

Uso de las etapas fenológicas de los frutos y características fisicoquímicas del aceite para determinar el momento de cosecha óptimo en híbridos interespecíficos de palma OxG

Use of Phenological Stages of the Fruits and Physicochemical Characteristics of the Oil to Determine the Optimal Harvest Time of Oil Palm Interspecific OxG Hybrid Fruits

Cómo citar este artículo:

Rincón, S. M., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., Prada, F., Portillo, D. J., García, J. A. & Romero, H. M. (2013, Junio 30). Uso de las etapas fenológicas de los frutos y características fisicoquímicas del aceite para determinar el momento de cosecha óptimo en híbridos interespecíficos de palma OxG. *Palmas*, 34(2), 25-37.

Autores

Sandra Milena Rincón

Programa de Investigación de
Procesamiento, Cenipalma,
Bogotá, Colombia

Paola Andrea Hormaza

Programa de Investigación en
Biología y Reproducción de la
palma, Cenipalma

Leidy Paola Moreno

Programa de Investigación en
Biología y Reproducción de la
palma, Cenipalma

Fausto Prada

Programa de Investigación en
Biología y Reproducción de la
palma, Cenipalma

Daysy Jazmín Portillo

Programa de Investigación de
Procesamiento, Cenipalma

Jesús Alberto García

Programa de Investigación de
Procesamiento, Cenipalma

Hernán Mauricio Romero

Departamento de Biología,
Universidad Nacional de Colombia
y Programa de Investigación en
Biología y Reproducción de la
palma, Cenipalma

Información del artículo: publicado
en *Industrial Crops and products*
49 (2013) 204-210

Palabras CLAVE

Escala fenológica BBCH, lipogénesis,
maduración, caroteno, vitamina E,
fitoesteroles, composición de ácidos
grasos.

BBCH phenological scale, lipogenesis,
ripening, carotene, vitamin E,
phytosterols, fatty acid composition.

Recibido: mayo 6 de 2013

Aprobado: mayo 30 de 2013

Resumen

La palma de aceite es la principal fuente de aceite vegetal en el mundo. Tradicionalmente se ha utilizado la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) para su producción industrial; sin embargo, en los últimos años ha surgido el híbrido interespecífico OxG, un cruce entre la variedad *E. guineensis* y la palma americana *Elaeis oleifera* Cortes, como una nueva alternativa para la producción de la palma de aceite, principalmente debido a la alta calidad del aceite y la aparente resistencia del híbrido a algunas de las enfermedades más problemáticas. Esto último sucede especialmente en América Latina donde el cultivo de la palma de aceite sufre el ataque de diversas plagas y enfermedades, primordialmente la Pudrición del cogollo y la Marchitez letal, que imponen limitaciones para la sostenibilidad del cultivo. Sin embargo, estos híbridos interespecíficos tienen problemas con el llenado de la fruta y la escasa polinización natural ya que la floración de los capullos es asincrónica. Por lo tanto, es difícil determinar el momento óptimo de cosecha a fin de garantizar la obtención de frutos con la mayor cantidad posible de aceite y con los mayores estándares de calidad. Esta investigación identificó varios parámetros fisicoquímicos y de calidad a fin de establecer tal momento óptimo. Se analizaron las diferentes etapas en el desarrollo del fruto en la palma aceitera para estandarizar el tiempo de cosecha óptimo, sin importar la región de cultivo o el híbrido utilizado, de conformidad con la escala fenológica BBCH. Los resultados demostraron que el tiempo óptimo de cosecha para los racimos de fruta en los materiales de híbridos interespecíficos OxG (Coari x La Mé) corresponde a la etapa fenológica 807. En esta etapa se obtuvieron los mayores valores en contenido de aceite (21,6 %), los valores más bajos en ácidos grasos libres (< 1 %) y mejor concentración de fitonutrientes.

* Artículo de investigación científica y tecnológica.

Abstract

Oil palm is the major source of vegetable oil in the world. Traditionally, African oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.) has been used for industrial production, however, in the last few years the interspecific hybrid *OxG*, a cross between the *E. guineensis* and the American oil palm *Elaeis oleifera* Cortes has emerged as a new alternative for oil palm production, mainly due to the high quality of the oil and the apparent resistance of the hybrid to some of the most problematic diseases. The last is especially true in Latin America, where cultivation of oil palm is under pressure from various pests and diseases, particularly the bud rot and lethal wilt, which are a constraint to the sustainability of the crop. However, these interspecific hybrids have problems with fruit filling and ripening due to poor natural pollination and because the flower bud opening is asynchronous. Therefore, it is difficult to determine the optimal harvest time so as to ensure obtaining fruits with the greatest possible amount of oil and with the highest standards of quality. This research identified various physiological, physicochemical and quality parameters to establish the optimal harvest time for fruit bunches. To standardize the optimal harvest time, regardless of the region of cultivation or hybrid used, the different stages of oil palm fruit development were analyzed in accordance with the BBCH phenological scale. The results showed that the optimal harvest time for fruit bunches of *OxG* interspecific hybrid material (Coari x 4La Mé) corresponds to the phenological stage 807. The highest values of oil content (21.6 %), the lowest free fatty acid values (<1 %) and better concentration of phytonutrients were obtained at this stage.

