Efecto de la maduración del fruto en el contenido y composición química del aceite de tres materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) cultivados en Colombia

Effect of Fruit Ripening on Content and Chemical Composition of Oil from Three Oil Palm Cultivars (*Elaeis guineensis* Jacq) Grown in Colombia (*J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 10136–10142)

Autores

Fausto Prada
Asistente de investigación, Programa de Biología y Mejoramiento, Cenipalma, fprada@cenipalma.org
Iván M. Ayala-Díaz
Asistente de investigación, Programa de Biología y Mejoramiento, Cenipalma, iayala@cenipalma.org
Wilman Delgado
Profesor asistente, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, wadelgadoa@unal.edu.co
Rodrigo Ruiz-Romero
Investigador asociado, Programa de Biología y Mejoramiento, Cenipalma, rruiz@cenipalma.org
Hernán M. Romero
Coordinador del Programa Biología y Mejoramiento, Cenipalma, hromero@cenipalma.org

Palabras clave

HPLC, lípidos, triacilglicerol, ácidos grasos, tocoles, carotenos, aceite de palma.
HPLC, lipids, triacylglycerol, fatty acids, tocols, carotenoids, palm oil.

Recibido: 8 mayo 2012
Aprobado: 24 julio 2012

Resumen

Cuando los racimos de la palma de aceite se maduran se presentan una serie de cambios físicos y químicos en el fruto. Este estudio evaluó los cambios en la cantidad de lípidos (aceite) en el mesocarpio y los frutos, la composición química de ácidos grasos (AG), triacilgliceroles (TAG), tocoles y carotenos en los lípidos extraídos de frutos de tres materiales comerciales Ténera: Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros, plantados en dos localidades de Colombia. Las evaluaciones se realizaron durante el proceso de maduración a las 12, 14, 16, 18, 20, 22 y 24 semanas después de la antesis (SDA). Se encontró que en las 12 SDA el mesocarpio contenía menos de 6% de lípidos totales. El contenido de aceite aumentó rápidamente después de las 16 SDA, alcanzando el máximo de 55% en el mesocarpio fresco y 47% en los frutos frescos a las 22 SDA, considerado como el tiempo óptimo para la cosecha. Los cambios en los AG y en los TAG mostraron que los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y los triacilgliceroles triinsaturados (TUTAG) disminuyeron, mientras que el total de los ácidos grasos saturados (SFA) y triacigliceroles disaturados (DSTAG) aumentaron durante el período de maduración. Los cambios en los AG se observaron principalmente en los ácidos linolénico, linoleico, oleico y palmítico y en POP, POO, POL y OLL para los TAG evaluados. Los niveles de tocoles cambiaron dependiendo de si estos eran tocoferoles o tocotrienoles. En las primeras etapas de evaluación, los tocoferoles predominaban pero disminuyeron rápidamente pasando de 6600 mg kg-1 de aceite en las 14 SDA a 93 mg kg-1 de aceite en las 22 SDA. Los tocotrienoles aparecieron en el inicio de la síntesis del aceite y se convirtieron en la fuente principal de tocoles al final de proceso de maduración, equivalente a 87% del total presente en el aceite.

Abstract

A series of physical and chemical changes occur as oil palm fruits ripen in the bunch. We evaluated changes in lipid content in the mesocarp and fruits, and the chemical composition of fatty acids (FA), triacylglycerol (TAG), tocols, and carotenes of the lipids extracted from fruits of three commercial Tenera cultivars, namely, Deli x La Mé, Deli x Ekona, and Deli x Avros, planted in two different geographical regions in Colombia, during the ripening process 12, 14, 16, 18, 20, 22, and 24 weeks after anthesis (WAA). It was found that 12 WAA the mesocarp contained less than 6% of total lipids. Oil content increased rapidly after 16 WAA, reaching the maximum oil content of 55% in fresh mesocarp and 47% in fresh fruits at 22 WAA, which was found the optimal time for harvesting. Changes in FA and TAG showed that total polyunsaturated fatty acids (PUFA) and triunsaturated triacylglycerols (TUTAG) decreased, while total saturated fatty acids (SFA) and disaturated triacylglycerols (DSTAG) increased, over the ripening period. Changes in FA were mainly observed in palmitic, oleic, linoleic, and linolenic acids, and in POP, POO, POL, and OLL for the TAGs evaluated. Levels of tocols changed depending on whether they were tocopherols or tocotrienols. In the earliest stages tocopherols were predominant but decreased rapidly from 6600 mg kg-1 of oil at 14 WAA to 93 mg kg-1 of oil at 22 WAA. Tocotrienols appeared at the same time as oil synthesis started, and became the main source of total tocols, equivalent to 87% in total lipids extracted.

Introducción

La palma de aceite es una monocotiledónea del género *Elaeis*. Es una de las plantas oleaginosas más productivas, alcanzando un promedio de 4.4 toneladas anuales por hectárea. El aceite de palma es la fuente principal de aceite vegetal a nivel mundial, con más de 45 millones de toneladas producidas en 2009 (Fedepalma, 2010). El género *Elaeis* abarca dos especies: *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleifera*. La *E. guineensis* tiene su origen en la región tropical de África Occidental. El cruce entre Dura x Pisífera conocido como Ténera es la variedad más cultivada en todo el mundo. La *E. oleifera* nativa de Centroamérica y el norte de Suramérica se conoce por su aceite con mayor contenido de ácido oleico que la variedad Ténera y ha mostrado resistencia parcial a algunas enfermedades que afectan a las *E. guineensis* (Rey *et al*., 2007).

El fruto está conformado por tres partes: el exocarpio o cáscara; el mesocarpio que contiene el aceite crudo de palma, utilizado para consumo humano y como materia prima para muchos procesos industriales; y el endocarpio o cuesco que cubre el endospermo o almendra del cual se obtiene el aceite de palmiste. Este aceite tiene diversos usos en la industria. La formación del aceite en el fruto (mesocarpio) y el conocimiento sobre su composición durante el desarrollo del fruto ha sido objeto de interés dentro del campo de la investigación en fisiología y mejoramiento de variedades en la industria de la palma de aceite.

Existen varios reportes sobre el proceso de acumulación de diversos tipos de lípidos en el mesocarpio de la *Elaeis guineensis* tipo Dura, Pisífera y Ténera (Bafor y Osagie, 1986; Oo *et al*., 1986; Bafor y Osagie, 1988; George y Arumughan, 1991; Bora *et al*., 2003) y recientemente en otras especies (Bucheli *et al*., 2001; Tsydendambaev y Vereshchagin, 2003; Turan *et al*., 2007; Msaada *et al*., 2009; Menz y Vriesekoop, 2010; Xu *et al*., 2010). Sin embargo, existen pocos reportes de los cambios en el contenido individual de AG y TAG, los cuales re-

presentan entre 90 y 95% de la composición lipídica del aceite de palma (George y Arumughan, 1991; Sundram *et al*., 2003) y la variación de carotenoides y tocoles durante la acumulación del aceite en el mesocarpio y la maduración del fruto. Los carotenoides y tocoles confieren características especiales al aceite crudo de palma debido a sus propiedades biológicas que juegan un papel esencial en la nutrición y en la salud humana (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996). Adicionalmente, su ocurrencia en plantas ha ganado importancia debido a la relación de estos con muchas interacciones celulares necesarias para su supervivencia (Munné-Bosh y Alegre, 2002). De otra parte, el contenido de AG y TAG en el mesocarpio puede cambiar considerablemente durante el proceso de maduración, tanto en cantidad como en calidad para las condiciones climáticas de los trópicos. Comprender los cambios físicos y químicos en la formación de los lípidos y la composición de AG, TAG, carotenoides y tocoles durante su biosíntesis es necesario para establecer el tiempo óptimo de cosecha. Además, estos estudios pueden ser el primer paso para desarrollar estrategias que conduzcan a la producción de variedades con mayores contenidos de aceite en los frutos, una composición modificada de los ácidos grasos y mayores concentraciones de tocoles o carotenos en las especies *E. guineensis* o *E. oleifera*.

