción de acidez, lo cual era lo esperado debido a una desodorización más intensa que volatiliza y elimina los ácidos grasos libres que provocan oles y sabores no agradables al consumidor. El aceite desodorizado a 180°C retuvo una acidez mayor, indicando que a una temperatura menor no removió los ácidos grasos libres con la misma eficacia.

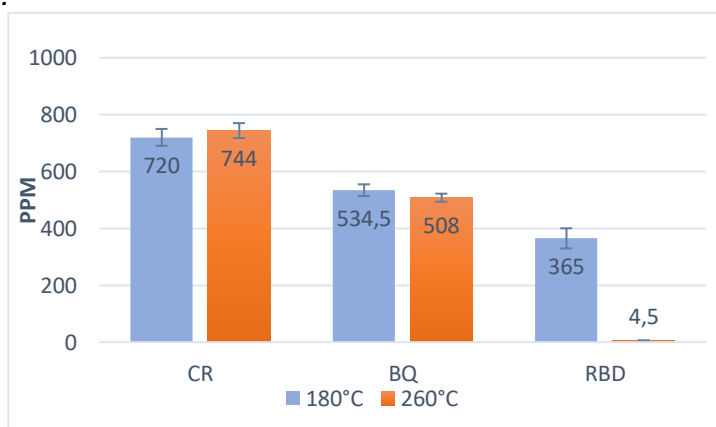
En cuanto al índice de DOBI, el aceite de palma híbrido crudo mostró un alto valor, indicativo del elevado valor de carotenos y baja oxidación que debe tener un aceite fresco, después del blanqueo, el DOBI disminuyó reflejando la pérdida parcial de carotenoides debido al uso de tierra que retienen estos pigmentos en este proceso. Tras la desodorización, se observó que el DOBI del aceite refinado a 260°C cayó a valores muy bajos, evidenciando la casi completa destrucción de los carotenos naturales. En cambio, el aceite refinado a 180°C presentó un DOBI mayor al de 260°C, lo que sugiere que aún retuvo partes de los carotenoides pese al refinado.

Respecto a las absorbancias específicas K232 y K270, la Tabla 1 muestra diferencias importantes según la etapa de proceso y la temperatura. El aceite crudo exhibió valores iniciales moderados de K232 y K270, atribuibles a un grado inicial de oxidación natural. Tras el blanqueo, ambos índices disminuyen ligeramente, probablemente debido a la adsorción parcial de productos oxidativos sobre la tierra activada utilizada en el proceso. Sin embargo, durante la desodorización se observa diferencias claras en función de la temperatura: mientras que a 180°C los índices permanecieron estables o mostraron ligero aumento, la desodorización a 260°C resultó en un incremento significativo del índice de K232, lo que indica un aumento en la formación de compuestos de oxidación primario generados probablemente por el estrés térmico aplicado. En contraste, con el índice K270 de oxidación secundaria que disminuyó ligeramente, posiblemente fueron volatilizados y eliminados por las altas temperaturas. Por tanto, estos resultados reflejan que una desodorización a temperaturas mayores es efectiva para eliminar ciertos compuestos de oxidación secundaria pero que también pueden inducir a la oxidación primaria del aceite, comprometiendo en cierta medida su estabilidad a futuro.

3.2. Contenido de carotenoides.

Figura 1

Contenido de carotenos por proceso y tratamiento térmico a 180°C y 260°C.



Nota: Esta figura resume el contenido de carotenoides del aceite de palma híbrido en tres etapas del proceso: Crudo (CR), Blanqueado (BQ) y Refinado, Blanqueado y Desodorizado (RBD) a temperaturas de 180 °C y 260 °C. Fuente: Datos propios del autor.

La figura 1 ilustra la evolución del contenido de carotenoides del aceite a lo largo del proceso para ambas temperaturas de desodorización. El aceite híbrido crudo inicio con un alto contenido de carotenos, responsable de la coloración rojiza del aceite. Tras el blanqueo, el contenido de carotenos disminuye entre un 25-30%, debido a la remoción de los pigmentos por la adsorción de las arcillas o tierras blanqueadoras. Sin embargo, la caída más dramática fue durante la etapa de desodorización, especialmente a la temperatura de 260°C, el contenido de carotenos fue de 4.5ppm \pm 2.1, perdiendo el 99% de los carotenos presente en el aceite crudo, quedando un aceite de color amarillo muy claro. En contraste, bajo desodorización a 180°C se logró retener una fracción significativa de los carotenoides de 365 ppm representando el 50% de su contenido inicial. La figura 1 muestra claramente que el aumento de la temperatura intensifica la

pérdida de carotenos, mientras que a 180 °C se preservan en buena medida, concordando con la elevación del DOBI mencionada anteriormente para este tratamiento más suave.