Siglas

BBCH: Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry scale

PC: Pudrición del cogollo

DDA: días después de anthesis

IDB: índice de deterioro a la blanqueabilidad

AGL: ácidos grasos libres

AR: almendra a racimo

ML: Marchitez letal

PMR: peso medio de racimo

MF: mesocarpio a fruto

PMNF: peso medio normal de fruto

PMPF: peso medio partenocárpico de fruto

FNR: frutos normales a racimo

OR: aceite a racimo

ORK_{fn}: aceite a racimo de frutos normales

AMF_{fp}: aceite a mesocarpio fresco en frutos partenocárpicos

FPR: frutos partenocárpicos a racimo

CR: cuesco a racimo

ΣAGS: sumatoria de ácidos grasos saturados

ΣAGI: sumatoria de ácidos grasos insaturados



Introducción

La palma africana (*Elaeis guineensis*) se cultiva en 42 países, principalmente en Asia, donde Malasia e Indonesia representan el 85 % de la producción mundial. Colombia es el cuarto mayor productor. Sin embargo, la producción es pequeña comparada con la de los países asiáticos, representando menos del 2 % de la producción mundial. Es el cultivo de más rápida expansión en Colombia, con aproximadamente 460.000 hectáreas, de las cuales 65 % están en fase de

producción y el 35 % restante en desarrollo. Actualmente, Colombia es el mayor productor en América Latina (Fedepalma, 2012).

Infortunadamente, se presentan enfermedades tales como el Anillo rojo (AR), la Mancha anular, la Pudrición del cogollo (PC) y la Marchitez letal (ML) que han afectado enormemente la producción de palma africana en América Latina (Torres *et al.*, 2010). Esto, junto con el clima cambiante, constituyen una limitación grave de



la productividad, rentabilidad y sostenibilidad del negocio. Las enfermedades como la PC y la ML afectan las plantaciones de *E. guineensis* independientemente del origen genético del material.

A la fecha, no existe un control efectivo para contrarrestar la propagación y virulencia de estas enfermedades. Sin embargo, se han introducido nuevos materiales genéticos provenientes de diferentes cruces con buenos prospectos agronómicos, los cuales tienen resistencia parcial a algunas de las plagas y enfermedades al igual que mayor capacidad de adaptarse a las diversas condiciones agroecológicas del cultivo (Rocha, 2007).

Algunos híbridos interespecíficos OxG, que son cruces entre la palma americana *E. oleifera* y la africana *E. guineensis*, presentan una resistencia aparente a la mayoría de enfermedades limitantes que se dan en la región (Restrepo *et al.*, 2012). Infortunadamente los híbridos OxG de palma de aceite tienen problemas en la formación de frutos, que van desde el llenado y la maduración desigual, debido a la floración asín-crona, hasta la pérdida total de racimos causada por la polinización deficiente (López, 1978).

Se han realizado varios estudios sobre la morfología y desarrollo de los híbridos desde la germinación hasta la formación y maduración de los frutos con el fin de mitigar estos problemas en los híbridos OxG. Estas observaciones se estandarizaron con base en la escala fenológica BBCH, la cual contribuye a generar una descripción más precisa y comprensible de los fenómenos del desarrollo y los procesos relacionados con el cultivo (Hormaza *et al.*, 2012).

Estos estudios anteriores ofrecen una base para responder a problemas centrales en las plantaciones de híbridos interespecíficos OxG tales como la determinación del momento óptimo de cosecha para los racimos de frutos, al igual que para maximizar la eficiencia en la extracción del aceite en la planta extractora y cumplir el estándar de calidad para el aceite crudo extraído. Ante la ausencia de este parámetro, la cosecha de los racimos se hacía de manera empírica con base en las características organolépticas del racimo (color y textura, ruptura del fruto, etc.), sin haber un consenso entre los cultivadores de palma.

Los resultados que se presentan aquí incluyen una caracterización detallada de los cambios externos (organolépticos) e internos (físicos y químicos) en el desarrollo de los frutos de la palma en un cruce híbrido interespecífico OxG (Coari x La Mé), con el fin de determinar el tiempo óptimo de cosecha según las condiciones de la Zona Oriental colombiana, y ofrecen una aplicabilidad potencial de estos parámetros en otras áreas en las que se cultiva la palma de aceite.

Materiales y métodos

Materiales

La fase de campo se realizó entre abril y diciembre de 2010 en el municipio de Barranca de Upía, Zona Norte del Departamento del Meta, situada en latitud 4° 29' N y longitud 72° 57' W, con una altura de 190 m.s.n.m. La Tabla 1 muestra las condiciones climáticas durante el tiempo del experimento y el total del año en el que se realizaron los ensayos.

Tabla 1. Precipitación mensual, temperatura y humedad relativa promedio durante el periodo del experimento (abril-diciembre) y total anual para 2010 en el sitio de la prueba.

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total año
Precipitación (mm)	379	474	223	209	518	122	145	340	83	2804
Temperatura media promedio (°C)	27,2	26,6	26,4	25,8	25,9	27,0	27,2	26,4	27,1	27,0
Temperatura mínima promedio (°C)	22,6	22,9	22,4	22,0	21,8	22,2	22,3	22,3	21,9	22,1
Temperatura máxima promedio (°C)	31,3	31,0	30,2	29,8	30,2	31,4	32,0	30,7	31,8	31,8
Humedad relativa promedio (%)	82	86	85	85	84	82	80	83	80	80

Racimos de híbridos OxG

El estudio incluyó 150 palmas, híbrido interespecífico OxG (Coari x La Mé) sembradas en terrazas en el año 2005 con un espaciado de 9,75 x 9,75 m. Se tomó una muestra aleatoria de 21 palmas sobre un total de 150. Los racimos de esas palmas seleccionadas se polinizaron manualmente. Tanto la selección de las inflorescencias como los racimos cosechados, por cada palma, en diferentes etapas de maduración fenológica, se basaron en la escala fenológica BBCH para el híbrido OxG (Hormaza *et al.*, 2012).