El objeto de este estudio es evaluar los cambios en el peso del fruto, el contenido total de aceite, la composición de AG, TAG, carotenos y tocoles en el aceite durante la maduración del fruto de tres materiales de *Elaeis guineensis* cultivados en dos localidades de Colombia, con el fin de mejorar el entendimiento del desarrollo del fruto, lo cual resulta útil para determinar el punto óptimo de cosecha y en investigaciones de fisiología y mejoramiento genético de la palma.

Materiales y métodos

• **Reactivos.** Los TAG individuales OLL, PLL, MLP, OOL, POL, PLP, OOO, POO, POP, PPP, SOO y POS (O, oleico; P, palmítico; M, mirístico; L, linoleico; S, esteárico) de pureza >98% fueron de Sigma (Steinheim, Alemania). La mezcla de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME, *fatty acid methyl esters*) de 37 componentes, 10 mg/mL, se adquirió de Supelco (Bellefonte, PA). El metanol, acetonitrilo, 2-propanol y hexano grado HPLC, el cloroformo, hidróxido de potasio y BF_3/MeOH al 20% grado reactivo se compraron a Merck (Darmstadt, Alemania); el agua grado HPLC se obtuvo utilizando un sistema de purificación Millipore Milli-Q Academic (Sao Paulo, Brasil); los estándares de β-caroteno (99%), α-, β-, γ-, y δ-tocoferol (>95%) y α-, β-, γ-, y δ-tocotrienol (>95%) se obtuvieron de Callbiochem (Darmstadt, Alemania); el papel de celulosa se adquirió de Whatman (Maidstone, Inglaterra) y el nitrógeno gaseoso se compró a Linde (Bucaramanga, Colombia).

• **Material vegetal.** La investigación se realizó utilizando palmas *Elaeis guineensis* de cinco años plantadas en dos sitios diferentes en Colombia. Las palmas correspondían a tres materiales morfológica y genéticamente contrastantes. Los primeros dos materiales, Deli x Ekona y Deli x La Mé, provenientes de ASD (Costa Rica), estaban plantados en el municipio de Puerto Wilches (Localidad 1). El tercer material, Deli x Avros, producido en Colombia, se plantó en el Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma (Localidad 2); ambos sitios ubicados en Santander, Colombia. El material Deli x Ekona es robusto, con una mayor superficie foliar, peciolos más largos (por encima de 5 m en la etapa adulta) y mayor crecimiento vertical del tallo en comparación con el material Deli x La Mé. El material Deli x La Mé es de porte más compacto y produce un gran número de racimos de bajo peso promedio. Finalmente, el Deli x Avros es de crecimiento rápido, con emisión abundante de hojas y racimos grandes. Para determinar la variación en el peso del fruto medio y el contenido de lípidos, AG, TAG y tocoles durante la maduración del fruto en el racimo, se etiquetaron las inflorescencias femeninas en la etapa de antesis. Las inflorescencias se polinizaron

de forma natural. Se seleccionó un mínimo de 42 inflorescencias para cada variedad a fin de evaluar seis racimos en cada etapa en las 12, 14, 16, 18, 20, 22 y 24 SDA. La variación en contenido de carotenos se determinó únicamente en los racimos de Deli x Ekona y Deli x La Mé, plantados en la localidad de Puerto Wilches.

Análisis de racimo y determinación del contenido total de aceite

El análisis de los racimos se realizó utilizando la metodología descrita por García y Yañez, 2000. En cada estado se cosecharon los racimos y se retiraron las espigas del pedúnculo, se tomó una muestra de espigas y se le retiraron los frutos. Estos frutos se dividieron en dos grupos, externos e internos con respecto a las espigas. En cada caso, se determinó el peso medio del fruto y se retiró el mesocarpio de cada muestra de frutos. Para determinar la humedad y el contenido total de aceite, cada muestra de mesocarpio fresco se colocó en el horno a 105°C durante toda la noche. El mesocarpio seco se molió; se colocaron 5g en dedales cerrados para extracción con el equipo Soxhlet durante 24 horas, utilizando hexano como solvente de extracción. El contenido de aceite total se determinó cuantitativamente de forma gravimétrica. El aceite para los análisis cromatográficos se obtuvo de la siguiente forma: una muestra del mesocarpio de los frutos internos y externos de las espigas se horneó a 70°C durante seis horas. El mesocarpio con menor humedad se colocó en un dedal para extracción Soxhlet individual durante ocho horas con hexano, que luego se retiró de la mezcla utilizando un rotoevaporador (Heidolph, Schwabach, Alemania) y las trazas de solvente se retiraron con un flujo de nitrógeno para preservar los tocoles y carotenos. El aceite se recuperó y almacenó para análisis posteriores. En el análisis de carotenos, se mezcló el aceite de los seis racimos del mismo estado de maduración, para obtener una sola muestra.

Análisis cromatográfico de ácidos grasos, triacilgliceroles, tocoles y carotenos

•**Análisis de ácidos grasos.** La preparación de los metil ésteres de ácidos grasos (FAME) se hizo según se describe en el método oficial de la AOCS Ce 2-66 y Ce 1-62. ~ 100 mg de muestra se saponificaron con 2 mL de KOH/MeOH 2 N (70°C, 10 minutos, con agitación) y se derivaron los ácidos grasos libres a los respectivos FAME utilizando 3 mL de BF_3/MeOH (70°C, 5 minutos, con agitación). Los FAME se extrajeron con 2 mL de n-hexano, se analizaron en un cromatógrafo de gases 7890A (Agilent Technologies, Wilmington, EE. UU.) equipado con un detector de ionización de llama y un inyector líquido automático 7683B. Se utilizó una columna capilar de sílice fundida DB23 (60 m x 0,25 mm d.i., 0,25 μm de espesor de la fase estacionaria; J&W Scientific, Folsom, EE. UU.). La temperatura del horno se programó de la siguiente forma: 50°C durante 1 minuto, se aumentó hasta 175°C a 25°C/min. Se aumentó a 230°C a 4°C/min y se mantuvo en 230°C durante 7 min. Las temperaturas del inyector y el detector fueron de 250 y 280°C, respectivamente. El gas de arrastre fue hidrógeno de 33 cm s^{-1}. El *split* fue de 1:50. La identificación de los FAME se realizó en los tiempos de retención comparados con los obtenidos para la mezcla FAME estándar. Los resultados se expresaron como un porcentaje del área pico sin ningún tipo de corrección.

•**Análisis de triacilgliceroles y tocoles.** Los TAG se analizaron de acuerdo con el método oficial del AOCS Ce 5c-93 y según Chen *et al*., 2007, con algunas modificaciones. Los tocoles (α-, β/γ-, y δ-tocoferoles y α-, β/γ-, y δ-tocotrienoles) se analizaron según se describen en Rocha *et al*., 2006. Se utilizó un cromatógrafo líquido Merck-Hitachi detector UV y de fluorescencia en línea. Los lípidos se separaron en una columna Merck Cromolith RP-18e (100 mm x 4,6 mm). Para determinar los TAG se disolvieron 25 mg de aceite en 1 mL de solvente

A (acetronitrilo: 2-propanol: hexano, 55:45:5, v/v). Se inyectó una alícuota (20 μL) en el cromatógrafo y se eluyeron con 96% de solvente A y 4% de agua a 0,8 mL min^{-1} durante 60 minutos. Los TAG se detectaron a 220 nm. Se identificaron picos por medio de la comparación con los estándares y la cuantificación se hizo por normalización de áreas. Para determinar los tocoles, se disolvieron 25 mg de aceite en 1 mL de cloroformo. Se inyectó una alícuota (20 μL) en el cromatógrafo. La separación de los isómeros de tocoles se realizó en modo gradiente. Se utilizaron dos solventes, agua (A) y metanol (B). Las condiciones de operación del gradiente se programaron de la siguiente forma: 80-100% de B en 7,5 minutos, luego se dejó en forma isocrática a 100% B durante 7,5 minutos y se retornó a las condiciones iniciales durante 2 minutos. El tiempo de operación total fue de 17 minutos. El flujo fue de 2.5 mL min^{-1}. Los isómeros de tocoles se detectaron a $\lambda_{excitación}$ de 290 nm y $\lambda_{emisión}$ de 330 nm. Los picos se identificaron comparándolos con los tiempos de retención de los estándares. Los componentes se cuantificaron en función de las áreas de los picos en comparación con las calibraciones de estándares externos.