3.3. Contenido de Tocoferoles

En la Tabla 2 se resumen las concentraciones de tocoferoles (α -tocoferol, γ -tocoferol y δ -tocoferol) en el aceite de palma híbrido crudo y en las etapas posteriores de blanqueado y a refinado 180 °C y 260 °C. En el aceite crudo, el α -tocoferol fue el isómero predominante, seguido del γ -tocoferol, mientras que el δ -tocoferol se encontró en menor proporción después de un proceso de refinación del aceite. El α -tocoferol fue el tocoferol predominante, con 161–164 mg/kg en el aceite crudo. Durante el proceso a 180 °C, la concentración de α -tocoferol se mantuvo prácticamente constante, existe pequeña diferencia numérica que se atribuye al ruido o error del método analítico pero que no refleja significancia. En cambio, a 260 °C se observó una ligera disminución tras la desodorización: el α -tocoferol pasó de 164.1 mg/kg en crudo a 133.4 mg/kg en el aceite RBD. Esta reducción fue estadísticamente significativa respecto al RBD obtenido a 180 °C, evidenciando que la alta temperatura propició la pérdida de α -tocoferol en la etapa final.

El γ -tocoferol, presente en concentraciones mucho menores (8–11 mg/kg en crudo), no evidenció cambios significativos debidos al proceso. A 180 °C disminuyó ligeramente de en el aceite refinado, mientras que a 260 °C se mantuvo estable. Estas variaciones no fueron estadísticamente significativas, por lo que se considera que el contenido de γ -tocoferol permaneció esencialmente estable a lo largo de ambos tratamientos.

El δ -tocoferol inicial del aceite crudo (38.3 mg/kg a 180 °C; 48.5 mg/kg a 260 °C) resultó ser el más susceptible durante el refinado. Tras el blanqueo, su concentración cayó significativamente, especialmente a 260 °C, y la desodorización acentuó esta pérdida. En el proceso a 180 °C, el δ -tocoferol disminuyó de 38.3 mg/kg en crudo a solo 2.0 mg/kg en el aceite RBD, representando una reducción de 95% de su contenido. A 260 °C, la pérdida fue completa: de 48.5 mg/kg en crudo se redujo a 0.0 mg/kg en el aceite desodorizado, indicando que el δ -tocoferol fue totalmente destruido o eliminado durante el proceso a alta temperatura. Cabe señalar que la mayor caída de δ -tocoferol ocurrió ya en la etapa de blanqueo, posiblemente debido a la adsorción en tierras o a una alta susceptibilidad a temperaturas por arriba de 95 °C. El análisis estadístico confirmó que en el aceite RBD las diferencias entre temperaturas fueron significativas para α tocoferol, mientras que para δ -tocoferol su deferencia significativa está se marca desde el proceso de blanqueo para ambas temperaturas de desodorización; para γ -tocoferol no hubo diferencias detectables (Tabla 2).

3.4. Contenido de tocotrienoles

El aceite de palma híbrido presentó también cantidades sustanciales de tocotrienoles (α , γ y δ), isómeros de vitamina E conocidos por su alta actividad antioxidante (Tabla 3). En el α -tocotrienol, que partía de 187–191 mg/kg en el aceite crudo, el proceso de refinación a 180 °C no produjo cambios significativos, el contenido permaneció estable alrededor de 186 mg/kg tanto en el aceite blanqueado como en el refinado, indicando una excelente retención. En contraste, a 260 °C sí se observó una disminución en la etapa de desodorización, el α -tocotrienol cayó de 187.7 mg/kg (crudo) a 147.9 mg/kg en

el aceite RBD. Este valor fue significativamente menor que los obtenidos en las etapas previas a 260 °C y también más bajo que el equivalente a 180 °C. En consecuencia, el aceite desodorizado a alta temperatura perdió aproximadamente un 21% del α -tocotrienol original, mientras que a 180 °C la pérdida de este isómero fue despreciable.