Para cada palma se seleccionó una inflorescencia situada en promedio sobre la hoja 20 (la cual, con base en la filotaxis de la palma, se encuentra al contar a partir de la última hoja abierta), teniendo en cuenta la presencia de un propilo en ruptura y una bráctea peduncular lisa y sin rajaduras, cuyas características corresponden a la etapa fenológica 509. Posteriormente, se monitorizó el tiempo desde que la flor estaba en la etapa fenológica 601 (preantesis I) hasta que iniciara la antesis (etapa fenológica 607 en la cual el propilo ha desaparecido prácticamente y se agrieta la bráctea peduncular) (Figura 1).



Figura 1. Apariencia interna de las etapas de desarrollo en inflorescencia. Etapa 509 (no diferenciada), etapa 601 (preantesis I), etapa 602 (preantesis II), etapa 603 (preantesis III), etapa 607 (antesis) y polinización asistida. Las etapas fenológicas se basan en la escala BBCH para los híbridos de palma de aceite según Hormaza *et al.*, 2012.

En campo, se encontró que este periodo varió desde 5 hasta un máximo de 27 días. Se realizó polinización asistida en la etapa 607 mediante el procedimiento normal de la plantación, usando polen con una tasa de germinación entre el 72 y 86 %, mezclado con polvo de talco con una masa en proporción de 7:1 (polvo a polen, respectivamente).

De ahí en adelante, se midió el mayor diámetro ecuatorial del fruto cada 7 días *in situ* mediante un calibrador digital con una resolución de 0,01 mm a fin de producir curvas de crecimiento con base en los días después de antesis (DDA). Para realizar esta medición, se tomaron 3 frutos por cada una de las áreas apicales, medias y basales del fruto. Simultáneamente se monitorearon cada día los racimos en desarrollo para identificar los que se debían cosechar, correspondientes a las etapas 709 (n=20), 800 (n=20), 803 (n=21), 804 (n=18), 805 (n=15), 806 (n=16), 807 (n=16) y 809 (n=6) (Figura 2).

Finalmente, se realizó cuantificación de color sobre imágenes fotográficas tomadas en tres áreas principales del fruto, a saber: apical, central y basal mediante las paletas del programa myPANTONE™ versión 1.5, el cual expresa el color en unidades de rojo, verde y azul. La escala se denomina RGB.

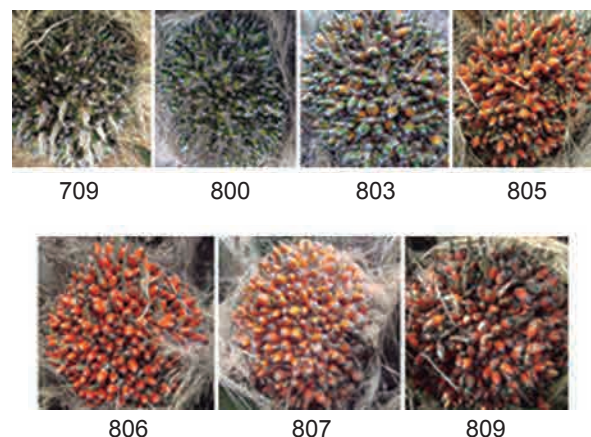


Figura 2. Etapas del desarrollo del racimo en híbrido interespecífico OxG (Coari x La Mé) según la escala BBCH para los híbridos de palma OxG. (Hormaza *et al.*, 2012).



Reactivos

Las muestras estándar de los triglicéridos¹ OLL, PLL, MLP, OOL, POL, PLP, MPP, OOO, POO, POP, PPP, SOO, POS, y PPS de 98 % de pureza fueron de Sigma (Steinheim, Alemania). El metanol, acetoni-trilo, 2-propanol y hexano en grado HPLC, y el cloroformo en grado reactivo fueron de Merck (Darmstadt, Alemania). El agua tipo HPLC se obtuvo usando un sistema de purificación Millipore Milli-Q Academic (Sao Paulo, Brasil); el β -caroteno (99 %) y los estándares de α -, β -, γ -, y δ -tocotrienol (>95 %) fueron de Calbiochem (Darmstadt, Alemania); el papel de celulosa se compró de Whatman (Maidstone, Inglaterra), y el gas nitrógeno se adquirió en Linde (Bucaramanga, Colombia). En el análisis de los ácidos grasos libres (AGL) se utilizó hidróxido de sodio (Merck), indicador de fenoltaleína, etanol al 95 % y biftalato de potasio (Merck). Para la determinación de los esteroides se utilizó etil éter RG, BSTFA (Supleco); DMF; 5- α -colestano (ISTD). Se adquirió colesterol, β -sitosterol, campesterol y estigmasterol de Sigma.