• **Análisis de α- y β-Caroteno.** Este análisis se hizo de acuerdo con la metodología descrita por Rodríguez-Amaya, 1999. La determinación y cuantificación de los analitos se realizó en los lípidos extraídos del mesocarpio utilizando un cromatógrafo líquido (descrito previamente). Para la determinación de los carotenoides se utilizó la misma columna, los solventes y la gradiente que se usó para determinar los tocoles. El detector UV-Vis se ajustó a 450 nm para determinar el α- y el β-caroteno. La cuantificación se realizó midiendo las áreas y utilizando factores de respuesta de las curvas de calibración de los componentes puros.

Resultados y discusión

El peso promedio de los frutos, durante el proceso de maduración a las 12, 14, 16, 18, 20, 22 y 24 SDA para palmas de cinco años, osciló entre 7,5 y 10,9g para el material Deli x La Mé; 5,5-8,7g para el material Deli x Ekona y 16,0-21,4g para el material Deli x Avros (Tabla 1). Los cambios en el peso promedio del fruto durante el proceso de maduración no mostraron tendencias definitivas en ninguno de los materiales evaluados. Por consiguiente, se observó que desde las primeras semanas de la evaluación hasta el tiempo de cosecha, los materiales estudiados alcanzaron la mayor acumulación de biomasa en el fruto y durante este tiempo únicamente se presentaron transformaciones bioquímicas dentro del mesocarpio.

Los cambios de la acumulación de lípidos totales (aceite) y la humedad en el mesocarpio de

Tabla 1. Cambios en el peso medio del fruto durante su maduración en los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros.

SDA	Peso medio del fruto, g		
	Deli x La Mé	Deli x Ekona	Deli x Avros
12	7,8 ± 2,1	5,5 ± 0,6	-
14	7,5 ± 0,3	6,8 ± 1,4	16,8 ± 1,7
16	8,1 ± 1,0	6,4 ± 1,2	16,0 ± 1,7
18	9,3 ± 2,2	5,8 ± 1,4	15,6 ± 1,6
20	8,1 ± 1,1	6,9 ± 1,0	16,8 ± 1,8
22	7,6 ± 2,4	7,7 ± 1,7	19,6 ± 2,1
24	10,9 ± 0,6	8,7 ± 1,1	21,4 ± 2,8

Tabla 2. Cambios en lípidos totales (aceite) y contenido de humedad en el mesocarpio durante la maduración de frutos de los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros.

SDA	Lípidos totales (g/100g mesocarpio fresco)			Humedad (g/100g mesocarpio fresco)		
	Deli x La Mé	Deli x Ekona	Deli x Avros	Deli x La Mé	Deli x Ekona	Deli x Avros
12	6,2 ± 3,6	5,3 ± 2,8	-	73,9 ± 6,0	77,1 ± 3,6	-
14	7,8 ± 4,2	10,9 ± 3,7	1,2 ± 1,9	74,5 ± 4,4	71,1 ± 4,6	80,8 ± 4,2
16	5,9 ± 4,3	4,3 ± 1,7	1,2 ± 1,4	75,4 ± 5,7	77,2 ± 2,0	73,7 ± 1,9
18	20,3 ± 7,3	17,6 ± 3,2	9,8 ± 6,5	61,6 ± 7,1	60,0 ± 4,6	72,9 ± 5,4
20	36,3 ± 5,3	37,0 ± 11,0	26,2 ± 10,3	44,6 ± 4,8	43,7 ± 12,0	57,1 ± 9,3
22	54,7 ± 2,7	49,5 ± 3,5	42,8 ± 8,1	29,7 ± 3,2	33,4 ± 4,3	39,4 ± 8,3
24	49,3 ± 3,0	47,1 ± 5,6	48,4 ± 6,4	28,6 ± 4,4	25,3 ± 2,2	34,3 ± 6,9

los frutos desde las 12 a las 24 SDA se muestran en la Tabla 2. A diferencia del peso promedio del fruto que permanece prácticamente constante en todos los estados (Tabla 1), se presentan cambios en el mesocarpio que se reflejaron en la síntesis de los lípidos. La síntesis comenzó en las 16 SDA y aumentó rápidamente dentro de las seis semanas posteriores. El mayor contenido de aceite se alcanzó en las 22 o 24 SDA, de acuerdo con el material. Los materiales Deli x La Mé y Deli x Ekona, plantados en la Localidad 1, mostraron 54,7 y 49,5% de aceite en el mesocarpio fresco a las 22 SDA, respectivamente; mientras que el material Deli x Avros, plantado en la Localidad 2, mostró un 48,4% de aceite en el mesocarpio fresco en las 24 SDA.

Al contrario, la humedad en el mesocarpio disminuyó al mismo tiempo en que maduraban los frutos y osciló de 80,8 a 25,3% para todos los materiales evaluados. Esta característica se ha utilizado para calcular el contenido de aceite en el mesocarpio fresco utilizando una ecuación simple (García y Yañez, 2000). Para los materiales Deli x Avros y Deli x Ekona, la humedad en el mesocarpio siguió disminuyendo después de alcanzar el máximo contenido de aceite en las 22 SDA; esto ocurrió debido a la deshidratación del fruto. A pesar de las diferencias en semanas para alcanzar el mayor valor de aceite en el mesocarpio de acuerdo con el tipo de material o la localidad, se concluyó que el tiempo óptimo de cosecha correspondía a las 22 SDA para todos los materiales evaluados, dado que también se observó que en las 24 SDA, muchos frutos ya se habían caído del racimo y otros mostraron un alto grado de deterioro o de sobremaduración, lo cual podría representar pérdidas económicas para la plantación. Los resultados de este estudio son consistentes con estudios previos realizados por Ruiz, 2005. El autor reportó que la acumulación de lípidos máxima en frutos frescos de la *Elaeis guineensis* ocurría después de las 20 SDA.

Con respecto al contenido de lípidos totales en frutos frescos (Tabla 3), se observó la misma tendencia encontrada en el mesocarpio fresco. En las primeras etapas (12 a 16 SDA) solamente hubo entre 1 a 8% de lípidos totales presentes en los frutos; después de las 16 SDA ocurrió un rápido aumento en la acumulación de lípidos, alcanzando 41,9, 46,6 y 43,2% de aceite en los frutos frescos para los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros, respectivamente. Se han reportado tendencias similares en cuanto a la acumulación de aceite en otras especies (Msaada *et al*., 2009; Xu *et al*., 2010). Los materiales Deli x La Mé y Deli x Ekona mostraron una leve disminución en el promedio de contenido

Tabla 3. Cambios en el contenido de aceite en frutos frescos durante su maduración en los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros.

SDA	g aceite/100g frutos frescos		
	Deli x La Mé	Deli x Ekona	Deli x Avros
12	4,7 ± 2,8	3,9 ± 2,3	-
14	6,1 ± 3,1	7,9 ± 2,6	1,0 ± 1,7
16	4,6 ± 3,3	3,3 ± 1,1	1,1 ± 1,2
18	15,8 ± 5,8	13,2 ± 2,6	8,4 ± 5,7
20	29,6 ± 5,1	28,1 ± 6,7	22,9 ± 9,2
22	46,6 ± 2,8	41,9 ± 3,0	37,9 ± 7,7
24	40,7 ± 2,5	39,4 ± 4,8	43,2 ± 6,0

de lípidos en el fruto en las 24 SDA. Se encontró que esta disminución en el contenido de aceite era concordante con la sobremaduración y con la aparición de baja calidad de frutos en los racimos. Estos resultados son congruentes con los datos reportados por Bafor y Osagie, 1986 y Oo *et al*. 1986, quienes midieron independientemente la acumulación de diferentes clases de lípidos en el mesocarpio de la palma de aceite, incluyendo lípidos totales durante el desarrollo del fruto en palmas *Elaeis guineensis*. En ambos casos, la acumulación de aceite tuvo su pico a las 22 SDA. Sin embargo, Sambanthamurti *et al*., 2000, encontraron que las palmas Ténera comerciales de Malasia alcanzaban la máxima acumulación de lípidos totales a las 20 SDA, mientras que en las palmas nigerianas, la acumulación ocurría entre las 18 y 22 SDA. Las fluctuaciones en el contenido de aceite, que se muestran entre este y otros reportes, se pueden atribuir a las diferencias de edad, el material o a las condiciones ambientales (Bafor y Osagie, 1986) y se deben evaluar profundamente en palma de aceite lo cual se podría utilizar para seleccionar materiales adaptados y de mayor rendimiento (Singkham *et al*., 2010).