El γ -tocotrienol fue el tocol mayoritario en el aceite crudo (370–381 mg/kg) de palma híbrida y mostró una respuesta diferencial marcada al tratamiento térmico. Con desodorización a 180 °C, hubo una reducción modesta pero significativa: de 370.4 mg/kg en el aceite crudo a 352.9 mg/kg en el aceite refinado (5% de disminución). De hecho, a 180 °C se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las tres etapas (letras a, b, c en Tabla 3). Esto sugiere que parte del γ -tocotrienol pudo haberse perdido durante el blanqueo, seguido de una posible concentración relativa ligera en la desodorización a baja T (por evaporación de otros componentes). No obstante, la retención global de γ -tocotrienol a 180 °C fue elevada (más del 95% del inicial). En cambio, bajo la desodorización a 260 °C, la pérdida de γ -tocotrienol fue mucho más pronunciada, el contenido cayó de 381.4 mg/kg en el crudo a 214.4 mg/kg en el aceite refinado, lo que equivale a una merma aproximada del 44%. Esta diferencia fue significativa tanto respecto al valor inicial como en comparación con el RBD a 180 °C. En resumen, el aceite desodorizado a 180 °C conservó la mayor parte del γ -tocotrienol, mientras que el desodorizado a 260 °C sufrió pérdidas sustanciales de este nutriente.

El δ -tocotrienol, presente en menor proporción (45–51 mg/kg en el aceite crudo), también mostró alta sensibilidad a las condiciones de proceso. A 180 °C se observó una leve disminución tras pasar por el proceso de blanqueo y desodorización. Las diferencias numéricas fueron pequeñas (5% de reducción) aunque estadísticamente, el aceite crudo presentó un contenido algo mayor que los aceites blanqueados/refinado. Por consiguiente, la retención de δ -tocotrienol a 180 °C fue elevada reteniendo el 95%. En contraste, a 260 °C las pérdidas fueron importantes, del valor inicial de 51.1 mg/kg, el δ -tocotrienol disminuyó a 23.2 mg/kg en el aceite refinado, reteniéndose solo cerca del 45% del contenido original.

El aceite RBD a 260 °C presentó un δ -tocotrienol significativamente menor que el obtenido a 180 °C, confirmando la influencia negativa de la temperatura elevada. Adicionalmente, dentro del tratamiento a 260 °C, el δ -tocotrienol del aceite refinado fue significativamente inferior al del crudo (a vs. b horizontalmente), mientras que no difirió del aceite blanqueado (ambos compartiendo letra b, Tabla 3), sugiriendo que la mayor pérdida ocurrió durante el blanqueo/adsorción térmica. En síntesis, los tocotrienoles totales se conservaron en buena medida con la desodorización a 180 °C (sin cambios mayores en α -, retención >95% en γ - y δ -tocotrienol), mientras que la desodorización a 260 °C conllevó disminuciones significativas especialmente en γ - y δ -tocotrienol (pérdidas del 40–55%). Estas diferencias evidencian nuevamente que un proceso de refinación más suave (180 °C) permite preservar mejor los antioxidantes naturales del aceite de palma híbrido, en comparación con el proceso convencional a 260 °C que causa reducciones importantes en estos compuestos (Tabla 3).

Tabla 2

Contenido de tocoferoles ($n=2$, media \pm SD), en aceite de palma hibrido refinado a temperaturas de 180 °C y 260°C.

Temperatura (°C)	α -tocoferol (mg/kg)			γ -tocoferol (mg/Kg)			δ -tocoferol (mg/kg)		
	CR*	BQ**	RBD**	CR*	BQ**	RBD***	CR*	BQ**	RBD**
180	161.2 \pm 1.6 Aa	158 \pm 0.9 Aa	162.6 \pm 0.8 Aa	10.7 \pm 8.3 Aa	8.9 \pm 5.0 Aa	6.0 \pm 1.3 Aa	38.3 \pm 10.8 Aa	16.3 \pm 3.7 Aab	2.0 \pm 2.83Ab
260	164.1 \pm 6.0 Aa	150.4 \pm 2.8 Aa	133.4 \pm 12.9 Ba	7.6 \pm 0.7 Aa	7.6 \pm 0.4 Aa	7.1 \pm 1.0 Aa	48.5 \pm 0.71 Aa	8.9 \pm 10.7 Ab	0 Ab

Nota: Letras diferentes indican que existe diferencia significativa entre tratamientos ($p<0.05$)

Letras mayúsculas indican diferencias de forma vertical

Letras minúsculas indican diferencias de forma horizontal

*CR: Aceite Crudo

**BQ: Aceite Blanqueado

***RBD: Aceite Refinado-Blanqueado-Desodorizado

Tabla 3

Contenido de tocotrienoles ($n=2$, media \pm SD), en aceite de palma hibrido refinado a temperaturas de 180 °C y 260°C.