Métodos

Descripción de las etapas fenológicas evaluadas

La cosecha de los racimos inició en la etapa 709, a los 76 ± 4 DDA. Los criterios para la identificación de esta etapa fenológica fueron: color del fruto verde uniforme, no cubierto de brácteas circulares y que no se desprenden fácilmente al presionarlos. Los racimos en la etapa 800 se cosecharon a los 117 ± 7 DDA, cuando los frutos en la base del racimo mostraron una coloración verde-amarillo. En esta etapa los frutos mostraron formación incipiente del cuesco. En la etapa 803, alcanzada a los 132 ± 7 DDA,

los frutos estaban verdes en la parte apical y anaranjados en las partes central y basal. En la etapa 804 del desarrollo fenológico la coloración externa de las frutas cambió, dando al racimo una apariencia de mosaico tricolor ya que debido a la apertura asíncrona de flores individuales, tenía frutos en diferentes etapas de desarrollo. En la etapa fenológica 805, los racimos seguían con una apariencia multicolor, donde la parte apical de los frutos era verde claro, mientras que las partes central y basal del racimo se volvían anaranjadas pálidas o amarillas intensas. Esta etapa se presentó aproximadamente a los 154 ± 7 DDA. Se cosecharon racimos color anaranjado-medio uniforme en la etapa 806, 165 ± 10 DDA. La parte basal de los frutos tenía color amarillo o anaranjado intenso y la parte apical era anaranjada oscura. Los racimos en la etapa 807 (maduros) eran anaranjado profundo y se cosecharon cuando se vieron rajaduras en la parte apical de los frutos, pero no se habían desprendido frutos del racimo. Los DDA en esta etapa variaron entre 176 ± 10 . En la etapa 809 (maduración excesiva de los frutos y racimos), los racimos cosechados eran color anaranjado intenso, con frutos rajados y desprendidos (<10 frutos por racimo). En esta etapa los DDA variaron entre 187 ± 5 días.

Determinación del contenido de aceite en las diversas etapas de desarrollo del racimo

La metodología usada para el análisis de racimos fue descrita anteriormente por Yáñez *et al.*, (2006) y Prada & Romero (2012). Para el contenido de aceite, se secaron muestras seleccionadas por etapas de mesocarpio de frutos normales y partenocárpicas en diferentes racimos de palma en un horno a 105 °C durante 8 horas y se empacaron en bolsas de polietileno antes del análisis. En el laboratorio, el mesocarpio seco fue molido y se colocaron 5 g en un dedal hecho de papel de celulosa que se puso en un sistema Soxhlet por 24 horas, usando hexano como solvente de extracción.

¹ Triglicéridos individuales OLL, PLL, MLP, OOL, POL, PLP, MPP, OOO, POO, POP, PPP, SOO, POS y PPS; en los cuales O: oleico, P: palmítico; M: mirístico; L: linoléico y S: esteárico.

Determinación de las características físicas y químicas del aceite obtenido en las diversas etapas de desarrollo del racimo

La muestra representativa para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de los lípidos se obtuvo en la etapa 806, y correspondió a un tercio de las espiguillas del racimo que quedaban de la técnica de análisis del racimo usada previamente. Esas espiguillas se esterilizaron en autoclave. Luego de completar el ciclo de esterilización, se extrajo aceite de una muestra de los frutos mediante una prensa hidráulica. Posteriormente, se centrifugó el aceite para separar cuatro fases compuestas de aceite en la parte superior, lodo, agua y lodo pesado en el fondo. Después, el aceite se colocó en un recipiente plástico color ámbar (30 ml) hasta llenarlo casi por completo, dejando solamente el espacio suficiente para la tapa y, luego, se introdujo gas de nitrógeno mediante una jeringa hipodérmica conectada a una manguera proveniente de un cilindro de gas. Las muestras se almacenaron hasta su procesamiento en el laboratorio. Se analizó el perfil de triglicéridos conforme al Método Oficial AOCS Ce 5c-93. El contenido de AGL se determinó según el Método Oficial AOCS Ca 5a-40. El índice de deterioro a la blanqueabilidad (DOBI) se determinó siguiendo el procedimiento de la norma ISO 17932. La composición de los ácidos grasos y el análisis de la vitamina E se llevaron a cabo según Prada

et al., (2011). Los esteroides fueron analizados según Vlahakins y Hazebrook (2000) y los carotenoides según Rodríguez-Amaya (1999).

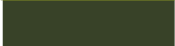
Resultados

Cambios físicos que ocurren en el racimo en diversas etapas fenológicas

El color del fruto se describió mediante el sistema RGB para cada etapa de maduración con base en el exocarpio de los frutos de palma híbrida (Tabla 2). En las primeras etapas, como se esperaba, los frutos mostraron un color verde intenso, y luego pasaban de un naranja amarillo claro a un naranjado oscuro; este último color era homogéneo en el exocarpio de todos los frutos en el racimo. La pulpa también cambió de color durante el proceso de maduración de los frutos, pasando de blanco-crema en las etapas iniciales a naranja oscuro.

La Tabla 3 muestra el peso promedio de los racimos y los frutos normales y partenocárpicos del híbrido O_xG (Coari x La Mé). Durante el periodo de estudio el peso del racimo varió entre 13,8 y 18,3 kg. El peso del fruto varió entre 1,9 y 2,4 g para frutos partenocárpicos y de 5,5 a 10,8 g para frutos normales, mostrando una tendencia lineal sobre el tiempo del peso medio en los frutos. Por lo tanto, los racimos y los frutos normales y partenocárpicos alcanzaron el peso máximo en la etapa fenológica 807.

Tabla 2. Color del fruto en diferentes etapas de desarrollo del racimo y maduración en el híbrido interespecífico O_xG (Coari x La Mé).

