

Efectos de diferentes condiciones de almacenamiento en la estabilidad oxidativa del aceite de palma crudo y refinado, y la estearina y oleína de palma refinadas (*Elaeis guineensis*)*

Effects of Different Storage Conditions on the Oxidative Stability of Crude and Refined Palm Oil, Olein and Stearin (*Elaeis guineensis*)

CITACIÓN: De Almeida-T., D., Viana-V., T., Costa-M., M., Silva-de S., C. & Feitosa, S. (2019). Efectos de diferentes condiciones de almacenamiento sobre la estabilidad oxidativa de aceite de palma crudo y refinado, y oleína y estearina (*Elaeis guineensis*) (Traductor Carlos Arenas). *Palmas*, 41 (3), 67-80.

PALABRAS CLAVE: aceite crudo de palma, oleína, estearina, almacenamiento.

KEYWORDS: Crude palm oil, olein, stearin, storage.

* Traducido del original Effects of Different Storage Conditions on the Oxidative Stability of Crude and Refined Palm Oil, Olein and Stearin (*Elaeis guineensis*). *Ciencia y tecnología de los alimentos*, 39 (Supl. 1), 211-217. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/fst.43317>

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de atribución Creative Commons, que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que el trabajo original se cite correctamente.

DEUSDÉLIA TEIXEIRA DE ALMEIDA
Departamento de Ciencias de Alimentos
de la Escuela de Nutrición de la
Universidad Federal de Bahía (UFBA)

THAÍS VIEIRA VIANA
Departamento de Ciencias de Alimentos
de la Escuela de Nutrición de la
Universidad Federal de Bahía (UFBA)
thais.vieiraviana@gmail.com

MARIANA MELO COSTA
Departamento de Ciencias de Alimentos
de la Escuela de Nutrición de la
Universidad Federal de Bahía (UFBA)

CINTIA DE SANTANA SILVA
Departamento de Ciencias de Alimentos
de la Escuela de Nutrición de la
Universidad Federal de Bahía (UFBA)

SABRINA FEITOSA
Departamento de Ciencias de Alimentos
de la Escuela de Nutrición de la
Universidad Federal de Bahía (UFBA)

Resumen

Se almacenó aceite de palma crudo (APC), aceite de palma refinado (APR), oleína de palma refinada (OPR) y estearina de palma refinada (EPR), en tres condiciones: en la oscuridad (a 20-25 °C, en un entorno aclimatado), en un refrigerador (4-8 °C) y a temperatura ambiente (26-32 °C) expuestos a la luz natural. Se analizaron los ácidos grasos libres (% AGL), el valor del peróxido (meq O₂/kg), el periodo de inducción (h), los carotenoides totales (ppm) y las mediciones de color

(CIELab), para determinar la estabilidad de los aceites cada mes hasta los 12 meses. Todos los aceites crudos/refinados iniciales eran de buena calidad, excepto por una muestra de APC. El almacenamiento a 26-35 °C y la exposición a la luz aceleraron las reacciones oxidativas. La vida útil estimada del APC, APR, OPR y EPR almacenados a 20-25 °C y en la oscuridad fue de aproximadamente de 6, 9, 9 y 12 meses, respectivamente. Se encontraron aceites de mejor calidad almacenados a 4-8 °C, en comparación con los conservados en otras condiciones.

Aplicación práctica: el estudio tiene influencia sobre las prácticas, tiempos y condiciones de almacenamiento, además de discutir los criterios más importantes para obtener productos de calidad. El aceite de palma es utilizado ampliamente debido a su alta estabilidad y por considerar su consumo de importancia cultural y para la salud pública.

Abstract

Crude palm oil (CPO), refined palm oil (RPO), refined palm olein (RPOL) and refined palm stearin (RPS) were stored in three conditions: kept away in dark (at 20-25 °C, acclimatized environment); in a refrigerator (4-8 °C); and at room temperature (26-32 °C), exposed to natural light. Free fatty acids (FFA; %), peroxide value (meq O₂/kg), induction period (h), total carotenoids (ppm) and color measurements (CIELab) were analyzed to determine stability of oils every months until 12 months. All of the crude/refined initial oils were of good quality, except for one sample of CPO. Storage at 26-32 °C and exposure to light intensified the oxidative reactions. The estimated shelf life of CPO, RPO, RPOL and RPS, when stored at 20-25 °C and in the dark, would be approximately 6, 9, 9 and 12 months, respectively. The best quality oils was found stored at 4-8 °C when compared to those stored in other storage conditions.

Practical Application: The study has an influence for practice of the storage, a storage time and conditions, in addition to discuss to most important criteria to get quality products. Palm oil is widely used due to its high stability and considering the cultural and public health importance of consuming.

Introducción

Durante la última década, el aceite de palma (*Elaeis guineensis*) ha superado al de soya para convertirse en el aceite vegetal más producido del mundo, lo que representa el 57 % de las exportaciones de aceite vegetal en el mercado (Oil World, 2013). La palma de aceite es una planta versátil, de importancia económica cosmopolita en Nigeria, Malasia, Brasil y varios países de África Occidental (Akusu *et al.*, 2000; Frank *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2013). En Brasil, el primer proyecto agroindustrial de aceite de palma se instaló en la región noreste del estado de Pará en la década de los sesenta, y su cultivo allí ha sido objeto de una gran expansión en la última década (Villela *et al.*, 2014).

El aceite de palma tiene una composición equilibrada de ácidos grasos en la que el nivel de ácidos grasos

saturados es casi igual al de los insaturados. Los principales componentes de estos ácidos son el ácido palmítico (44-45 %) y el ácido oleico (39-40 %), junto con el ácido linoleico (10-11 %) y una cantidad mínima de ácido linolénico (Mba *et al.*, 2015). Esta composición permite dividir el aceite de palma en dos fracciones principales: un aceite líquido (65-70 %), oleína de palma (pf 18-20 °C) y estearina (pf 48-50 °C), y una fracción sólida (30-35 %). Además de la fracción real de grasa, el aceite de palma crudo contiene componentes menores (1 %) como esteroides (250-620 ppm), escualeno (200-600 ppm) (Gunstone y Lin, 2011) y carotenoides (500-700 ppm), los pigmentos responsables del color anaranjado rojizo (Gee, 2007). Adicionalmente, es la fuente más rica de tocotrienoles entre todos los aceites vegetales (Sambanthamurthi *et al.*, 2000; Edem, 2002).

La calidad y estabilidad del aceite de palma son los factores principales que afectan su aceptación y valor en el mercado, y minimizan el proceso de degradación durante la fritura (Almeida *et al.*, 2017). Uno de los indicadores más importantes de la calidad del aceite es la estabilidad oxidativa (Tan *et al.*, 2017). Por su parte, la estabilidad oxidativa de los aceites vegetales depende de la temperatura, luz, oxígeno, metales, enzimas y la presencia de antioxidantes y prooxidantes, la composición de ácidos grasos y el uso de empaques permeables al oxígeno (Pristouri *et al.*, 2010; Ahmad *et al.*, 2011). Adicionalmente, Frank *et al.* (2011) informaron que los cambios de deterioro en el aceite de palma durante el almacenamiento son causados por el tipo de material de almacenamiento, la luz, el aire y la hidrólisis autocatalítica por microorganismos lipolíticos y el contenido de agua.