Temperatura (°C)	α -tocotrienol (mg/kg)			γ -tocotrienol (mg/Kg)			δ -tocotrienol (mg/kg)		
	CR*	BQ**	RBD***	CR*	BQ**	RBD***	CR*	BQ**	RBD***
180	191.3 \pm 9.1 Aa	177.5 \pm 17.8 Aa	186.2 \pm 8.4 Aa	370.4 \pm 1.0 Aa	332.7 \pm 3.5 Ab	352.9 \pm 3.6 Ac	45.5 \pm 0.1 Aa	41.5 \pm 0.6 Ab	43.1 \pm 0.1 Ab
260	187.7 \pm 7.1 Aa	185.1 \pm 1.3 Aa	147.9 \pm 12.0 Ab	381.4 \pm 15.9 Aa	343.1 \pm 3.3 Aa	214.4 \pm 4.5 Bb	51.1 \pm 7.0 Aa	30.9 \pm 1.1 Bb	23.2 \pm 0.4 Bb

Nota: Letras diferentes indican que existe diferencia significativa entre tratamientos ($p<0.05$)

Letras mayúsculas indican diferencias de forma vertical

Letras minúsculas indican diferencias de forma horizontal

*CR: Aceite Crudo

**BQ: Aceite Blanqueado

***RBD: Aceite Refinado-Blanqueado-Desodorizado

4. Discusión

Los resultados obtenidos muestran claramente que la temperatura de desodorización ejerce un efecto crítico sobre la conservación de los antioxidantes naturales (carotenoides y vitamina E) en el aceite de palma híbrido. La desodorización convencional a 260 °C prácticamente eliminó los carotenos y aproximadamente el 40% de los tocoles, mientras que a 180 °C se logró preservar aproximadamente el 50% de los carotenos y casi la totalidad de los tocoferoles y tocotrienoles. Este hallazgo concuerda con estudios recientes sobre refinado de aceites ricos en carotenoides, donde se reporta que los procesos estándar ocasionan pérdidas masivas de pigmentos provitamina A. Por ejemplo, durante el refinado físico de aceite de palma a altas temperaturas se destruye entre un 71% y 98% de los carotenoides, quedando solo un 2–29% en el aceite RBD (Moreira y otros, 2024) (Cámara Oltra, 2023). De forma similar, un estudio a escala piloto de refinación física de aceite de palma demostró que al aplicar una temperatura de 160 °C durante la etapa de desodorización se obtenía un aceite refinado con cerca de 986 ppm de carotenoides, que representan el 70% de retención, y 1075 ppm de vitamina E lo que significó una conservación de esta vitamina en su totalidad (Nur Sulihatmarsylla y otros, 2020). Datos similares se obtuvieron en este estudio en el aceite refinado a 180°C que conservó 365 ppm (50%) de carotenoides y retuvo el 92% de los tocoferoles y tocotrienoles.

Además de la conservación del color y provitamina, un refinado a menor temperatura conlleva la protección de la vitamina E natural del aceite. En este estudio, la retención de tocoferoles y tocotrienoles fue notablemente mayor a 180 °C que a 260 °C. Aunque los tocoferoles (especialmente α - y γ -) mostraron bastante estabilidad incluso a alta temperatura (pérdidas relativamente moderadas), sí se evidenciaron disminuciones significativas en α -tocoferol (19%) y pérdidas prácticamente totales de δ -tocoferol en ambas temperaturas a 180°C y 260°C. Los tocotrienoles resultaron más sensibles, el γ - y δ -tocotrienol sufrieron reducciones del 40–55% a 260 °C, frente a caídas <5–10% a 180 °C. Este comportamiento indica que α - y γ -tocoferol poseen una estabilidad térmica relativamente mayor bajo estas condiciones, en tanto que las formas menos sustituidas (δ -tocoferol y tocotrienoles) son más susceptibles al estrés térmico intenso. Estudios previos han reportado que la resistencia de cada isómero de vitamina E depende de su estructura; por ejemplo, en presencia de oxígeno el α -tocoferol tiende a consumirse primero por su alta actividad antirradicalaria, mientras que δ -tocoferol presenta menor reactividad y se degrada más lentamente (Kmieciak y otros, 2019). Sin embargo, en un ambiente inerte como el empleado en este estudio bajo condiciones de vacío (ausencia de oxígeno), la pérdida de tocoferoles parece estar dominada por factores físicos y termodinámicos (volatilidad y estabilidad intrínseca), lo cual explicaría la mayor retención de α - y γ -tocoferol frente al δ -tocoferol y tocotrienoles a 260 °C. Este hallazgo sugiere que la pérdida de tocoferoles en nuestro estudio obedece a una combinación de volatilización física y degradación térmica.