Etapa fenológica	Frutos	Coloración extrema de los frutos (rojo-verde-azul)			Coloración del mesocarpio	Coloración del cuesco
		Apical	Central	Basal		
709						
		62-69-37	84-109-23	193-186-125	192-175-121	176-132-95
800						
		83-87-43	133-137-43	217-191-85	178-159-109	108-78-63

Continúa en la siguiente página



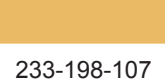
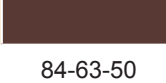
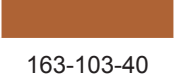
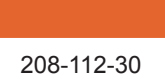
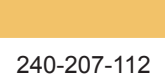
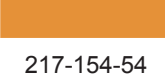
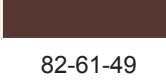
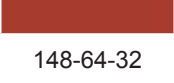
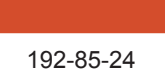
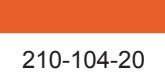
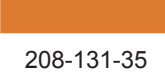
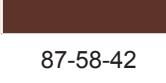
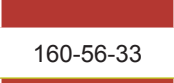
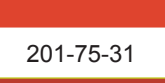
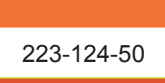
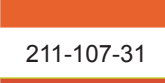
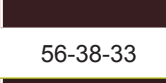
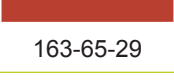
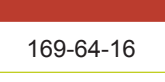
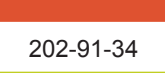
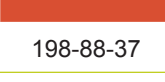
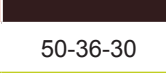
Etapa fenológica	Frutos	Coloración extrema de los frutos (rojo-verde-azul)			Coloración del mesocarpio	Coloración del cuesco
		Apical	Central	Basal		
803						
		162-155-75	230-198-88	233-198-107	204-163-48	84-63-50
805						
		163-103-40	208-112-30	240-207-112	217-154-54	82-61-49
806						
		148-64-32	192-85-24	210-104-20	208-131-35	87-58-42
807						
		160-56-33	201-75-31	223-124-50	211-107-31	56-38-33
809						
		163-65-29	169-64-16	202-91-34	198-88-37	50-36-30

Tabla 3. Desarrollo de racimo y fruto en el híbrido interespecífico OxG (Coari x La Mé) entre las etapas fenológicas 709-809.

Etapa fenológica	PMR (kg)a	PMFP (g)	PMFN (g)
709	13,8 ± 2,2	1,9 ± 0,4	5,5 ± 1,2
800	14,8 ± 2,9	2,3 ± 0,6	7,3 ± 1,4
803	14,5 ± 2,6	2,2 ± 0,5	7,6 ± 1,6
804	14,5 ± 3,7	2,5 ± 0,7	8,1 ± 2,1
805	14,3 ± 2,2	2,3 ± 0,7	7,8 ± 1,5
806	16,5 ± 3,7	2,2 ± 0,6	8,7 ± 1,4
807	18,3 ± 2,0	2,4 ± 0,5	10,3 ± 1,8
809	17,0 ± 3,8	2,4 ± 0,8	10,8 ± 1,9

Notas: PMR, peso medio de racimo; PMFP, peso medio de fruto partenocárpico; PMFN, peso medio de fruto normal a Media ± desviación estándar.

La Tabla 4 muestra los cambios en la síntesis de lípidos en los frutos normales y partenocárpico y la composición del racimo con base en las etapas fenológicas evaluadas. Para el híbrido interespecífico OxG, la cantidad total de aceite en el racimo se calculó con la sumatoria del aceite proveniente de los frutos normales y

partenocárpico. A su vez, el aceite proveniente de frutos normales en el racimo (AR_n/f) se calculó multiplicando la proporción de aceite por mesocarpio fresco (AMF_n/f) por la de mesocarpio por fruta (MF) y por la de fruto normal por racimo (FNR), en tanto que la proporción de aceite por racimo proveniente de frutos partenocárpico (AR_p/p) se calculó multiplicando la proporción de aceite por mesocarpio fresco (AMF_p/p) por la de fruto partenocárpico por racimo (FPR). La Tabla 4 también muestra la cantidad de aceite aportada por los dos tipos de fruto según la etapa fenológica. Se encontró que las variaciones en los parámetros de acumulación del aceite aumentaron a medida que maduraba el racimo. Los dos tipos de frutos, normales y partenocárpico, mostraron aceite similar en las tendencias acumulativas en mesocarpio fresco (Figura 3); sin embargo, el AMF_n/f aumentó de 9,6 en la etapa 800 a 46 % en la etapa 807, de manera más rápida y mayor que el AMF_p/p , cuya síntesis de aceite comenzó en la etapa 803 con 3,8 % y aumentó a 42,3 % en la etapa 809. Estos valores fueron similares a los promedios encontrados en el mismo híbrido interespecífico Coari x La Mé (45,2 - 48,4 %) sembrados en una región colombiana diferente (Cadena *et al.*, 2013).

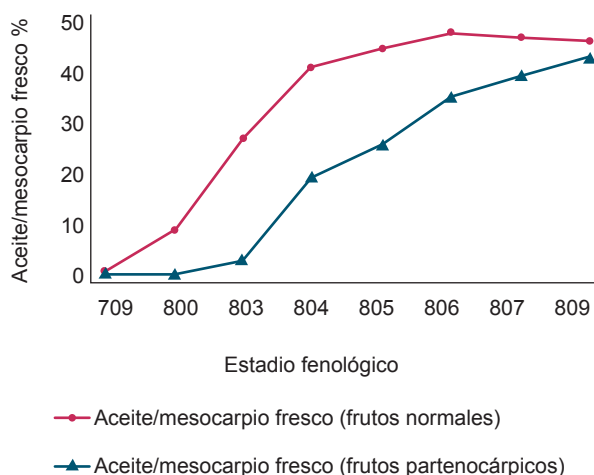


Figura 3. Cambios en aceite por mesocarpio fresco en frutos normales y partenocárpicos según la etapa fenológica.