Son varios los mecanismos químicos responsables de la oxidación de los aceites comestibles durante el almacenamiento, incluyendo la autooxidación y oxidación fotosensible. La autooxidación es la reacción entre ácidos grasos no saturados, independientemente de si se encuentran en su estado libre o están esterificados como una molécula de triglicérido y oxígeno. Estas reacciones originan hidroperóxidos, que se descomponen rápidamente en aldehídos, cetonas, alcoholes, hidrocarburos, ésteres, furanos y lactonas (Choe y Min, 2006; Adetola *et al.*, 2016). Los cambios en la calidad del aceite causados por condiciones inapropiadas de almacenamiento, continúan siendo un problema importante desde una perspectiva de salud.

En Bahía-Brasil, los comerciantes minoristas y mayoristas almacenan el aceite de palma para su venta al aire libre, a una temperatura elevada, empaquetado en un plástico opaco y expuesto a luz natural o artificial. El objetivo de este estudio era evaluar los efectos de diferentes condiciones y tiempos de almacenamiento sobre el aceite de palma y las características de calidad de sus fracciones.

Materiales y métodos

Obtención de muestras

El aceite de palma crudo (APC), el aceite de palma refinado (APR), la oleína de palma refinada (OPR) y la estearina de palma refinada (EPR) fueron donadas

por Agropalma Company (Bélem-Pará-Brasil). Todas estas muestras fueron producidas durante el mismo periodo y enviadas por correo a la Universidad Federal de Bahía (Salvador-Brasil) en cajas de cartón, en frascos de plástico opaco (250 ml) de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés). Según la información suministrada por este productor, la vida útil del APC, APR, OPR y EPR es de 12, 9, 9 y 12 meses, respectivamente. Las muestras contenían terbutilhidroquinona/TBHQ (INS319) en una proporción de 180 ppm.

Diseño experimental

Se diseñó un experimento factorial: tiempo de almacenamiento x condición de almacenamiento. Los niveles aplicados fueron cuatro tiempos de almacenamiento (periodo de recolección de muestras de 3 meses: 0, 3, 6, 9 y 12 meses) y 3 condiciones de almacenamiento: un área cerrada, en la oscuridad (20-25 °C, ambiente climatizado), un refrigerador (4-8 °C) y a temperatura ambiente con exposición a luz natural (26-32 °C), medidos cuidadosamente utilizando un termómetro. Para cada análisis, se sacó una muestra de cada aceite de su empaque original. Se estudiaron 3 lotes diferentes de cada uno, en triplicado: aceite de palma crudo (APC), aceite de palma refinado (APR), oleína de palma refinada (OPR) y estearina de palma refinada (EPR). Esto se hizo para reducir el error de las condiciones específicas de los lotes y no debido a la condición representativa del proceso del aceite en general.

La temperatura ambiente de estudio varió entre los 26 y los 32 °C, con un promedio de 29,5 °C y una humedad relativa de entre el 74,37 y el 89,83 %, verificada cada vez. Estas condiciones de almacenamiento eran similares a las observadas en los puntos de venta de los aceites.

Determinaciones analíticas

Ácidos grasos libres (% AGL) y valor de peróxido (PV meq O₂/kg)

Se analizaron los ácidos grasos y el valor de peróxido por triplicado, de conformidad con el método oficial AOCS Ca 5a-40 y AOCS Cd 8-53 (American Oil Chemists' Society, 2003), respectivamente.

Periodo de inducción (h)

Se determinó la estabilidad oxidativa de las muestras de aceite con un Rancimat 743 (Metrohm AG, Suiza). En resumen, se pesaron 3 g del aceite vegetal en el recipiente para reacciones y se calentó a 120 °C con un flujo de aire de 20 L h⁻¹. Se recolectaron los productos volátiles liberados durante el proceso de oxidación en un frasco con agua destilada. El proceso de oxidación se registró de forma automática midiendo el cambio en la conductividad del agua destilada debido a la formación de compuestos volátiles y al índice de estabilidad del aceite (OSI, por sus siglas en inglés), el cual se expresa en horas (h) (Läubli y Bruttel, 1986). En cada punto en el tiempo se utilizó el equipo para analizar 8 muestras de aceite simultáneamente. Cada una fue analizada en duplicado.

Carotenoides totales (ppm)

Se disolvieron las muestras de aceite de palma crudo ($\pm 0,2-0,3$ g) en éter de petróleo y se cuantificaron con un espectrofotómetro UV/Vis Lambda 25 (Perkin Elmer, Singapur) a 450 nm con un coeficiente de adsorción (A1%1 cm) de 2.592 (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004). El análisis se realizó en triplicado.

Medición de color (CIELab)

Se midió el color utilizando celdas de cuarzo de 2 mm de espesor en un medidor de colorimetría CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japón) con un iluminante D65 y un ángulo de visión de 2°. Los resultados se expresaron en términos de luminosidad (L*), características de rojo-verde (a*), características de azul-amarillo (b*), ángulo del tono (h_{ab}) y croma (C*); $h_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ y $C^* = [(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$. Después, se calculó la diferencia de color (ΔE) como $\Delta E = \{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2\}^{1/2}$, donde L_0 , a_0 y b_0 son los parámetros de color de las muestras frescas de aceite (tiempo 0) y 12 meses. Cada valor de color reportado fue una media de 3 determinaciones a 22-24 °C (Andreu-Sevilla *et al.*, 2008).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 13.0.1 para

Windows. Dado que la prueba de Levene para igualar las variaciones fue estadísticamente significativa para todos los parámetros, se utilizaron los métodos de Tamhane ($p \leq 0,05$). Se realizó un análisis de regresión para evaluar las relaciones entre los parámetros de tiempo y degradación. El ajuste del modelo se juzgó con un coeficiente de determinación (R^2) que representa la proporción de variabilidad que se ha tenido en cuenta para la ecuación de regresión polinómica. La correlación lineal entre los dos parámetros se evaluó con el coeficiente de correlación de Spearman (r).

Resultados y discusión

Ácidos grasos libres

El contenido de ácidos grasos libres (% AGL) es el criterio más utilizado para determinar la calidad del aceite de palma (Almeida *et al.*, 2013). El Codex 210 (Codex Alimentarius, 2013) y las leyes de Brasil (Brasil, 2005) establecieron un valor máximo de concentración de AGL de hasta el 5,0 % para el APC y de hasta el 0,3 % para el APR en ácido oleico. En consecuencia, de conformidad con estas normas, todos los aceites frescos (cero meses de almacenamiento) se encontraban dentro de los límites establecidos (Tablas 1, 2, 3 y 4). Los resultados mostraron que la producción de AGL en el APC era menor (1,2-1,6 %) en comparación con el APC fabricado en Pará (2,2-2,5 %) (Almeida *et al.*, 2013). Este hallazgo puede indicar que los frutos de la palma fueron manipulados con cuidado y procesados rápidamente después de ser cosechados y esterilizados con vapor para limitar la actividad de las lipasas (Vincent *et al.*, 2014).

Los resultados mostraron que los AGL (%) aumentaron en todos los APC bajo las diferentes condiciones y durante todos los tiempos de almacenamiento. Tagoe *et al.* (2012) demostraron que los aceites de frutos frescos procesados tenían una acidez inicial de 0,5 % y de 3 % después de 12 meses de almacenamiento. El aumento en el contenido de AGL puede deberse a especies endémicas de microorganismos que se introducen al aceite durante las diferentes etapas del procesamiento y transporte al interior de la planta (Nkpa *et al.*, 1990). Adicionalmente, este resultado se encontró para todas las condiciones de tratamiento (Tabla 1); lo que indica fluctuaciones en el tiempo, similares a

los resultados obtenidos por Frank *et al.* (2011). Esto no expresa necesariamente una reducción real, dado que los AGL insaturados pueden sufrir reacciones químicas posteriores, como peroxidación, y crear productos secundarios que no pueden detectarse al analizar la acidez.