La pérdida acelerada de antioxidantes en la desodorización a 260 °C se reflejó directamente en el aumento significativo del coeficiente de extensión K_{232} , indicador claro del incremento de la oxidación primaria. Esto es consistente con la función protectora de los tocoferoles y tocotrienoles, cuya disminución compromete la capacidad antioxidante del aceite, acelerando su deterioro oxidativo (Szewczyk y otros, 2021). Desde el punto de vista biológico, preservar estos antioxidantes no solo garantiza mayor

estabilidad del aceite refinado, sino que también conserva propiedades bioactivas importantes para la salud humana, incluyendo actividades anticancerígenas, cardiovasculares (Meganathan & Fu, 2016), neuroprotectoras, regulación del colesterol en el hígado mediante enzimas específicas (Muñoz, 2019), reducción de la obesidad (Pang & Chin, 2019) y antitumorales documentadas (Szewczyk y otros, 2021). Por lo tanto, la desodorización a temperaturas más suaves, como 180 °C, emerge como una estrategia recomendable para obtener aceites funcionales con mayor estabilidad y valor nutracéutico.

En síntesis, existe una discrepancia notable entre la percepción del consumidor y el verdadero valor nutricional del aceite. Es común asociar un color más claro del aceite con mayor pureza o calidad, pero esta percepción resulta engañosa. De hecho, la apariencia límpida suele ser consecuencia de procesos de refinado agresivos, como la desodorización a temperaturas elevadas >240°C que eliminan la mayoría de los pigmentos carotenoides y reducen sustancialmente el contenido de compuestos benéficos (tocoferoles y tocotrienoles) como se ha demostrado en este estudio. En contraste, los aceites de tonalidad más oscura o mínimamente refinados retienen concentraciones mucho mayores de estos bioactivos, incluyendo carotenoides y formas de vitamina E, lo que se traduce en mejor estabilidad oxidativa. Estudios recientes en aceite de palma híbrido y otros aceites vegetales respaldan que una mayor presencia de antioxidantes naturales mejora la resistencia a la oxidación del aceite y redundan en beneficios para la salud humana, como un aporte significativo de provitamina A, elevada actividad antioxidante e incluso efectos neuroprotectores. Por ejemplo, Nur Sulihatimarsylla y otros (2020) demostraron que el uso de condiciones de refinado más suaves (160 °C) permite conservar alrededor del 70% de los carotenoides y prácticamente la totalidad de la vitamina E en el aceite. En consecuencia, la preferencia del consumidor por aceites de apariencia clara podría llevar a subestimar la calidad nutricional de aceites menos refinados, los cuales en realidad poseen un perfil antioxidante superior y mayores beneficios potenciales para la salud.

5. Conclusiones

En conclusión, el estudio demuestra que el proceso de desodorización a diferentes temperaturas (180 °C y 260 °C) ejerce un efecto notable sobre la retención de antioxidantes naturales en el aceite de palma híbrido; mientras que el tratamiento convencional a 260 °C ocasiona la eliminación casi total de carotenos y tocoles, el refinado suave a 180 °C permite conservar una fracción significativa de estos compuestos bioactivos. Sin embargo, la sensibilidad de los antioxidantes no depende únicamente de la temperatura, sino también de variables operativas determinantes como el tiempo de residencia en la torre de desodorización, tipo y dosis de tierras de blanqueo, condiciones de borboteo de vapor, nivel de vacío absoluto y entre otras variables que deben optimizarse de manera conjunta para maximizar la retención de micronutrientes. En el caso de los isómeros de vitamina E, sus resultados son muy variados y depende mucho de las condiciones de proceso, en este sentido, estudios previos como el de Kmiecik, Fedko, Siger, & Kulcznski, (2019) han evidenciado que, en presencia de oxígeno, los δ -tocoferoles muestran mayor resistencia térmica, lo cual no sucede en este estudio ya que son los de mayor susceptibilidad. Estos hallazgos aportan un marco científico para redefinir las prácticas industriales de refinación del aceite de palma híbrido, apuntando a la implementación de procesos más suaves y controlados