Los perfiles de ácidos grasos presentaron considerables variaciones para los seis estados evaluados para el material Deli x Avros (Tabla 4). Se evaluó un total de siete AG principales durante todas las etapas. Los AG se agruparon de acuerdo con el número de enlaces dobles presentes en la estructura como ácidos grasos saturados (SFA, *saturated fatty acids*), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA, *monounsaturated fatty acids*) y ácidos grasos poliinsaturados

Tabla 4. Cambios en la composición de ácidos grasos principales durante la maduración de los frutos del material Deli x Avros.

SDA	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
14	0,6 ± 0,2	29,9 ± 4,0	4,5 ± 0,1	3,3 ± 0,7	19,1 ± 2,7	33,3 ± 3,4	10,2 ± 2,6
16	0,4 ± 0,1	31,6 ± 3,1	2,8 ± 0,1	3,2 ± 0,6	29,9 ± 5,5	28,1 ± 5,1	4,6 ± 2,4
18	0,4 ± 0,1	38,3 ± 1,2	1,5 ± 0,0	4,4 ± 1,1	37,4 ± 2,0	18,2 ± 2,5	0,8 ± 0,2
20	0,6 ± 0,1	40,7 ± 1,9	1,2 ± 0,1	4,7 ± 1,0	39,4 ± 2,2	13,7 ± 1,2	0,4 ± 0,0
22	0,9 ± 0,1	44,2 ± 3,9	1,3 ± 0,0	5,0 ± 1,1	37,3 ± 4,0	11,6 ± 0,8	0,3 ± 0,1
24	1,1 ± 0,1	44,9 ± 2,0	1,3 ± 0,0	4,8 ± 0,9	36,8 ± 2,7	11,3 ± 1,2	0,3 ± 0,0

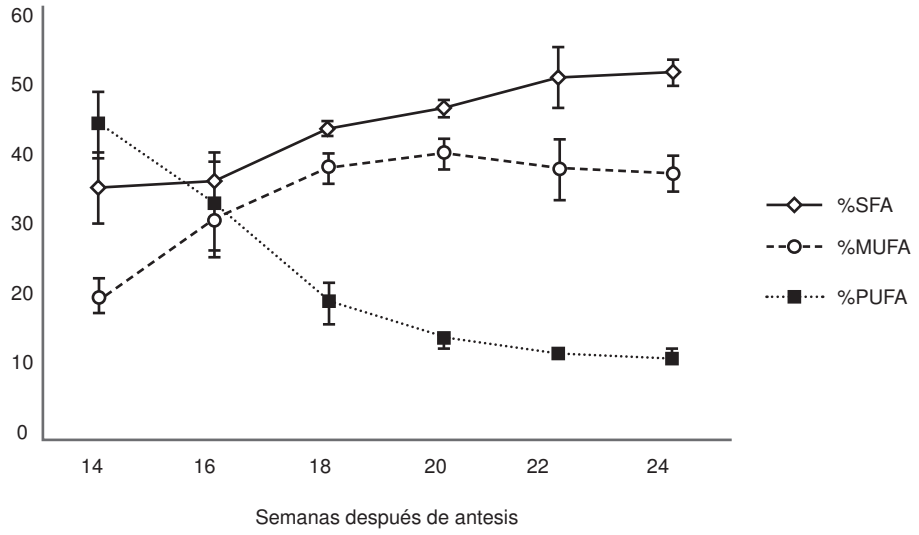


Figura 1. Cambios en los SFA, MUFA y PUFA durante la maduración de los frutos del material Deli x Avros. Las barras representan la desviación estándar con respecto a la media (n = 6).

(PUFA, *polyunsaturated fatty acids*) (Figura 1). En las primeras etapas evaluadas (14 SDA), los SFA representaron 35,0% del total de AG en los cuales los aportes del palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), y mirístico (C14:0) fueron de 29,9; 3,3 y 0,6%, respectivamente. Los MUFA representaron 19,6% del total de AG con aportes de oleico (C18:1) y palmitoleico (C16:1) de 19,1 y 4,5%, respectivamente. Los PUFA representaron 43,6% de los AG totales, en los cuales el aporte fue del linoleico (C18:2) fue de 33,3 y el linolenico (C18:3), de 10,2%. Durante el desarrollo del fruto, los valores de los PUFA disminuyeron, mientras que los MUFA y los SFA aumentaron (Figura 1). En la etapa de cosecha (22 SDA), los valores de PUFA, MUFA y SFA fueron de 11,9; 37,5 y 50,3%, respectivamente. Se presentaron cambios en los AG principalmente en los ácidos linoleico y linolenico, los cuales disminuyeron de 33,3 a 11,6% y de 10,2 a 0,3%; en los ácidos oleico y palmítico aumentaron de 19,1 a 37,3% y de 29,9 a 44,2%.

Las concentraciones de ácidos grasos principales en el tiempo óptimo de cosecha (22 SDA) fueron 44,2 para el palmítico; 37,3 oleico; 11,6 linoleico y 5,0% esteárico. Los AG menores fueron el palmitoleico, el mirístico y el linolenico con 1,3; 0,9 y 0,3%, respectivamente. Estos datos fueron congruentes con los informes anteriores sobre la composición de ácidos grasos del aceite crudo de palma: 39-47% para palmítico, 36-44% para oleico y 9-12% para linoleico (Rincón y Martínez, 2009). Bafor y Osagie, 1986 y Oo *et al*., 1986 también reportaron la composición de ácidos grasos en diferentes etapas de desarrollo de los frutos y mostraron que los principales cambios ocurrían en los ácidos palmítico, oleico y linoleico. Los resultados encontrados por Oo *et al*., 1986 demostraron que para las primeras etapas de formación de los frutos (8 SDA), la concentración de los ácidos linoleico y oleico fue de 20,6 y 18,9%, en comparación con la composición de 11,1 y 36,7% en las 20 SDA.

La composición de AG se puede utilizar para evaluar la calidad nutricional de las grasas y los aceites; sin embargo, este estudio también incluyó cambios en la composición de TAG durante el proceso de maduración del fruto (Tabla 5). Los principales TAG evaluados durante los diferentes estados fueron OLL, PLL, MLP, OOL, POL, PLP, OOO, POO, POP, PPP, SOO y POS. La Figura 2

Tabla 5. Cambios en los principales triacilgliceroles durante la maduración de los frutos de los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros.