Se estimó un límite de tiempo en el que el APC superó el valor máximo de los AGL (%) definido por el Codex 2010 (Codex Alimentarius, 2013) y la ley brasilera (Brasil, 2005). Los tiempos máximos estimados fueron de 14, 15 y 18 meses para el APC almacenado a 26-32 °C, 20-25 °C y 4-8 °C, respectivamente.

Los resultados de todas las determinaciones realizadas para el aceite de palma refinado (APR), oleína de palma refinada (OPR) y estearina de palma refinada (EPR) se presentan en las Tablas 2, 3 y 4, respectivamente. Después de 12 meses de almacenamiento a 26-32 °C bajo luz natural, todos los aceites refinados superaron los límites de AGL (0,3 %) establecidos por el Codex 210 (Codex Alimentarius, 2013), con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,99. Estos resultados muestran una relación más fuerte entre el tiempo de almacenamiento y la evolución del valor ácido. Por el contrario, para los aceites refinados almacenados a 20-25 °C y 4-8 °C, los AGL (%) no superaron el límite adoptado de 0,3 % después de 12 meses de almacenamiento (Codex Alimentarius, 2013; Brasil, 2005).

Los resultados del % de AGL de los aceites refinados para todas las condiciones y tiempos de almacenamiento (Tablas 2, 3 y 4) son mucho mayores en comparación con los aceites de soya y canola empacados en tereftalato de polietileno (PET), almacenados en la oscuridad, con una temperatura promedio de 19 °C durante 375 días (0,04-0,15 % y 0,06-0,08 %, respectivamente) (Ahmad *et al.*, 2011). De hecho, los aceites de palma tienden a tener un mayor contenido de humedad y una mayor carga microbiana a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, permitiendo las reacciones hidrolíticas que llevan a la formación de ácidos grasos libres (Akusu *et al.*, 2000; Tagoe *et al.*, 2012).

Valor de peróxido

Otro parámetro importante para evaluar la calidad del aceite de palma es el valor de peróxido (VP), que

es un indicador del nivel de oxidación lipídica. Este valor no debe superar el límite superior (15 meq O_2 /kg) establecido por el Codex 210 (Codex Alimentarius, 2013). El APC (almacenado a 4-8 °C) mostró un valor inicial de 8,7 meq O_2 /kg, aproximadamente 15 veces mayor que los valores iniciales de las muestras almacenadas a 26-32 °C y 20-25 °C (Tabla 1). Estos resultados pueden indicar un almacenamiento inadecuado dado que el porcentaje de AGL de estos aceites no fue diferente al de los otros ($p \geq 0,05$) (Tabla 1), lo que demuestra una refinación eficiente. Según el proceso, aunque los aceites sean fabricados el mismo día, las muestras se almacenan en bidones diferentes, lo que puede afectar estos resultados.

Según Farhoosh *et al.* (2009), para aceites refinados recientemente, el valor de peróxido debería estar próximo o ser igual a cero y no debería superar los 0,5 meq O_2 /kg. Los resultados mostraron que algunos aceites refinados frescos habían superado este límite (Tablas 2, 3 y 4). Esto puede atribuirse al tiempo que pasó entre la producción y el análisis, que fue de aproximadamente 10 días.

La evolución del VP indica que la exposición a la luz y a altas temperaturas potencian la formación de moléculas de peroxidación lipídica (Nkpa *et al.*, 1990). Se observó que el APR y la EPR superaron el valor de peróxido (15 meq O_2 /kg) definido por el Codex 210 (Codex Alimentarius, 2013) después de un periodo de almacenamiento de 3 meses, mientras que el APC y la OPR superaron el límite después de 6 meses de almacenamiento (Tablas 1 y 3). Warner y Nelsen (1996) sugirieron una clasificación para el nivel de oxidación de los aceites vegetales con base en la evolución del valor de peróxido. Según estos autores, los aceites con un valor de peróxido de entre 3 y 5 meq O_2 /kg pueden considerarse como de baja oxidación; los aceites con un valor de entre 10 y 12 meq O_2 /kg son de oxidación moderada, y los de un valor de entre 16 y 18 meq O_2 /kg tienen un nivel de oxidación alto. Todas las muestras almacenadas entre 25 y 32 °C bajo luz natural presentaron un valor de peróxido por encima de 26 meq O_2 /kg después de un periodo de almacenamiento de 6 meses y, por lo tanto, pueden considerarse como altamente oxidados.

Tabla 1. Evolución de AGL (%), valor de peróxido (meq O₂/kg), periodo de inducción, carotenoides totales (ppm) y color (CIELab) del aceite de palma crudo (APC) durante el tiempo de almacenamiento y bajo diferentes condiciones