El F_M fue de 56,4 % en la etapa 709, aumentó ligeramente a 69 % en la etapa 806 y de nuevo disminuyó a 65,2 % en la etapa 809. La proporción FNR varió entre 41,1 y 49 % con una media total de 44,6 % mientras que la de FPR varió de 9 a 18,6 %, con una media total de 12,5 %. Aproximadamente, la FNR fue 32 % mayor que la FPR . El $ARfn$ aumentó de 2,4 % en la etapa 800 hasta un máximo de 15,9 % en la etapa 806 y 14,2 % en la etapa de madurez 807 (Figura 4).

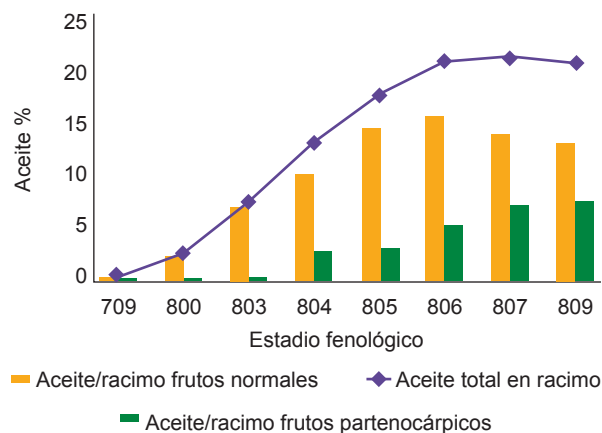


Figura 4. Cambios en aceite por mesocarpio fresco en frutos normales y partenocárpicos según la etapa fenológica.

También se observó un aumento firme y acelerado en la formación de aceite total a racimo (ARt) entre las etapas fenológicas 709 y 806, logrando una concentración máxima de lípidos totales en el estado de madurez 807 de 21,6 %. Entre las etapas 807 y 809 el contenido promedio de aceite fue aproximadamente 21 % con una cantidad 0,5 % mayor en la etapa 807. Estos resultados mostraron que el aceite proveniente de los frutos normales en el racimo, en la etapa madura 807, aportaron 65 % del $ARfn$ mientras que el 35 % restante del aceite se obtuvo de los frutos partenocárpicos.

Tabla 4. Composición de fruto y racimo para las diferentes etapas fenológicas del híbrido interespecífico O $\times$ G (Coari x La Mé).

Etapa fenol.	Frutos normales				Frutos partenocárpicos			Composición del racimo		
	AMFfna	MF	FNR	ARfn	AMFfp	FPR	ARfp	ART	SR	CR
709	1,7 $\pm$ 0,8	56,4 $\pm$ 7,5	43,2 $\pm$ 7,7	0,4 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,5	10,8 $\pm$ 6,0	0,2 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,2	8,2 $\pm$ 2,4	10,7 $\pm$ 3,0
800	9,6 $\pm$ 6,2	58,9 $\pm$ 6,0	41,1 $\pm$ 9,6	2,4 $\pm$ 1,5	1,2 $\pm$ 1,6	9,9 $\pm$ 4,0	0,1 $\pm$ 0,2	2,5 $\pm$ 1,7	5,8 $\pm$ 2,6	11,1 $\pm$ 3,4
803	27,0 $\pm$ 7,5	59,3 $\pm$ 6,4	44,7 $\pm$ 8,5	7,2 $\pm$ 2,6	3,8 $\pm$ 4,5	9,0 $\pm$ 3,5	0,4 $\pm$ 0,7	7,6 $\pm$ 2,6	5,9 $\pm$ 1,6	12,3 $\pm$ 3,0
804	40,4 $\pm$ 4,3	63,0 $\pm$ 6,4	41,1 $\pm$ 14,7	10,3 $\pm$ 3,5	19,7 $\pm$ 11,0	12,9 $\pm$ 8,6	2,9 $\pm$ 2,4	13,1 $\pm$ 2,8	5,6 $\pm$ 2,9	10,0 $\pm$ 4,3
805	44,0 $\pm$ 4,9	68,8 $\pm$ 4,3	48,7 $\pm$ 7,2	14,8 $\pm$ 3,0	25,6 $\pm$ 7,9	11,6 $\pm$ 6,3	3,2 $\pm$ 2,2	18,0 $\pm$ 2,2	5,8 $\pm$ 1,7	9,5 $\pm$ 2,6
806	46,9 $\pm$ 3,6	69,0 $\pm$ 6,5	49,0 $\pm$ 11,2	15,9 $\pm$ 4,2	34,6 $\pm$ 10,4	14,8 $\pm$ 9,1	5,4 $\pm$ 3,9	21,3 $\pm$ 3,6	4,8 $\pm$ 1,6	10,7 $\pm$ 4,3

Continúa en la siguiente página



Etapa fenol.	Frutos normales				Frutos partenocárpicos			Composición del racimo		
	AMFfn	MF	FNR	ARfn	AMFfp	FPR	ARfp	ARt	SR	CR
807	46,0 ± 5,2	67,2 ± 5,2	45,8 ± 10,3	14,2 ± 4,1	38,5 ± 10,5	18,4 ± 7,5	7,4 ± 3,8	21,6 ± 3,1	5,1 ± 1,6	9,9 ± 2,4
809	45,3 ± 4,1	65,2 ± 8,9	45,8 ± 14,2	13,4 ± 4,9	42,3 ± 7,3	18,6 ± 10	7,7 ± 4,3	21,1 ± 3,3	5,4 ± 2,2	10,7 ± 4,4