SDA	OLL	PLL	MLP	OOL	POL	PLP	OOO	POO	POP	PPP	SOO	POS
Deli x La Mé												
12	30,3 ± 12,0	25,7 ± 9,8	3,9 ± 0,3	6,9 ± 6,1	5,2 ± 4,1	12,8 ± 7,2	1,5 ± 1,0	5,8 ± 1,8	0,9 ± 0,5	5,3 ± 3,6	1,7 ± 0,9	n,d
14	5,1 ±0,5	6,4 ± 7,8	1,3 ± 0,1	6,9 ± 1,5	22,0 ± 1,0	13,6 ± 0,5	5,6 ± 1,1	16,5 ± 3,9	18,0 ± 0,7	2,1 ± 0,0	0,8 ± 0,0	1,2 ± 0,6
16	4,9 ±2,7	7,1 ± 3,5	1,5 ± 0,1	4,3 ± 0,2	18,4 ± 2,1	16,2 ± 4,9	3,5 ± 0,2	15,5 ± 2,9	21,3 ± 2,3	3,1 ± 0,1	1,2 ± 0,4	2,6 ± 0,5
18	1,0 ±0,6	5,7 ± 0,1	0,8 ± 0,6	3,6 ± 0,7	16,3 ± 1,3	15,0 ± 0,5	4,2 ± 0,5	21,5 ± 0,5	25,3 ± 1,5	1,6 ± 0,2	0,9 ± 0,2	3,5 ± 0,7
20	0,6 ±0,3	5,1 ± 0,7	0,7 ± 0,6	3,2 ± 0,3	16,2 ± 0,3	14,7 ± 0,7	3,6 ± 0,1	22,0 ± 0,4	26,4 ± 1,4	0,8 ± 0,2	2,1 ± 0,5	4,4 ± 0,9
22	1,2 ±0,5	5,7 ± 1,6	1,1 ± 1,0	3,3 ± 0,0	17,4 ± 0,4	15,8 ± 0,2	3,1 ± 0,1	19,5 ± 1,5	24,4 ± 1,6	1,4 ± 0,6	2,2 ± 0,7	3,8 ± 0,3
24	0,9 ±0,4	5,3 ± 1,0	0,8 ± 0,7	2,9 ± 0,2	16,6 ± 0,4	16,7 ± 0,8	2,6 ± 0,1	19,0 ± 0,1	27,4 ± 1,3	1,0 ± 0,5	1,5 ± 0,4	2,6 ± 0,5
Deli x Ekona												
12	36,2 ± 13,0	9,1 ± 7,5	7,5 ± 4,8	10,9 ± 7,5	6,5 ± 4,8	10,5 ± 9,5	1,8 ± 1,4	6,3 ± 5,0	4,3 ± 2,3	3,6 ± 1,6	1,0 ± 0,2	0,7 ± 0,3
14	27,8 ± 10,5	6,1 ± 5,4	2,3 ± 1,2	9,0 ± 4,2	14,8 ± 7,5	11,4 ± 1,9	2,4 ± 1,8	9,2 ± 4,8	13,3 ± 4,7	1,0 ± 0,3	1,0 ± 0,2	1,2 ± 0,6
16	4,4 ± 2,8	7,1 ± 2,4	0,8 ± 0,7	3,3 ± 0,5	15,2 ± 3,8	14,9 ± 4,3	3,7 ± 1,1	19,5 ± 5,1	23,5 ± 3,9	2,6 ± 0,1	1,2 ± 0,6	3,6 ± 1,2
18	2,0 ± 0,9	5,7 ± 0,1	0,5 ± 0,2	4,1 ± 0,1	16,2 ± 1,4	12,8 ± 3,1	5,0 ± 0,7	22,8 ± 1,4	23,2 ± 1,4	1,3 ± 0,2	1,6 ± 0,6	4,0 ± 1,4
20	1,2 ± 0,6	5,7 ± 0,1	1,0 ± 0,1	3,7 ± 0,4	16,2 ± 0,4	13,7 ± 0,7	3,8 ± 0,2	21,6 ± 0,2	24,6 ± 1,1	1,1 ± 0,6	2,5 ± 0,1	4,6 ± 0,5
22	1,6 ± 0,1	6,4 ± 0,8	1,6 ± 0,2	4,0 ± 1,0	16,5 ± 1,1	13,3 ± 3,5	3,9 ± 1,3	20,4 ± 2,7	22,6 ± 1,1	1,4 ± 0,6	3,1 ± 0,5	4,7 ± 0,9
24	1,1 ± 0,1	5,2 ± 1,3	0,7 ± 0,7	3,6 ± 0,6	17,1 ± 0,3	15,1 ± 2,0	3,3 ± 0,8	21,1 ± 2,3	26,2 ± 1,3	1,5 ± 1,1	1,8 ± 0,8	2,9 ± 1,4
Deli x Avros												
18	5,6 ± 2,8	6,6 ± 1,0	0,5 ± 0,5	5,2 ± 2,5	16,7 ± 2,6	14,2 ± 2,9	3,7 ± 0,6	16,8 ± 1,0	19,6 ± 1,8	3,9 ± 3,3	2,1 ± 1,4	3,5 ± 1,5
20	1,6 ± 1,0	6,4 ± 1,6	n.d	4,5 ± 0,7	17,7 ± 0,8	15,5 ± 3,1	3,8 ± 0,3	18,5 ± 0,3	20,8 ± 2,3	2,6 ± 0,9	2,1 ± 0,9	4,9 ± 2,8
22	1,9 ± 0,4	9,1 ± 1,5	n.d	3,8 ± 1,3	16,5 ± 0,5	16,7 ± 1,5	2,8 ± 0,6	16,3 ± 1,9	23,8 ± 0,5	3,6 ± 0,8	1,1 ± 0,3	3,5 ± 0,5
24	1,6 ± 1,5	8,1 ± 1,6	n.d	3,4 ± 1,6	15,6 ± 0,7	16,6 ± 2,8	2,0 ± 0,8	15,3 ± 2,5	24,8 ± 1,5	4,9 ± 1,3	2,1 ± 1,0	4,4 ± 1,9

muestra un perfil HPLC típico para los TAG en las 22 SDA. Los TAG se agruparon de acuerdo con el tipo de AG enlazado a la estructura de glicerol como triacilgliceroles disaturados (DSTAG), triacilgliceroles monosaturados (MSTAG) y triacilgliceroles triinsaturados (TUTAG). Se encontró que las tendencias en los cambios del TAG fueron similares para todos los materiales considerados en este estudio. Para analizar esta parte, se tomó como ejemplo el material Deli x La Mé. En las primeras etapas evaluadas (12 SDA), los DSTAG representaron el 17,6% del total de TAG (Figura 3) en el cual los aportes de PLP, MLP y POP fueron de 12,8; 3,9 y 0,9%, respectivamente. Los MSTAG representaron el 38,4% de los TAG totales (Figura 4) con aportes de PLL, POO, POL y SOO de 25,7; 5,8; 5,2 y 1,7%, respectivamente. Los TUTAG representaron el 38,7% del total de TAG (Figura 5) con aportes de OLL, OOL y OOO de 30,3; 6,9; y 1,5%.

Durante todas las etapas evaluadas, la variación más prominente TAG se presentó entre la 2 y 16 SDA; esta es una etapa crítica en la formación de aceite en el mesocarpio. Después de las 18 SDA la proporción TAG permaneció casi constante (Figuras 3-5). Durante la maduración del fruto, los DSTAG totales aumentaron de 17,6 a 47,4% y los MSTAG aumentaron de 38,4 a 44,8, mientras que los TUTAG disminuyeron de 38,7 a 6,3%. Se observaron cambios en los TAG principalmente para POP, POO, POL y OLL. Se encontró que el POP aumentó su proporción de 0,9 a 27,4%, el POO de 5,8 a 19,0% y el POL de 5,2 a 16,6%, mientras que el OLL disminuyó de 30,3 a 0,9%. También, se encontró que los TAG que aumentaron proporcionalmente fueron aquellos que contenían ácidos grasos oleico y palmítico y los que disminuyeron, ácido linoleico principalmente. Esta observación concuerda con los resultados mostrados antes en el análisis de los AG durante el proceso de maduración de los frutos.