Meses de almacenamiento	Ácidos grasos libres (% ácido oleico)	Valor de peróxido (meq O ₂ /kg)	Periodo de inducción (h)	Carotenoides totales (ppm)	L*	a*	b*	C*	h _{ab}	ΔE (*)
26-32 °C										
0	1,17 ^a (0,03)	0,61 ^a (0,05)	17,04 ^a (0,60)	766,83 ^a (27,33)	30,79 ^a (0,18)	14,28 ^a (0,04)	20,57 ^a (0,16)	25,04 ^a (0,11)	55,22 ^a (0,29)	
3	3,06 ^{bf} (0,07)	9,90 ^b (0,18)	13,59 ^{ab} (0,13)	715,36 ^a (18,12)	30,34 ^{ad} (0,11)	14,91 ^b (0,07)	19,95 ^a (0,38)	24,90 ^{ab} (0,34)	53,21 ^b (0,42)	0,99
6	2,50 ^{cg} (0,07)	21,54 ^c (0,27)	8,69 ^{ac} (0,08)	600,13 ^b (25,35)	31,24 ^{ac} (0,05)	13,77 ^c (0,06)	21,19 ^a (0,20)	25,27 ^a (0,19)	56,99 ^c (0,16)	0,92
9	2,32 ^{dg} (0,07)	29,39 ^d (0,40)	5,45 ^{ad} (0,14)	440,02 ^c (11,70)	32,39 ^{bf} (0,03)	12,31 ^d (0,07)	23,73 ^b (0,04)	26,73 ^{bc} (0,07)	62,58 ^d (0,12)	4,05
12	3,14 ^{ef} (0,00)	33,79 ^e (0,50)	0,02 ^{ae} (0,00)	252,42 ^d (1,53)	34,00 ^c (0,02)	09,12 ^{be} (0,07)	25,93 ^c (0,23)	27,49 ^c (0,25)	70,62 ^e (0,08)	8,10
20-25 °C										
0	1,78 ^a (0,08)	0,58 ^a (0,04)	15,01 ^a (0,12)	757,41 ^a (17,59)	30,57 ^a (0,10)	14,55 ^a (0,17)	20,05 ^a (0,36)	24,77 ^a (0,39)	54,03 ^a (0,18)	
3	2,94 ^{bf} (0,06)	2,55 ^b (0,02)	16,04 ^a (0,12)	720,34 ^a (18,37)	30,49 ^a (0,09)	14,40 ^a (0,10)	19,81 ^{ab} (0,17)	24,49 ^{ab} (0,19)	54,00 ^a (0,05)	0,29
6	2,89 ^{cf} (0,02)	6,15 ^c (0,12)	14,88 ^{ab} (0,59)	722,08 ^{ac} (4,94)	30,69 ^{ab} (0,23)	13,86 ^{ab} (0,30)	19,30 ^{ac} (0,88)	23,76 ^a (0,88)	54,29 ^a (0,74)	1,03
9	2,47 ^{df} (0,13)	16,76 ^{df} (0,07)	14,59 ^{ac} (0,01)	692,41 ^{ad} (4,92)	31,88 ^b (0,08)	12,23 ^b (0,10)	22,29 ^{bc} (0,47)	25,42 ^a (0,46)	61,25 ^b (0,33)	3,48
12	2,85 ^{ef} (0,01)	16,49 ^{ef} (0,09)	11,65 ^{ac} (0,19)	563,47 ^b (4,52)	33,03 ^c (0,02)	10,39 ^c (0,00)	24,36 ^c (0,00)	26,54 ^{ac} (0,26)	66,80 ^c (0,12)	6,48
4-8 °C										
0	1,58 ^a (0,05)	8,68 ^a (0,03)	5,18 ^a (0,16)	648,27 ^a (1,61)	31,05 ^a (0,07)	13,62 ^a (0,11)	21,13 ^a (0,32)	25,14 ^a (0,33)	57,19 ^a (0,19)	
3	2,67 ^{bf} (0,01)	12,12 ^b (0,15)	5,46 ^a (0,16)	605,82 ^{bd} (0,00)	31,12 ^a (0,06)	13,46 ^a (0,10)	21,76 ^a (0,33)	25,59 ^a (0,33)	58,26 ^b (0,20)	0,65
6	2,87 ^{cd} (0,02)	16,12 ^{cf} (0,13)	5,92 ^a (0,01)	593,84 ^{cd} (0,00)	31,74 ^b (0,05)	13,00 ^b (0,07)	20,87 ^{ab} (0,12)	24,58 ^{ab} (0,13)	58,08 ^{ab} (0,10)	0,96
9	2,58 ^{df} (0,08)	16,97 ^d (0,08)	5,32 ^a (0,21)	574,33 ^{de} (8,05)	31,71 ^{abc} (0,15)	12,10 ^{abc} (0,35)	21,55 ^a (1,23)	24,72 ^a (1,24)	60,67 ^{abc} (0,70)	1,71
12	2,57 ^{ef} (0,05)	16,15 ^{ef} (0,02)	5,01 ^a (0,00)	553,89 ^e (0,00)	32,41 ^c (0,08)	11,60 ^c (0,05)	23,49 ^{ac} (0,04)	26,20 ^{ac} (0,05)	63,72 ^c (0,08)	3,39

Los datos se presentan como una media ± (desviación estándar). La misma letra en cada columna representa que no hay una diferencia significativa entre los valores de la muestra por la prueba de Tamhane (p < 0,05). L* (luminosidad); a* (los valores negativos indican verde y los valores positivos indican rojo, -a/+a); b* (los valores negativos indican azul y los valores positivos indican amarillo, +b/-b); C* (croma) y h_{ab} (ángulo del tono). Los datos ΔE (diferencia de color) para cada condición de almacenamiento (rango de temperatura) se obtuvieron comparando los datos de cada mes (3, 6, 9 y 12) con el mes 0 (control).

Tabla 2. Evolución de AGL (%), valor de peróxido (meq O₂/kg), periodo de inducción (h) y color (CIELab) del aceite de palma refinado (APR) durante el tiempo de almacenamiento y bajo diferentes condiciones.

Meses de almacenamiento	Ácidos grasos libres (% ácido oleico)	Valor de peróxido (meq O ₂ /kg)	Periodo de inducción (h)	L*	a*	b*	C*	h _{ab}	ΔE (*)
26-32 °C									
0	0,11a (0,00)	00,18 ^a (0,00)	15,79 ^a (1,12)	39,93 ^a (0,67)	-1,47 ^a (0,06)	4,98 ^a (0,12)	5,19 ^a (0,10)	106,48 ^a (1,00)	
3	0,15a (0,00)	10,50 ^b (0,05)	10,75 ^{ab} (0,33)	39,06 ^a (0,22)	-0,82 ^a (0,04)	2,76 ^{ab} (0,04)	2,88 ^{ab} (0,05)	106,55 ^a (0,62)	2,47
6	0,16ab (0,01)	19,69 ^{abc} (0,63)	06,85 ^{ac} (0,37)	40,50 ^a (0,03)	-0,87 ^a (0,04)	2,89 ^a (0,09)	3,02 ^a (0,88)	106,68 ^a (0,74)	2,25
9	0,23a (0,00)	31,63 ^{abc} (0,82)	02,39 ^{ad} (0,16)	40,72 ^a (0,11)	-0,61 ^a (0,03)	2,36 ^{ac} (0,02)	2,44 ^{ac} (0,02)	104,37 ^a (0,62)	2,87
12	0,40 ^{ac} (0,01)	58,36 ^c (0,12)	00,03 ^{ae} (0,00)	40,92 ^a (0,11)	-0,39 ^a (0,02)	1,66 ^a (0,01)	1,70 ^a (0,02)	103,19 ^a (0,67)	3,63
20-25 °C									
0	0,14 ^a (0,01)	0,29 ^a (0,00)	14,14 ^a (0,08)	40,26 ^a (0,11)	-1,62 ^a (0,02)	5,45 ^a (0,01)	5,69 ^a (0,02)	106,60 ^a (0,24)	
3	0,17 ^a (0,01)	1,00 ^{ab} (0,00)	14,22 ^a (0,33)	40,45 ^b (0,02)	-1,68 ^{ab} (0,04)	5,34 ^{ad} (0,05)	5,60 ^{ad} (0,06)	107,43 ^a (0,25)	0,23
6	0,21 ^a (0,01)	3,13 ^a (0,08)	14,44 ^a (0,67)	40,37 ^{ab} (0,07)	-1,55 ^{ac} (0,04)	5,40 ^{ae} (0,02)	5,62 ^{ae} (0,02)	106,01 ^a (0,34)	0,14
9	0,13 ^a (0,01)	7,70 ^b (0,06)	11,56 ^a (0,18)	40,15 ^{ab} (0,31)	-1,43 ^{ad} (0,04)	5,67 ^{be} (0,06)	5,85 ^{be} (0,05)	104,20 ^a (0,52)	0,31
12	0,22 ^a (0,01)	13,82 ^c (0,05)	10,12 ^a (0,08)	40,75 ^{ab} (0,06)	-0,43 ^{ae} (1,54)	4,89 ^{ce} (0,02)	5,07 ^{ce} (0,03)	105,26 ^a (0,10)	1,40
4-8 °C									
0	0,13 ^a (0,01)	0,44 ^a (0,01)	14,99 ^a (1,09)	40,29 ^a (0,06)	-1,66 ^a (0,02)	5,39 ^a (0,02)	5,63 ^a (0,03)	107,10 ^a (0,10)	
3	0,16 ^a (0,01)	0,52 ^a (0,04)	15,27 ^{abd} (0,05)	40,49 ^a (0,23)	-1,54 ^{be} (0,01)	5,19 ^{ab} (0,05)	5,41 ^a (0,05)	106,54 ^a (0,23)	0,31
6	0,16 ^a (0,01)	0,69 ^a (0,02)	13,74 ^a (0,28)	40,47 ^a (0,11)	-1,60 ^{ce} (0,01)	5,35 ^a (0,04)	5,58 ^{ab} (0,04)	106,66 ^a (0,19)	0,19
9	0,13 ^a (0,01)	0,63 ^a (0,02)	10,50 ^{ad} (0,18)	40,86 ^a (0,02)	-1,71 ^{ae} (0,03)	5,57 ^a (0,04)	5,83 ^a (0,04)	107,03 ^a (0,22)	0,60
12	0,23 ^a (0,01)	1,14 ^a (0,00)	10,62 ^{ac} (0,03)	40,84 ^a (0,04)	-1,39 ^{de} (0,02)	4,80 ^{ac} (0,02)	5,00 ^{ac} (0,01)	106,18 ^a (0,26)	0,85