que conserven su valor nutracéutico. Como futuras líneas de investigación se recomienda evaluar de forma sistemática el efecto combinado de presión, duración de la desodorización y formulaciones de tierras adsorbentes sobre la estabilidad de carotenoides y tocoferoles/tocotrienoles, con el objetivo de desarrollar métodos de refinación más eficientes y sostenibles que potencien el aprovechamiento de este recurso clave en las industrias alimentaria, cosmética y energética.

Bibliografía

- Agrocalidad y ANCUPA. (2015). *Resultados del Informe censo de plantaciones de palma aceitera afectadas por la Pudrición del cogollo en la provincia de Esmeraldas (memoria técnica)*. Agrocalidad y ANCUPA, San Lorenzo, Ecuador.
- Alvarado, A., Escobar, R., & Henry, J. (2023). El híbrido OxG Amazon: una. *Palmas*, 305-314. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10689>
- AOSC Official Method. (2012). *AOSC Official Method Ca 5a-40. Fatty Acids in Crude and Refined Fats and Oils* (6 ed.).
- Azzi, A. (2019). Tocopherols, tocotrienols and tocomonoenols: Many similar molecules but only one vitamin E. *Redox Biology*, 26, 101259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101259>
- Barba, S. (2016). *Incidencias de la calidad del aceite en el proceso de desodorización*. GREPALMA. II congreso palmero c//pal. <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/AI-M1.-EE3-INCIDENCIAS-DE-LA-CALIDAD-DEL-ACEITE-EN-PROCESO-DESODORIZACION-Samuel-Barba.pdf#:~:text=%E2%80%A2%20En%20general%2C%20es%20mejor,DOBI%20y%20Tipo%20de%20Adsorbente>
- Bastidas, S., Peña, E., Reyes, R., Pérez, J., & Tolosa, W. (2007). Comportamiento agronómico del cultivar híbrido RC1 de Palma de aceite (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) x *Elaeis guineensis*. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 5-11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5624572>
- Bravo, V., Solórzano, O., Calixto, B., & Bastidas, J. (2022). Aplicación de polen y ácido α -naftalenacético en híbrido OxG en Ecuador. ¿Polinizar sin mezclarlos genera beneficios?*. *Palmas*, 43(1), 10-20. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13736/13482>
- Cámara Oltra, S. (2023). El aceite de palma y su repercusión en la salud cardiovascular. . *Trabajo de fin de Grado*. Universidad de Alicante. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/134693/1/EL_ACEITE_DE_PALMA_Y_SU_REPERCUSION_EN_LA_SALUD_CARDIOVA_Camara_Oltra_Sheyla.pdf
- Chamorro, C. (2023). La expansión de la palma aceitera en Ecuador desde la revolución verde, 1961-2021. *Historia agraria: Revista de agricultura e historia rura*(91), 191-221. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9207539>