La composición típica de TAG en el aceite crudo de palma se presentó en los frutos de las 22 SDA (Tabla 5). El cambio de la cantidad relativa de TAG reportado en este estudio fue ligeramente diferente al reportado para Malasia por Sambanthamurthi *et al*., 2000 y Chen *et al*., 2007. Mientras que el aceite de los materiales Ténera estudiados en este reporte contenían principalmente 22,6-24,4% de POP; 16,3-20,4% de POO; 13,3-16,7% de PLP y 16,5-17,4% de POL, Chen *et al*., 2007 reportó 29,9; 25,6; 9,0 y 9,9%, respectivamente. A partir de estos datos, no es posible encontrar una explicación razonable para esta situación; sin embargo, es parte de resultados interesantes para encontrar diferencias mediante el estudio

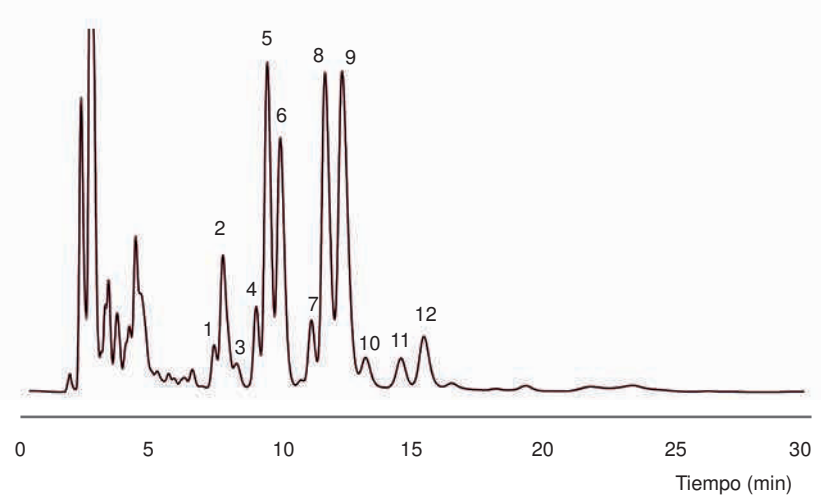


Figura 2. Perfil de TAG de una muestra extraída del mesocarpio en las 22 SDA: 1, OLL; 2, PLL; 3, MLP; 4, OOL; 5, POL; 6, PLP; 7, OOO; 8, POO; 9, POP; 10, PPP; 11, SOO; 12, POS.

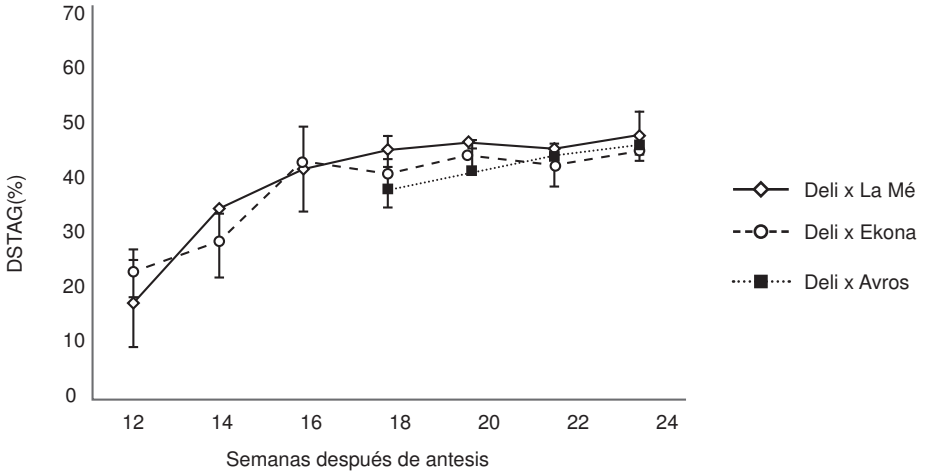


Figura 3. Cambios en los triacilgliceroles disaturados (DSTAG) durante la maduración de frutos de los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros. Las barras representan la desviación estándar con respecto a la media (n = 6).

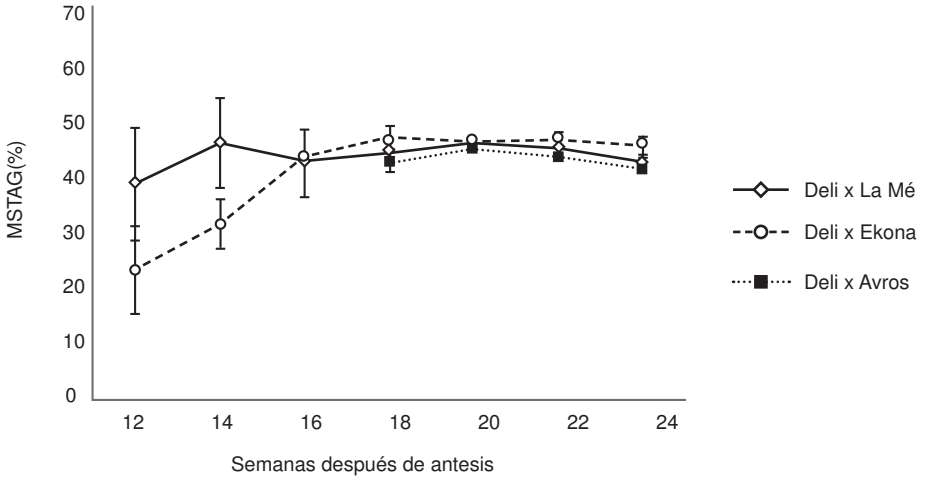


Figura 4. Cambios en triacilgliceroles monosaturados (MSTAG) durante la maduración de los frutos de los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros. Las barras representan la desviación estándar con respecto a la media (n = 6).

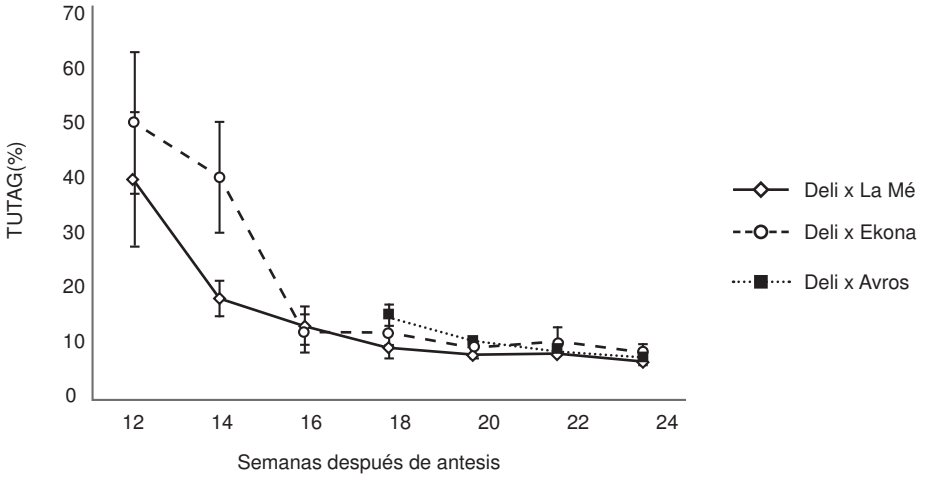


Figura 5. Cambios en los triacilgliceroles triinsaturados (TUTAG) durante la maduración de los frutos de los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros. Las barras representan la desviación estándar con respecto a la media (n = 6).

de las mismas especies bajo condiciones ambientales diferentes (Ilyasoglu y Ozcelik, 2011).

El último de los aspectos evaluados en los lípidos extraídos del mesocarpio de los frutos durante las diferentes semanas de desarrollo correspondieron a los componentes minoritarios o secundarios, tales como tocoles y carotenos que agregan valor nutricional al aceite crudo de palma, debido a sus propiedades biológicas atribuidas a estas moléculas (Eitenmiller y Landen, 1999; Kamal-Eldin y Appelqvist, 2006). La acumulación de tocoles en los frutos de la variedad Deli x Avros, durante el desarrollo del fruto, se expresó en mg kg^{-1} de los líquidos totales y en mg kg^{-1} de los frutos frescos (Figura 6). En el caso de los tocoles, los cambios en los tocoferoles y los tocotrienoles se evaluaron por separado durante la maduración del fruto. En la primera etapa de la evaluación, 14 SDA, la concentración de tocoles totales fue de 6600 mg kg^{-1} de lípidos, el valor disminuyó rápidamente a un valor cercano a 500 mg kg^{-1} de lípidos en las 18 SDA y siguió prácticamente constante hasta las 24 SDA (Figura 6A). Este comportamiento aparentemente estable en la cantidad de tocoles en lípidos totales significa que ocurrió un aumento en su concentración al tiempo que se sintetizaban los lípidos. Para visualizar este efecto, la Figura 6B muestra el cambio en la cantidad de tocoles sintetizados por kilogramo de fruto fresco. Desde las 16 a 22 SDA, la cantidad de tocoles totales aumentó de 91 a 265 mg kg^{-1} en fruto fresco; este valor es equivalente a 700 mg kg^{-1} en los lípidos, el cual es un valor típico en el aceite de palma crudo (Sambanthamurthi *et al*., 2000). Los tocoferoles y tocotrienoles individuales mostraron un comportamiento particular. Entre las 14 y 16 SDA, se encontraron tocoferoles en altas concentraciones (6000 mg kg^{-1} de lípidos), lo cual representaba el 100% del contenido total de tocoles en el fruto. Después de las 18 SDA, para el momento en que empezó la síntesis de lípidos, se observó una disminución rápida de la concentración de tocoferoles y empezaron a aparecer los tocotrienoles que pasaron a convertirse en el componente principal de tocoles en el punto óptimo de cosecha (Figura 6).