Notas: AMFfn Aceite por mesocarpio fresco en frutos normales (%); MF, Mesocarpio por fruto (%); FNR, Frutos normales por racimo (%); ARfn, Aceite por racimo a partir de frutos normales (%); AMFfp, Aceite por mesocarpio fresco en frutos partenocárpicos (%); FPR, Frutos partenocárpicos por racimo (%); ARfp, Aceite por racimo a partir de frutos partenocárpicos (%); ARt, Aceite por racimo total (%); SR, semilla por racimo; CR, cuesco por racimo (%).

* Media ± desviación estándar.

Por lo tanto, con la mayor cantidad de AMFfn y la mejor formación de FNR, los frutos normales en el racimo, generados por la polinización manual, fueron más deseables para obtener mayor contenido de aceite en los híbridos interespecíficos O_xG.

La proporción almendra y cuesco por racimo permaneció constante desde la etapa fenológica 709 hasta la 809. Se encontró que el

porcentaje promedio de almendra por racimo fue de 5,9 % ± 2,3 % y varió entre 4,8 y 8,2 %. El promedio de cuesco por racimo fue de 10,7 ± 3,4 % y varió de 9,5 a 12,3 %. El diámetro polar del fruto llegó a un pico alrededor de los 90 DDA y empezó a estabilizarse alrededor de los 98 DDA, en la etapa fenológica 709, en la cual los frutos alcanzaron en tamaño típico para la especie (Figura 5).

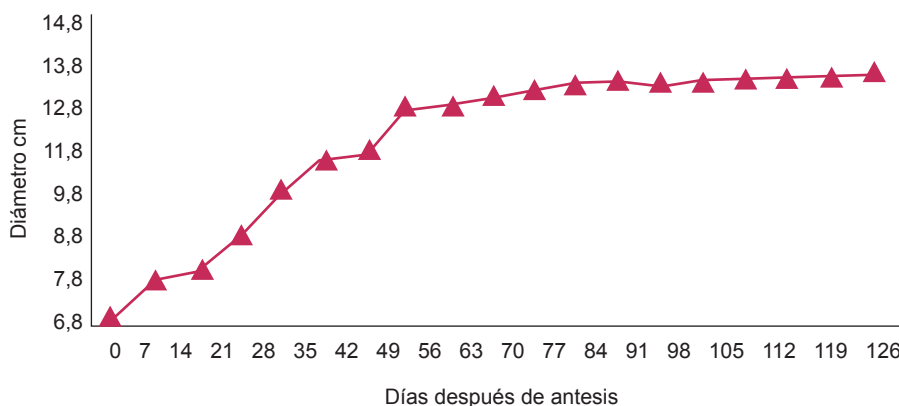


Figura 5. Curva de crecimiento de los frutos en híbrido interespecífico O_xG (Coari x La Mé).

Parámetros de calidad del aceite en las diferentes etapas fenológicas del desarrollo del racimo

Los principales ácidos grasos en el aceite del híbrido y la variación en sus concentraciones eran: oleico entre 51,8 y 56,4 %, palmítico entre 28,1 y 31,3 %, linoleico entre 9,4 y 10,4 % y esteárico entre 2,3 y 2,7 %, en las etapas evaluadas (Tabla 5).

En la etapa madura 807 el aceite contenía 67,3 % de ácidos grasos insaturados (AGI), de los cuales el ácido graso oleico constituía la mayor proporción con una concentración promedio de 53,9 %, seguido por el ácido graso linoleico con una concentración de 10,2 %. El 32,7 % restante de los ácidos grasos consistía de ácidos grasos saturados de los cuales el palmítico era el más prevalente con 29,7 %.

El perfil de triglicéridos también se evaluó en la etapa 807. Los principales triglicéridos

Tabla 5. Principales ácidos grasos* en aceite de palma del híbrido interespecífico OxG (Coari x La Mé) durante las etapas fenológicas 806-809.

Etapas fenológicas	Palmítico (C16:0)	Oleico (C18:1n9c)	Linoleico (C18:2n6c)	Esteárico (C18:0)	ΣAGS	ΣAGI
806	28,1 ± 2,3	56,4 ± 2,4	9,4 ± 1,1	2,7 ± 0,5	31,5 ± 2,4	68,5 ± 2,4
807	29,7 ± 2,7	53,9 ± 2,7	10,2 ± 0,7	2,3 ± 0,3	32,7 ± 2,8	67,3 ± 2,8
809	31,3 ± 1,9	51,8 ± 2,1	10,4 ± 0,3	2,6 ± 0,5	34,7 ± 2,0	65,3 ± 2,0

Notas: ΣAGS, suma de ácidos grasos saturados; ΣAGI, suma de ácidos grasos insaturados.