- Council, I. O. (2019). *METHOD OF ANALYSIS SPECTROPHOTOMETRIC INVESTIGATION IN THE ULTRAVIOLET*. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/Method-COI-T.20-Doc.-No-19-Rev.-5-2019-2.pdf#:~:text=state%20of%20preservation%20and%20changes,extinction>
- de Almeida, E., da Silva Damaceno, D., Carvalho, L., Araújo, P., Menezes dos Passos, R., de Almeida Pontes, P., . . . Monteiro, S. (2021). Thermal and Physical Properties of Crude Palm Oil with Higher Oleic Content. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11157094>
- Eggersdorfer, M. (2017). L-5 - Global vitamin status – perspectives for nutrition. *Free Radical Biology and Medicine*, 108, S2. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.04.358>
- Food and Agriculture Organization; World Health Organization. (1998). Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition, 2nd ed. *WHO: Geneva, Switzerland*, 1-20.
- Godoy-Parejo, C., Deng, C., Zhang, Y., Liu, W., & Chen, G. (2020). Roles of vitamins in stem cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*(77), 1771-1791. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00018-019-03352-6>
- Gurmu, F., Hussein, S., & Laing, M. (2014). The Potential of Orange-Fleshed Sweet Potato to Prevent Vitamin A Deficiency in Africa. *Int. J. Vit. Nutr.*, 84(1-2), 65-78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000194>
- Institute of Medicine. (2000). *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. Washington, DC, USA: The National Academies. <https://doi.org/https://doi.org/10.17226/9810>
- Jiang, Q. (2014). Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities and their role in disease prevention and therapy. *Free Radical Biology and Medicine*, 72, 76-90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2014.03.035>
- Kannan Punathil, P. K., & Gundappa Ambale, K. G. (2014). Impact of Different Deacidification Methods on Quality Characteristics and Composition of Olein and Stearin in Crude Red Palm Oil. *Journal of Oleo Science*, 63, 1209-1221. <https://doi.org/https://doi.org/10.5650/jos.ess14060>
- Kmiecik, D., Fedko, M., Siger, A., & Kulcznski, B. (2019). Degradation of Tocopherol Molecules and Its Impact on the Polymerization of Triacylglycerols during Heat Treatment of Oil. *Molecules*, 24(24), 4555. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules24244555>
- Kuntom, A., Idris, A., Ibrahim, A., Sue, T., Lin, W., & Ai, Y. (2005). MPOB Test Methods : A compendium of test on palm oil products, palm kernel products, fatty acids, food related products and others. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/80291>
- MAG, FEDAPAL, ANCUPA, AEXPALMA, APROGRACEC, AGROPRESICIÓN. (2018). *Memoria Técnica Inventario de Plantaciones de Palma Aceitera en el Ecuador*. Quito, Ecuador.

- Maija Lampi, A. (2019). Analysis of Tocopherols and Tocotrienols by HPLC. *American Oil Chemists' Society*. <https://www.aocs.org/resource/analysis-of-tocopherols-and-tocotrienols-by-hplc/>
- Mangialasche, F., Xu, W., Kivipelto, M., Costanzi, E., Ercolani, S., Pigliautile, M., . . . Consortium, A. (2012). Tocopherols and tocotrienols plasma levels are associated with cognitive impairment. *Neurobiology of Aging*, 33(10), 2282-2290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2011.11.019>
- Market Intelligence Team. (2021). 2020 Industry Report: Palm Oil. https://cdn.tridge.com/market_report_report/37/cc/19/37cc195af94e72f4d677ac2641a72e48177eedf5/210209_Palm_Oil_Report_1.pdf#:~:text=bleaching,3.24%20DOBI
- Mayamol, P., Balachandra, C., Samuel, T., Sundaresan, A., & Arumughan, C. (2007). Process Technology for the Production of Micronutrient Rich Red Palm Olein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(6), 587-596. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11746-007-1078-9>
- Meganathan, P., & Fu, Y. J. (2016). Biological Properties of Tocotrienols: Evidence in Human Studies. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(11), 1682. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms17111682>
- Miyazawa, T., Burdeos, G., Itaya, M., Nakagawa, K., & Miyazawa, T. (2019). Vitamin E: Regulatory Redox Interactions. *IUBMB Life*, 71, 430-441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/iub.2008>
- Mohamad, S. N., Sanny, M., Karim, A. N., Kuppan, K., Yahaya, N., & Mat Yusoff, M. (2023). Antioxidant capacity of value-added sandwich cookie creams based on red palm olein during storage. *Grasas y Aceites*, 74(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/gya.0909212>
- Mondragón Serna, A., & Baena Santa, M. (2019). De mitos a realidades del aceite de palma en la nutrición. *Palmas*, 40(2), 223-227. <https://doi.org/https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12840/12726>
- Moreira, A., Braga Alves, A., Ferreira da Silva, E., Doring Krumreich, F., Larroza, I., & Ferreira Ribeiro, C. (2024). Perception, Knowledge, and Consumption Potential of Crude and Refined Palm Oil in Brazilian Regions. *Foods*, 13(18), 2923. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13182923>
- Mozzon, M., Foligni, R., & Mannozi, C. (2020). Current Knowledge on Interspecific Hybrid Palm Oils as Food and Food Ingredient. *Foods*, 9(5), 631. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9050631>
- Muñoz, J. (2019). El aceite híbrido Sioma® - Características y aplicaciones. *Palmas*, 40(2), 145-153. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13097/12911>
- Nur Sulihatimarsylla, A., Lau, H., Nabilah, K., & Nur Azreena, I. (2020). Production of refined red palm-pressed fibre oil from physical refining pilot plant. *Case Studies in*

- Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100035.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100035>
- Pang, K.-L., & Chin, K.-Y. (2019). The Role of Tocotrienol in Protecting Against Metabolic Diseases. *Molecules*, 24(5), 923.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules24050923>
- Peh, H. Y., Tan, D. W., Wupeng, L., & Wong, F. W. (2016). Vitamin E therapy beyond cancer: Tocopherol versus tocotrienol. *Pharmacology & Therapeutics*, 162, 152-169.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.12.003>
- Puah, C., Choo, Y., Ma, A., & Chuah, C. (2007). The Effect of Physical Refining on Palm Vitamin E (Tocopherol, Tocotrienol and Tocomonoenol). *American Journal of Applied Sciences*, 4(6), 374-377. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2007.374.377>
- Rada-Bula, A., Iqbal-Sandoval, M., Gonzalez-Diaz, A., Mondragón-Serna, A., Baena-Santa, M., Garcia-Nuñez, J., . . . Díaz-Moreno, C. (2024). Compositional characteristics and shelf life of interspecific hybrid palm oil (E. oleifera×E. guineensis). *Food Packaging and Shelf Life*, 42.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101240>
- Rivera Casignia, Á. M. (2020). Pruebas de patogenicidad en palma africana material guineensis (Elaeis guinnensis Jacq) e híbrido Coari x la Mé (Elaeioleífera x Elaeis guinnensis) en San Lorenzo, provincia de Esmeraldas.
<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/d5777a63-3591-400f-8355-d4fc602a6c9f/content>
- Robins, J. (2018). Oil Boom: Agriculture, Chemistry, and the Rise of Global Plant Fat Industries, ca 1850-1920. *Journal of World History*, 29(3), 313-334.
- Robins, J. (2020). Shallow Roots: The Early Oil Palm Industry in Southeast Asia, 1848-1940. *Journal of Southeast Asian Studies*, 51(4), 538-560.
- Robins, J. (2021). Oil Palm: A Global History. Chapel Hill: The University of North Carolina Press.
- Shahidi, F., & Costa de Camargo, A. (2016). Tocopherols and Tocotrienols in Common and Emerging Dietary Sources: Occurrence, Applications, and Health Benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10), 1745.
<https://doi.org/10.3390/ijms17101745>
- Sulihatimarsyila, A., Lau, A., Nabilah, K., & Azreena, I. (2020). Production of refined red palm-pressed fibre oil from physical refining pilot plant. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100035.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100035>
- Szewczyk, K., Chojnacka, A., & Górnicka, M. (2021). Tocopherols and Tocotrienols—Bioactive Dietary Compounds; What Is Certain, What Is Doubt? *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12), 6222.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms22126222>

- Teh, S. S., & Lau Nang, L. H. (2021). Quality assessment of refined red palm-pressed mesocarp olein. *Food Chemistry*, 340, 127912. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127912>
- Torquato, P., Marinelli, R., Bartolini, D., & Galli, F. (2020). Vitamin E: Nutritional aspects. *In Molecular Nutrition*, 447-485. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811907-5.00019-1>
- Vera T, E. (2025). Determinación de las características agronómicas de dos híbridos de palma aceitera y su influencia en el rendimiento. Babahoyo, Ecuador. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/17874/E-UTB-FACIAG-AGRON-000196.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wright, M., Lawson, K., Weinstein, S., Pietinen, P., Taylor, P., Virtamo, J., & Albanes, D. (2006). Higher baseline serum concentrations of vitamin E are associated with lower total and cause-specific mortality in the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 84(15), 1200-1207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/84.5.1200>
- Zarate Jiménez, J. (2025). Nota técnica 3. Parámetros claves en la calidad del aceite de palma: del campo a la planta. Índice DOBI – La relación entre la oxidación y la pureza del aceite. FEDEPALMA. <https://elpalmicultor.com/dobi-relacion-oxidacion-pureza-aceite/#:~:text=fundamental%20que%20refleja%20la%20relaci%C3%B3n,ser%20decolorado%20durante%20el%20refinamiento>