Los datos se presentan como medias (desviación estándar). La misma letra en cada columna representa que no hay una diferencia significativa entre los valores de la muestra por la prueba de Tamhane ($p \leq 0,05$). L* (luminosidad); a* (los valores negativos indican verde y los valores positivos indican rojo, -a/+a); b* (los valores negativos indican azul y los valores positivos indican amarillo, +b/-b); C* (croma) y hab (ángulo del tono). Los datos ΔE (diferencia de color) para cada condición de almacenamiento (rango de temperatura) se obtuvieron comparando los datos de cada mes (3, 6, 9 y 12) con el mes 0 (control).

Tabla 3. Evolución de AGL (%), valor de peróxido (meq O₂/kg), periodo de inducción (h) y color (CIELab) de la oleína de palma refinada (OPR) durante el tiempo de almacenamiento y bajo diferentes condiciones.

Meses de almacenamiento	Ácidos grasos libres (% ácido oleico)	Valor de peróxido (meq O ₂ /Kg)	Periodo de inducción (h)	L*	a*	b*	C*	h _{ab}	ΔE (*)
26-32 °C									
0	0,04 ^a (0,00)	00,52 ^a (0,04)	12,88 ^a (0,10)	40,67 ^a (0,09)	-1,36 ^a (0,04)	4,77 ^a (0,03)	4,96 ^a (0,04)	105,95 ^a (0,37)	
3	0,17 ^a (0,00)	00,45 ^a (0,02)	09,19 ^{bc} (0,04)	40,66 ^a (0,06)	-1,07 ^a (0,03)	3,45 ^{abcd} (0,09)	3,61 ^{ab} (0,08)	107,23 ^{ab} (0,79)	1,35
6	0,18 ^a (0,01)	25,44 ^a (0,47)	04,10 ^{cde} (0,21)	40,73 ^a (0,07)	-0,74 ^{ab} (0,02)	2,79 ^{bcd} (0,03)	2,88 ^b (0,03)	104,80 ^{ab} (0,25)	2,08
9	0,23 ^a (0,01)	44,91 ^{ab} (3,27)	00,92 ^{de} (0,01)	41,13 ^a (0,04)	-0,53 ^a (0,02)	1,93 ^c (0,01)	2,01 ^{abc} (0,01)	105,34 ^{ab} (0,55)	2,99
12	0,33 ^a (0,03)	85,29 ^b (1,31)	00,03 ^e (0,00)	41,46 ^a (0,21)	-0,25 ^{ac} (0,01)	1,55 ^d (0,18)	1,57 ^{abd} (0,18)	099,24 ^b (1,01)	3,50
20-25 °C									
0	0,07 ^a (0,00)	00,59 ^a (0,02)	14,74 ^a (0,03)	40,59 ^a (0,11)	-1,70 ^a (0,03)	5,55 ^a (0,07)	5,80 ^a (0,07)	107,01 ^a (0,07)	
3	0,15 ^a (0,00)	00,43 ^{ab} (0,00)	13,90 ^{ab} (0,33)	40,59 ^{ab} (0,08)	-1,72 ^{abc} (0,02)	5,61 ^{abc} (0,06)	5,87 ^{abc} (0,06)	106,99 ^a (0,18)	0,06
6	0,16 ^a (0,01)	05,69 ^b (0,01)	12,14 ^a (0,30)	40,28 ^a (0,14)	-1,41 ^{bc} (0,02)	5,15 ^{abc} (0,10)	5,34 ^{abc} (0,10)	105,35 ^a (0,01)	0,58
9	0,16 ^a (0,00)	08,92 ^{abc} (0,20)	10,72 ^a (0,56)	40,85 ^{ab} (0,09)	-1,41 ^{abc} (0,04)	4,98 ^{bc} (0,02)	5,18 ^{bc} (0,02)	105,83 ^a (0,36)	0,69
12	0,17 ^a (0,01)	14,64 ^c (0,04)	09,34 ^{ac} (0,30)	42,30 ^b (0,01)	-1,40 ^c (0,01)	4,98 ^c (0,01)	5,17 ^c (0,00)	105,72 ^a (0,12)	1,83
4-8 °C									
0	0,29 ^a (0,00)	00,43 ^a (0,04)	14,80 ^a (0,28)	40,78 ^a (0,02)	-1,66 ^a (0,02)	5,40 ^a (0,01)	5,65 ^a (0,01)	107,10 ^a (0,15)	
3	0,17 ^a (0,00)	00,59 ^a (0,00)	13,92 ^a (0,41)	40,79 ^{abc} (0,07)	-1,66 ^a (0,03)	5,50 ^a (0,15)	5,75 ^a (0,15)	106,77 ^a (0,11)	0,10
6	0,40 ^a (0,01)	00,86 ^a (0,03)	14,97 ^{ab} (0,16)	40,25 ^b (0,06)	-1,54 ^a (0,03)	5,23 ^a (0,05)	5,46 ^a (0,04)	106,43 ^a (0,37)	0,57
9	0,24 ^a (0,00)	00,95 ^a (0,00)	10,49 ^a (0,33)	40,81 ^{abc} (0,05)	-1,69 ^a (0,03)	5,47 ^a (0,02)	5,72 ^a (0,02)	107,17 ^a (0,17)	0,08
12	0,23 ^a (0,01)	01,69 ^a (0,01)	09,97 ^{ac} (0,14)	42,06 ^c (0,01)	-1,52 ^a (0,02)	5,23 ^a (0,00)	5,45 ^a (0,00)	106,26 ^a (0,15)	1,30

Los datos se presentan como medias (desviación estándar). La misma letra en cada columna representa que no hay una diferencia significativa entre los valores de la muestra por la prueba de Tamhane ($p \leq 0,05$). L* (luminosidad); a* (los valores negativos indican verde y los valores positivos indican rojo, -a/+a); b* (los valores negativos indican azul y los valores positivos indican amarillo, +b/-b); C* (croma) y h_{ab} (ángulo del tono). Los datos ΔE (diferencia de color) para cada condición de almacenamiento (rango de temperatura) se obtuvieron comparando los datos de cada mes (3, 6, 9 y 12) con el mes 0 (control).

Tabla 4. Evolución de AGL (%), valor de peróxido (meq O₂/kg), periodo de inducción (h) y color (CIELab) de la estearina de palma refinada (EPR) durante el tiempo de almacenamiento y bajo diferentes condiciones.