Se reporta que la acumulación de tocoferoles ocurre principalmente en tejidos verdes (Abushita *et al*., 1997; Bartoli *et al*., 1997; Munné-Bosh y Alegre, 2002) y se han asociado con diferentes funciones en las plantas, tales como estabilidad de la membrana, desarrollo y crecimiento y respuesta a diferentes tipos de

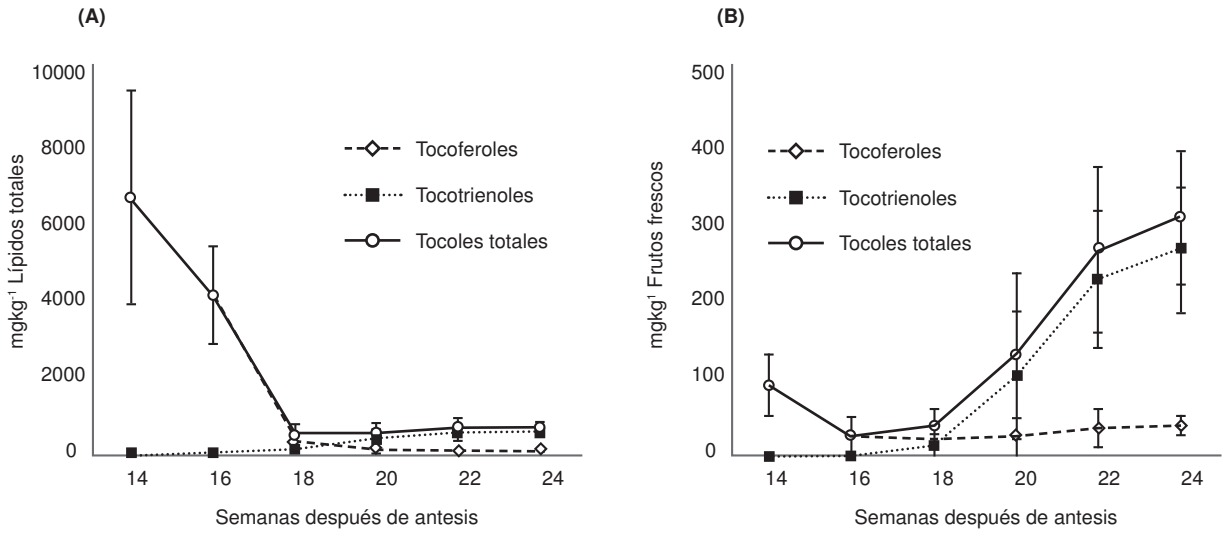


Figura 6. Cambios en los tocoles, tocoferoles y tocotrienoles durante la maduración de los frutos en el material Deli x Avros expresados tanto en mg kg^{-1} de los lípidos totales (A) como en mg kg-1 de los frutos frescos (B). Las barras representan la desviación estándar con respecto a la media (n = 6).

estrés, no solamente con el fin de mantener la integridad de los cloroplastos, sino también modulando la expresión de los géneros involucrados en su síntesis y la expresión de otros géneros relacionados, involucrados en el control de la peroxidación del lípido y la formación de especies secundarias tales como el ácido jasmónico (Munné-Bosh y Alegre, 2002), el cual está relacionado con la modulación de las funciones de la planta tales como la maduración del fruto, la producción del polen, el crecimiento de la raíz e incluso la resistencia de la planta a insectos y patógenos (Creelman y Mullet, 1997). En las semillas, la presencia de tocoles se atribuye principalmente a la actividad antioxidante ya que evita la peroxidación de los ácidos grasos durante la formación de la semilla. Su función en el mesocarpio de la palma de aceite, tal como sucede en otras especies, también puede estar involucrado con la protección de la membrana y la estabilidad en el aceite que se sintetiza y se acumula en el fruto (Munné-Bosh y Alegre, 2002).

En las 12 SDA se encontró que la concentración de carotenos estaba en el rango entre 1330 y 7130 mg kg^{-1} de lípidos, luego decayó drásticamente en las 16 SDA a 420-530mg kg^{-1} de lípidos y mantuvo un nivel casi constante hasta las 22 SDA. Este comportamiento en la concentración de carotenoides significa que hubo un aumento en su síntesis simultánea con la síntesis de lípidos. Como evidencia de este efecto, la Tabla 6 muestra el cambio en la cantidad sintetizada por kilogramo de racimos de fruta fresca (RFF). Se encontró que la cantidad de carotenoides sintetizados aumentó de 8-16 mg kg^{-1} en las 16 SDA a 180-250 mg kg^{-1} en las 22 SDA, lo que equivale a 570-900 mg kg^{-1} de lípidos, un valor típico en el aceite crudo de palma.

Tabla 6. Variación de contenido de carotenos durante la formación de lípidos en el mesocarpio del fruto en los materiales Deli x La Mé y Deli x Ekona entre las 12 y 24 SDA.

SDA	α- y β-caroteno	
	mg kg^{-1} de lípidos totales	mg kg^{-1} de RFF
Deli x La Mé		
12	7135	252
14	3549	132
16	536	16
18	586	61
20	831	164
22	573	182
24	808	243
Deli x Ekona		
12	1335	33
14	1775	81
16	424	8
18	756	64
20	514	93
22	905	251
24	1531	412

En conclusión, la síntesis de lípidos presente en el mesocarpio de los materiales Deli x La Mé, Deli x Ekona y Deli x Avros cultivados en Colombia comenzó en las 16 SDA y alcanzó sus valores máximos en las 22 a 24 SDA. El tiempo óptimo de cosecha se estableció en las 22 SDA. En esta etapa, el contenido de aceite en los frutos estuvo entre 37,9 y 46,6%, los ácidos grasos principales fueron el palmítico, oleico, linoleico y esteárico con un aporte de 44,2; 37,3; 11,6 y 5,0%, respectivamente. Los principales TAG fueron el POP, POO, PLP y POL con una concentración de 22,6-24,4; 16,3-20,0; 13,3-16,74 y 16,5-17,4%, respectivamente. El aceite crudo de palma tiene una buena relación de SFA y MUFA + PUFA y en comparación con otros aceites comestibles, tiene la ventaja de ser muy útil para procesos de freído profundo. Finalmente, los cambios observados en los tocotrienoles estuvieron estrechamente relacionados con la síntesis del lípido en el fruto; la concentración de los tocoles entre los lípidos disminuyó rápidamente entre las 14 y 16 SDA, pero aumentó con respecto al peso de la fruta después de las 18 SDA. En los primeros estados se encontraron solo tocoferoles en los frutos, pero en el tiempo de cosecha, los tocotrienoles representaban el 87% de los tocoles en los frutos de la palma de aceite.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por el apoyo financiero a este proyecto. Así como al personal administrativo y operativo de la plantación Monterrey S.A. y del Campo Experimental Palmar de La Vizcaína del Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma, donde se desarrolló este estudio.

Bibliografía

Abushita, A. A.; Hebshi, E. A.; Daood, H. G.; Biacs, P. A. Determination of antioxidants vitamins in tomatoes. *Food Chem.* 1997, 60, 207–212.

Bafor, M. E.; Osagie, A. U. Changes in lipid class and fatty acid composition during maturation of esocarp of oil palm (*Elaeis guineensis*) variety Dura. *J. Sci. Food Agric.* 1986, 37, 825–832.