Meses de almacenamiento	Ácidos grasos libres (% ácido oleico)	Valor de peróxido (meq O ₂ /kg)	Periodo de inducción (h)	L*	a*	b*	C*	h _{ab}	ΔE (*)
26-32 °C									
0	0,09 ^a (0,00)	0,72 ^a (0,00)	17,62 ^a (0,12)	40,51 ^a (0,02)	-0,78 ^a (0,02)	2,87 ^a (0,01)	2,98 ^a (0,02)	105,21 ^a (0,24)	
3	0,09 ^a (0,00)	11,36 ^{ad} (0,47)	8,78 ^{abcd} (0,42)	40,64 ^{ac} (0,20)	-0,48 ^a (0,05)	1,69 ^a (0,09)	1,76 ^a (0,10)	105,62 ^a (0,96)	1,22
6	0,19 ^a (0,00)	22,43 ^{bde} (0,13)	2,93 ^{bcd} (0,04)	40,88 ^{ae} (0,10)	-0,37 ^a (0,02)	1,65 ^a (0,05)	1,69 ^a (0,04)	102,70 ^a (0,68)	1,34
9	0,45 ^a (0,00)	41,40 ^{adf} (0,00)	0,03 ^{cd} (0,00)	41,47 ^{bce} (0,06)	-0,47 ^{ab} (0,01)	1,37 ^a (0,07)	1,45 ^a (0,07)	108,81 ^a (0,83)	1,81
12	1,48 ^a (0,00)	85,38 ^c (0,02)	0,02 ^d (0,00)	40,22 ^{ad} (0,05)	-0,23 ^{ac} (0,01)	1,14 ^b (0,01)	1,16 ^a (0,01)	101,42 ^a (0,49)	1,84
20-25 °C									
0	0,09 ^a (0,00)	00,88 ^a (0,00)	17,17 ^a (0,04)	40,76 ^a (0,04)	-0,69 ^a (0,01)	2,59 ^a (0,08)	2,68 ^a (0,08)	104,89 ^a (0,30)	
3	0,09 ^a (0,00)	02,04 ^{ab} (0,00)	15,97 ^a (0,66)	40,86 ^a (0,00)	-1,71 ^{ac} (0,00)	5,65 ^{abd} (0,06)	2,78 ^{ab} (0,00)	104,75 ^a (0,00)	0,06
6	0,09 ^a (0,00)	03,40 ^{ab} (0,07)	13,87 ^a (0,21)	40,96 ^a (0,07)	-0,73 ^{ad} (0,02)	2,62 ^a (0,28)	2,88 ^a (0,02)	104,61 ^a (0,31)	0,21
9	0,30 ^a (0,00)	06,09 ^{ab} (0,14)	12,29 ^a (0,32)	41,61 ^{ab} (0,03)	-0,89 ^{bcd} (0,01)	2,99 ^{ac} (0,04)	3,12 ^{ac} (0,04)	106,49 ^a (0,30)	0,96
12	0,29 ^a (0,01)	05,01 ^b (0,02)	10,67 ^b (0,00)	40,89 ^{ac} (0,05)	-0,65 ^{aa} (0,02)	2,54 ^{ad} (0,02)	2,62 ^{ad} (0,02)	104,44 ^a (0,40)	0,14
4-8 °C									
0	0,09 ^a (0,00)	0,53 ^a (0,01)	17,28 ^a (0,51)	40,72 ^a (0,12)	-0,77 ^a (0,02)	3,06 ^a (0,08)	3,15 ^a (0,08)	104,20 ^a (0,15)	
3	0,11 ^a (0,00)	2,04 ^a (0,00)	15,92 ^a (0,20)	40,87 ^{ab} (0,07)	-0,90 ^a (0,02)	3,12 ^a (0,12)	3,25 ^a (0,12)	106,10 ^a (0,80)	0,17
6	0,13 ^a (0,00)	1,10 ^a (0,00)	16,36 ^a (0,13)	40,83 ^{ac} (0,04)	-0,82 ^a (0,01)	3,22 ^{ab} (0,01)	3,32 ^{ab} (0,01)	104,35 ^a (0,11)	0,20
9	0,27 ^a (0,00)	1,22 ^a (0,00)	16,01 ^a (0,27)	41,22 ^{ad} (0,21)	-1,00 ^a (0,03)	3,43 ^a (0,10)	3,57 ^{ad} (0,09)	106,28 ^a (0,58)	0,66
12	0,22 ^a (0,01)	1,07 ^a (0,01)	15,31 ^b (0,25)	41,20 ^{bcd} (0,10)	-0,67 ^a (0,01)	2,61 ^{ac} (0,02)	2,69 ^{ac} (0,02)	104,31 ^a (0,26)	0,67

Los datos se presentan como medias (desviación estándar). La misma letra en cada columna representa que no hay una diferencia significativa entre los valores de la muestra por la prueba de Tamhane (p<0,05). L* (luminosidad); a* (los valores negativos indican verde y los valores positivos indican rojo, -a/+a); b* (los valores negativos indican azul y los valores positivos indican amarillo, +b/-b); C* (croma) y h_{ab} (ángulo del tono). Los datos ΔE (diferencia de color) para cada condición de almacenamiento (rango de temperatura) se obtuvieron comparando los datos de cada mes (3, 6, 9 y 12) con el mes 0 (control).

Después de 9 meses de almacenamiento a temperatura ambiente, el VP del APC fue menor que el de las otras muestras, indicando que el aceite crudo fue más resistente a la oxidación (Tablas 1, 2, 3 y 4). Esto puede atribuirse muy probablemente al contenido de carotenos. Los carotenoides podrían inhibir una mayor descomposición del hidroperóxido al reaccionar con los radicales alcoxi (RO), que son los principales responsables de la formación de compuestos volátiles. Esto puede inferirse por la alta correlación lineal negativa entre los carotenoides y el VP ($r = -0,963$; $p \leq 0,00$).

Adicionalmente, los resultados de VP para APC, APR y OPR almacenados a 20-25 °C estaban por fuera de la especificación (Codex Alimentarius, 2013) después de un periodo de almacenamiento de 9, 12 y 12 meses, respectivamente.

Según los resultados obtenidos, el APC almacenado a 4-8 °C, incluso los que comenzaron con un alto VP, aumentaron en tan solo 1,8 veces al final del año de almacenamiento y el tiempo tuvo una fuerte influencia ($R^2 = 0,98$). Los resultados mostraron que, para todas las muestras refinadas de aceite almacenadas en esa condición (Tablas 2, 3 y 4), el VP fue menor que el valor límite establecido en el Codex 210 (Codex Alimentarius, 2013) y las leyes de Brasil (Brasil, 2005) después del periodo de almacenamiento de 12 meses. Adicionalmente, el VP de las muestras de estearina almacenadas a 20-25 °C y 4-8 °C no superó los límites adoptados (10 meq O₂/kg) durante todo el periodo de almacenamiento y tuvieron el VP más bajo en comparación con los otros aceites estudiados. Tales diferencias pueden deberse a la predominancia de ácidos grasos saturados en su composición, pues estos son menos susceptibles a la oxidación (Edem, 2002; Choe y Min, 2006; Gunstone y Lin, 2011).