Bafor, M. E.; Osagie, A. U. Changes in non-polar lipid composition of developing oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) mesocarp. *J. Sci. Food Agric.* 1988, 45, 325–331.

Bartoli, G. C.; Simontaccchi, M.; Montaldi, E. R.; Puntarulo, S. Oxidants and antioxidants during aging of chrysanthemum petals. *Plant Sci.* 1997, 129, 157–165.

Bora, P. S.; Rocha, R. V. M.; Narain, N.; Moreira-Monteiro, A. C.; Moreira, R. A. Characterization of principal nutritional components of Brazilian oil palm (*Elaeis guineensis*) fruits. *Bioresour. Technol.* 2003, 87, 1–5.

Bucheli, P.; Rousseau, G.; Alvarez, M.; Laloi, M.; McCarthy, J. Developmental Variation of Sugars, Carboxylic Acids, Purine, Alkaloids, Fatty Acids, and Endoproteinase Activity during Maturation of *Theobroma cacao* L. seeds. *J. Agric. Food Chem.* 2001, 49, 5046–5051.

Chen, C. W.; Chong, C. L.; Ghazali, H. M.; Lai, O. M. Interpretation of triacylglycerol profiles of palm oil, palm kernel oil and their binary blends. *Food Chem.* 2007, 100, 178–191.

Creelman, R. A.; Mullet, J. E. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1997, 48, 355–381.

Eitenmiller, R.; Landen, W. O. Vitamin analysis for the health and food sciences; CRC Press: FL, 1999.

Fedepalma. Anuario estadístico 2010: la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo; Javegraf: Bogotá, Colombia, 2010.

García, J. A.; Yañez, E. E. Aplicación de la metodología alterna para análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. *Palmas* 2000, 21, 303–311.

George, S.; Arumughan, C. Distribution of lipids in the exocarp and mesocarp of three varieties of oil palm fruit (*Elaeis guineensis*). *J. Sci. Food Agric.* 1991, 56, 219–222.

Ilyasoglu, H.; Ozcelik, B. Determination of Seasonal Changes in Olive Oil by Using Differential Scanning Calorimetry Heating Thermograms. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2011, 88, 907–913.

Kamal-Eldin, A.; Appelqvist, L. A. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols: Review. *Lipids* 1996, 31, 671–701.

Menz, G.; Vriesekoop, F. Physical and Chemical Changes during the Maturation of Gordal Sevillana Olives (*Olea europaea* L., cv. Gordal Sevillana). *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58, 4934–4938.

Msaada, K.; Hosni, K.; Taarit, M.; Hammami, M.; Marzouk, B. Effects of growing region and maturity stages on oil yield and fatty acid composition of coriander (*Coriandarum sativum* L.) fruit. *Sci. Hortic.* 2009, 120, 525–531.

Munné-Bosh, S.; Alegre, L. The function of tocopherols and tocotrienols in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2002, 21, 31–57.

Official and Recommended Methods of the American Oil Chemists' Society; American Oil Chemists' Society: Champaign, IL, 1994.

Oo, K. C.; Lee, K. B.; Ong, A. S. H. Changes in fatty acid composition of the lipid classes in developing oil palm mesocarp. *Phytochemistry* 1986, 25, 405–407.

Rey, L.; Gómez, P. L.; Ayala-Díaz, I. M.; Prada, F. Variabilidad del germoplasma y su relación con el éxito de un programa de mejoramiento exitoso en palma de aceite. *Palmas* 2007, 28, 166–75.

Rincón, S.; Martínez, D. M. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de la industria. *Palmas* 2009, 30, 11–24.

Rocha, P. J.; Prada, F.; Rey, L.; Ayala-Díaz, I. M. Caracterización bioquímica parcial de la colección de Elaeis oleifera de Cenipalma proveniente de la Amazonía colombiana. *Palmas* 2006, 27, 35–44.

Rodríguez-Amaya, D. A guide to carotenoid analysis in foods; ILSI Press: WA, 1999.

Ruiz, R. Desarrollo del racimo y formación de aceite en diferentes épocas del año según las condiciones de la Zona Norte. *Palmas* 2005, 26, 37–51.

Sambanthamurthi, R.; Sundram, K.; Tan, Y. A. Chemistry and biochemistry of palm oil. *Prog. Lipid Res.* 2000, 39, 507–558.

Singkham, N.; Jogloy, S.; Kesmala, T.; Swatsitang, P.; Jaisil, P.; Puppala, N. Genotypic variability and genotype by environment interactions in oil and fatty acids in high, intermediate, and low oleic acid peanut genotypes. *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58, 6257–6263.

Sundram, K.; Sambanthamurthi, R.; Tan, Y. A. Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 2003, 12, 355–362.

Tsydendambaev, V. D.; Vereshchagin, A. G. Changes in Triacylglycerol Composition during Ripening of Sea Buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) Seeds. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 1278–1283.

Turan, S.; Topcu, A.; Karabulut, I.; Vural, H.; ayaloglu, A. Fatty Acid, Triacylglycerol, Phytosterol, and Tocopherol Variations in Kernel Oil of Malatya Apricots from Turkey. *J. Agric. Food Chem.* 2007, 55, 10787–94.

Xu, J. G.; Hu, Q. P.; Wang, X. D.; Luo, J. Y.; Liu, Y.; Tian, C. R. Changes in the Main Nutrients, Phytochemicals, and Antioxidant Activity in Yellow Corn Grain during Maturation. *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58, 5751–5756.

De Palmo A Palma

Hace más de 60 años un cultivo se abría paso entre nuestra tierra colombiana. Y hoy, gracias a un trabajo continuo y conjunto entre los palmicultores y nuestros sistemas de riego, vemos prósperos resultados.

Agua trabajando para usted

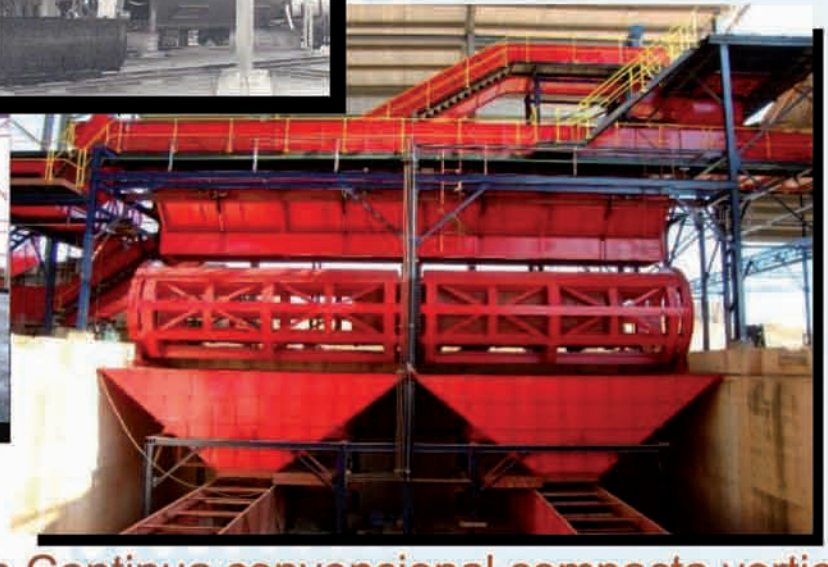
Colpozos
Símbolo de Agua

Sede Principal
Calle 70 Norte Nº 28 - 166
Cali - Colombia
T. (+57 2) 664 42 05 / 09
F. (+57 2) 665 56 26
www.colpozos.com

CONSULTECNICA S.A.

52 AÑOS AL SERVICIO DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA EN LATINOAMÉRICA

Diseño, Fabricación y Montaje de Plantas Extractoras de Aceite de Palma



Bombas Centrifugas
Equipos para Esterilización Continua,convencional,compacta,vertical
Equipos para Plantas de Biodiésel
Tanques para Transformadores de Alta Potencia

Carrera 82B No 54A - 03 Sur
PBX: (57-1) 7841024 - FAX: (57-1) 7847035
CEL. 3153362134
email: consultecnica@consultecnica.com.co
www.consultecnica.com.co
Bogotá D.C. - Colombia