Cambios en la estabilidad oxidativa

Se midió la estabilidad oxidativa de los aceites durante el periodo de inducción y se determinó, utilizando el método Rancimat presentado en las Tablas 1, 2, 3 y 4. Respecto a los valores de peróxido, las muestras de APC almacenadas a 4-8 °C también difieren en este aspecto de las demás (Tabla 1). Estas mostraron los valores más bajos, reflejando el grado de oxidación (Tabla 1). Los valores medios para el periodo inicial de inducción de APC, OPR y EPR fueron de 15,0, 14,1 h y 17,3 h,

respectivamente. Ninguna mostró una diferencia significativa entre el periodo de inducción (PI) de los lotes iniciales de APR (Tabla 2) y estearina (Tabla 4), a diferencia de la oleína (Tabla 3), cuyos lotes fueron almacenados a 26-32 °C y 20-25 °C, y tuvieron diferencias significativas ($p \leq 0,04$). Es bien sabido que esta fracción tiene una mayor tendencia a la oxidación, debido a la mayor presencia de ácidos grasos insaturados (Zambiasi y Zambiasi, 2000).

Es claro que el deterioro oxidativo de todos los aceites ocurrió significativamente más rápido cuando estos se almacenaron a una temperatura elevada y se expusieron a la luz, que cuando el aceite fue guardado bajo las otras condiciones (Choe y Min, 2006).

El periodo de inducción (PI) mostró un valor alto para el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,99$) durante el almacenamiento de los aceites refinados a 20-25 °C, indicando una fuerte relación entre el tiempo y una reducción del PI en las muestras. En este caso, el PI se mantuvo alto para todos los aceites (de 9,3 a 11,3 h), lo que confirmó que estos tuvieron una mayor resistencia a la oxidación en un entorno con una temperatura más baja y en la oscuridad (Borsato *et al.*, 2012). Lo mismo ocurrió con el aceite almacenado en el refrigerador (10,0 a 15,3 h), excepto por el APC que, como se mencionó anteriormente, comenzó a cambiar (5,2 h); no obstante, se mantuvo estable en el tiempo (5,0 h) (Tabla 1), pues tenía carotenoides en su composición.

Carotenoides totales y color

El Codex 210 (Codex Alimentarius, 2013) establece un valor para los carotenoides totales de 500-2.000 ppm y, en consecuencia, según esta norma todos los APC iniciales analizados se encontraban dentro del rango (648-767 ppm). Los estudios del APC producidos en Pará-Brasil detectaron valores de entre 939-940 ppm (Almeida *et al.*, 2013).

En los lotes seleccionados de APC no hubo diferencias significativas de carotenoides entre los aceites iniciales sometidos a los 3 tratamientos ($p \geq 0,05$). No obstante, en los aceites iniciales almacenados a 4-8 °C, los contenidos de carotenoides fueron menores y se encontraron correlaciones inversas entre el contenido de peróxido y de β -carotenos ($r = -0,813$; $p = 0,00$)

($p \leq 0,05$). Se entendió que la oxidación de carotenos se aceleró por los hidroperóxidos creados por la oxidación de lípidos, llevando a un descoloramiento y blanqueo. Los carotenoides incluyen α - y β -iononas, β -13 y β -14-apocarotenal y β -13-apocrotenona (Sambanthamurthi *et al.*, 2000).

Todas las muestras de APC se ubicaron dentro del primer cuadrante, mostrando que a^* y b^* son positivos. No se observaron cambios significativos en C y b^* entre los APC iniciales. Se advirtió que sus valores de tonalidad (h_{ab}) se ubicaron en la zona del color anaranjado-rojizo (Tabla 1) (Tan *et al.*, 2010). El color de estos aceites fue distintivamente más intenso que el de los producidos en Bahía, posiblemente debido a mejores condiciones de procesamiento del fruto (Almeida *et al.*, 2013). Las variaciones en los valores medios de h_{ab} entre el APC inicial estudiado aquí fueron significativas ($p < 0,05$), y el valor de h_{ab} fue muy alto para el aceite almacenado a 4-8 °C, en comparación con las otras condiciones de almacenamiento ($p \leq 0,05$) (Tabla 1), lo que indica una pérdida del color anaranjado.

Tablas 1, 2, 3 y 4 muestran la diferencia (ΔE) entre los aceites en variados tiempos y condiciones de almacenamiento. Se eligió el parámetro ΔE como un indicador de la decoloración porque permitió considerar los cambios concomitantes en todos los parámetros de color. El umbral visual que permite a un observador promedio notar la diferencia de tono es de al menos 3 unidades CIELab (Ceballos *et al.*, 2003). En consecuencia, el cambio en el color de las muestras de APC a 26-32 °C se volvió notable ($\Delta E \geq 3$) después de 9 meses de almacenadas (Tabla 1). La ΔE de la muestra de APC almacenada en refrigeración cambió en 12 meses. Estos resultados reflejan el aumento de L^* , b^* y h_{ab} y la reducción de a^* (Tabla 1), lo que indica que la oxidación llevó a una pérdida del color anaranjado en los aceites. El valor de luminosidad L^* aumentó durante todo el periodo de almacenamiento, pues todos los aceites se volvieron más transparentes como un efecto de la degradación (Sikorska *et al.*, 2007). Estos cambios de color fueron causados principalmente por una rápida fotodegradación en el grupo de carotenoides y la presencia de oxígeno en *headspace* es un factor crucial en la degradación de β -carotenos (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004).

Las características de color de los aceites de palma refinados se muestran en las Tablas 2 y 4. Existe una

falta de literatura respecto a los caminos de α , β -carotenos durante las prácticas de refinación y su importancia en la calidad de los aceites totalmente refinados. La cantidad de carotenoides en los aceites crudos no determina el color residual del aceite refinado. Algunos estudios sugieren que, en el aceite terminado, el color se debe principalmente a compuestos de alto peso molecular (HMW, por sus siglas en inglés) derivados de reacciones de oxidación (Silva *et al.*, 2014).

Todas las muestras de aceite refinado se ubicaron en el segundo cuadrante, presentando un a^* negativo y un b^* positivo, lo que indica la intensidad del color amarillo verdoso (Tablas 2, 3 y 4).

Puede concluirse que el fenómeno de cambio de color se volvió más intenso a mayores temperaturas de almacenamiento, con una mayor exposición a la luz y contenido graso insaturado (Sikorska *et al.*, 2007; Pristouri *et al.*, 2010).

Conclusión

Los aceites de palma analizados en este estudio presentaron una buena calidad inicial, de acuerdo con la legislación actual sobre ácidos grasos libres, valor de peróxido y carotenoides, excepto por una muestra de APC, lo que se atribuyó a un almacenamiento inapropiado.

La temperatura de almacenamiento y la exposición a la luz aumentaron la intensidad de las reacciones oxidativas. Estas se caracterizaron por un cambio en el color, un aumento en los ácidos grasos libres y los valores de peróxido, y por una reducción en el periodo de inducción y los carotenoides totales. Por lo tanto, no se recomienda almacenar ningún tipo de aceite de palma en esta condición.

Se observó que, después de 12 meses, los aceites almacenados a 4-8 °C presentaron una mejor estabilidad oxidativa en comparación con otras condiciones de guardado. Por lo tanto, según este estudio, se recomienda almacenar los aceites de palma en refrigeración.

Nótese que los aceites de palma crudos en Bahía se comercializan durante al menos 18 meses y se encuentran expuestos a la luz y a altas temperaturas, empacados en botellas de plástico transparente sin la adición de antioxidantes. Por lo tanto, además de

los hallazgos de este estudio, los resultados también demuestran la necesidad de una legislación específica respecto al aceite de palma y sus componentes, junto con una inspección extensiva y eficiente de su almacenamiento posterior a la venta.

Reconocimientos

Los autores agradecen a CAPES por la subvención y a Agropalma Company (Belém-Pará-Brasil) por donar las muestras de aceite.

Referencias

- Adetola, D. A., Alabi, D. D. & Abdulrauf, O. A. (2016). Onvestigating Storage Duration and Packaging Materials on Quality of Fresh Palm Oil. *FUTA Journal of Research in Sciences*, 12(2), 252-259.
- Ahmad, T., Atta, S., Zeb, A. & Gul, S. (2011). Effect of Saturation and Micro Nutritional Status on Stability of Dietary Oils under Photooxidative Stress Condition. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 33, 343-350.
- Akusu, M. D., Achinewhu, S. C. & Mitchell, J. (2000). Quality Attributes and Storage Stability of Locally and Mechanically Extracted Crude Palm Oils in Selected Communities in Rivers and Bayelsa States, Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 55(2), 119-126. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008197612350>. PMID:10898481.
- Almeida, D. T., Nunes, O. L., Conde, P. L., Rosa, R. P. S., Rogério, W. F. & Machado, E. R. (2013). A Quality Assessment of Crude Palm Oil Marketed in Bahia, Brazil. *Grasas y Aceites*, 64(4), 387-394. Disponible en [http:// dx.doi.org/10.3989/gya.118412](http://dx.doi.org/10.3989/gya.118412).
- Almeida, D. T., Curvelo, F. M., Costa, M. M., Viana, T. V. & Lima, P. C. (2017). Oxidative Stability of Crude Palm Oil after Deep Frying Akara (*Fried Bean Paste*). *Food Science and Technology (Campinas)*, 38(1), 142-147. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.02217>.
- American Dil Chemists' Society (ADCS). (2003). *Official Methods of Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society* (Methods Ca 5a-40, ADCS, Cd 8b-90). Champaign: ADCS Press.
- Andreu-Sevilla, A., Hartmann, A., Sayas, E., Burló-Carbonell, F., Delgado-Estrella, P., Valverde, J. M. & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2008). Mathematical Quantification of Total Carotenoids in Sioma Oil Using Color Coordinates and Multiple Linear Regression During Deep-frying Simulations. *European Food Research and Technology*, 226(6), 1283-1291. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-007-0656-2>.
- Borsato, D., Maia, E. C. R., Dall'Antonia, L. H., Silva, H. C. & Pereira, J. L. (2012). Kinetics of Oxidation of Biodiesel from Soybean Oil Mixed with TBHQ: Determination of Storage Time. *Quimica Nova*, 35(4), 733-737. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000400015>.

- Brasil, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2005, Septiembre 22). Resolução-RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Disponible en <http://www.anvisa.gov.br>
- Ceballos, C., Moyano, M. J., Vicario, O. S., Alba, J. & Heredia, F. J. (2003). Chromatic evolution of virgin olive oils submitted to an accelerated oxidation test. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(3), 257-262. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-003-0686-0>.
- Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Food Science and Food Safety*, 5(4), 169-186. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>.
- Codex Alimentarius. (2013). *Codex standard for named vegetable oils: Codex-Stan 210*. Rome: FAD/WHD.
- Edem, D. D. (2002). Palm oil: Biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects: a review. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 57(3-4), 319-341. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1021828132707>. PMID:12602939.
- Farhoosh, R., Einafshar, S., & Sharayei, P. (2009). The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. *Food Chemistry*, 115(3), 933-938. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.035>.
- Frank, N. E. G., Albert, M. M. E., Laverdure, D. E. E., & Paul, K. (2011). Assessment of the quality of crude palm oil from smallholders in Cameroon. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2, 52-58.
- Gee, P. T. (2007). Analytical characteristics of crude and refined palm oil and fractions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(4), 373-379. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.200600264>.
- Gunstone, F. D., & Lin, S. W. (2011). Vegetable oils in food technology: composition, properties and use. *Palm Oil*, p. 59-93. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444339925>.
- Läubli, M. W., & Bruttel, P. A. (1986). Determination of the oxidative stability of fats and oils: comparison between the active oxygen method (ADCS Cd 12-57) and the Rancimat method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(6), 792-795. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02541966>.
- Mba, D. O., Dumont, M. J., & Ngadi, M. (2015). Onfluence of palm oil, canola oil and blends on characteristics of fried plantain crisps. *British Food Journal*, 117(6), 1793-1807. <http://dx.doi.org/10.1108/BFJ-04-2014-0155>.
- Nkpa, N. N., Dsanu, F. C., & Arowolo, T. A. (1990). Effect of packaging materials on storage stability of crude palm oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 67(4), 259-263. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02540653>.
- Oil World. (2013). Tomado de <http://www.oilworld.biz/app.php>

- Pristouri, G., Badeka, A., & Kontominas, M. G. (2010). Effect of packaging material headspace, oxygen and light transmission, temperature and storage time on quality characteristics of extra virgin olive oil. *Food Control*, 21(4), 412-418. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.06.019>.
- Rodríguez-Amaya, D. B., & Kimura, M. (2004). *Harvestplus handbook for carotenoid analysis* (HarvestPlus Technical Monograph, No 2). Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Sambanthamurthi, R., Sundram, K., & Tan, Y. (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*, 39(6), 507-558. [http://dx.doi.org/10.1016/S0163-7827\(00\)00015-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0163-7827(00)00015-1). PMID:11106812.
- Sikorska, E., Caponio, F., Bilancia, M., Summo, C., & Pasqualone, A. (2007). Changes in colour of extra-virgin olive oil during storage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57, 495-498.
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., De Greyt, W., & Meirelles, A. J. A. (2014). Effect of type of bleaching earth on the final color of refined palm oil. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 59(2), 1258-1264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.028>.
- Tagoe, S. M. A., Dickinson, M. J., & Apetorgbor, M. M. (2012). Factors influencing quality of palm oil produced at the cottage industry level in Ghana. *International Food Research Journal*, 19, 271-278.
- Tan, C. H., Ariffin, A. A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., Kuntom, A., & Choo, A. C. (2017). Changes in oxidation indices and minor components of low free fatty acid and freshly extracted crude palm oils under two different storage conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1757-1764. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197017-2569-9>. PMID:28720930.
- Tan, Y. A., Low, K. W., Lee, C. K., & Low, K. S. (2010). Omaging technique for quantification of oil palm fruit ripeness and oil content. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(8), 838-843. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201000020>.
- Villela, A. A., Jaccoud, D. A. B., Rosa, L. P., & Freitas, M. V. (2014). Status and prospects of oil palm in the Brazilian Amazon. *Biomass and Bioenergy*, 67, 270-278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.05.005>.
- Vincent, C. J., Shamsudin, R., & Baharuddin, A. S. (2014). Pre-treatment of oil palm fruits: a review. *Journal of Food Engineering*, 143, 123-131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.022>.
- Warner, K., & Nelsen, T. (1996). ADCS collaborative study on sensory and volatile compound analyses of vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(2), 157-166. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02523889>.
- Zambiasi, R. C., & Zambiasi, M. (2000). Vegetable oil oxidation: effect of endogenous components. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimento*, 34, 22-32.