*Media ± desviación estándar.

encontrados en el aceite del híbrido interespecífico OxG fueron POO, POL, POP, OOL, OOO, PLP, PLL y OLL en concentraciones de 23,3; 19,0; 13,2; 9,7; 9,7; 8,3; 8,1 y 4,5 %, respectivamente (Tabla 6). Como se esperaba, los grupos de triglicéridos estaban compuestos en forma proporcional de ácidos grasos oleicos, linoleicos y palmíticos. Con base en los dobles enlaces presentes en los grupos de triglicéridos en el aceite del híbrido, aquellos con un enlace como el POP, SOS y POS mostraron una concentración promedio total de 15 %; y aquellos con dos enlaces, POO, MLP, SOO y PLP tenían una concentración promedio total de 33 %. El grupo con tres enlaces, POL y OOO, tuvo una concentración promedio de 29 % y aquellos con cuatro enlaces, compuestos de PLL y OOL tuvieron una concentración de 18 %. Se encontró que la proporción de triglicéridos permaneció constante durante las demás etapas fenológicas evaluadas, como la observada para la composición de los ácidos grasos.

Tabla 6. Composición de triglicéridos en híbrido interespecífico OxG (Coari x La Mé) en la etapa fenológica 807.

Triglicéridos	Media (%)	Desviación estándar	Rango	
OLL	4,5	0,5	3,9	5,0
PLL	8,1	0,9	7,4	9,4
MLP	0,3	0,4	N.D.*	0,7
OOL	9,7	1,3	8,5	11,3
POL	19,0	1,0	17,8	20,2
PLP	8,3	1,8	5,6	9,4

Triglicéridos	Media (%)	Desviación estándar	Rango	
OOO	9,7	2,1	8,5	12,8
POO	23,3	1,2	21,9	24,8
POP	13,2	2,3	10,4	15,3
PPP	0,4	0,3	N.D.*	0,6
SOO	1,6	0,7	1,1	2,5
POS	1,6	0,1	1,5	1,8
PPS	0,1	0,1	N.D.	0,2
SOS	0,3	0,1	0,2	0,4

Notas: O, oleico; P, palmítico; M, mirístico; L, linoleico; S, esteárico

* No detectado.

Los componentes menores del aceite fueron los últimos aspectos evaluados en los lípidos extraídos del mesocarpio del fruto híbrido en las etapas fenológicas 806, 807 y 809 (Tabla 7). Encontramos que el aceite obtenido a partir del híbrido interespecífico OxG es una fuente importante de carotenoides, vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles), y fitoesteroles en concentraciones de 820, 1.316 y 941 mg kg⁻¹, respectivamente. La concentración promedio de tocotrienoles representó 85 % del total de vitamina E, el β-caroteno representó 73 % del total de carotenoides y el β-sitosterol representó 63 % del total de fitoesteroles. Finalmente, los parámetros DOBI y AGL mostraron un comportamiento firme durante las etapas 806, 807 y 809 evaluadas, con valores promedio de 2,91 ± 0,57 y 0,59 ± 0,31 %, respectivamente.



Tabla 7. Rango de concentración de los componentes menores presentes en el aceite del híbrido interespecífico de palma OxG (Coari x La Mé) durante las etapas fenológicas 806-809.

Etapa fenológica	Carotenoides (mg kg ⁻¹)		Vitamina E (mg kg ⁻¹)		Fitoesteroles (mg kg ⁻¹)	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
806	937	616-1375	872	452-1302	748	469-947
807	820	514-1042	1316	876-1843	941	735-1135
809	974	655-1171	1931	1430-2189	941	778-1417

Discusión

Las actividades de cosecha y recolección en la agroindustria de la palma suponen alrededor del 30 % de los costos de producción, de ahí la importancia de tener criterios adecuados para determinar la madurez óptima del racimo para su cosecha y procesamiento. El objetivo es reducir el tiempo, la mano de obra, los costos y, principalmente, aumentar la tasa de extracción del aceite al tener racimos con el máximo contenido y calidad consistente.

El cambio en el color del fruto es uno de los indicadores actuales para determinar el mejor momento de cosecha en las palmas híbridas OxG. Las etapas que más se acercan a la cosecha óptima fueron la 806, 807 y 809. Sin embargo, los resultados de las mediciones de color en los frutos de las últimas tres etapas fenológicas evaluadas, a saber 806, 807 y 809 (Figura 2 y Tabla 2) revelaron que los valores de la escala RGB varían principalmente dentro del rango del color rojo, lo que demuestra que un cambio de color puede no ser fácilmente percibido a simple vista. Por este motivo, utilizamos las etapas fenológicas de los frutos y las características fisicoquímicas del aceite a fin de determinar el tiempo de cosecha óptimo de los frutos en el híbrido interespecífico OxG. Otra manera de determinar el tiempo óptimo para la cosecha es mediante el uso de flavonoides y antocianinas como predictores para clasificar el grado de maduración en la variedad *E. guineensis* (Hazir *et al.*, 2012).

La cosecha en la etapa fenológica 806 podría generar pérdidas de aceite ya que el racimo y los frutos normales no han alcanzado el peso máximo (Tabla 3) y los frutos partenocárpicos aún están aumentando la síntesis del aceite (Figura 3). De otra parte, en la etapa 809 los racimos se veían excesivamente maduros y deteriorados, y el número de frutos desprendidos y que quedaban en el campo determinaron las pérdidas de aceite. La etapa fenológica 807 mostró el mayor peso medio de racimo (18,3 kg) y también la mayor proporción total de aceite por racimo con 21,6 % (Tabla 4 y Figura 4), lo que quiere decir que esta etapa es la más adecuada para cosechar los racimos del híbrido interespecífico OxG.

Es recomendable tener en cuenta las observaciones fenológicas precisas durante el desarrollo del racimo para hallar la relación con el medio ambiente. El estudio encontró que para el híbrido interespecífico OxG los tiempos son aproximadamente 204 días, desde la floración hasta el inicio de la senescencia, 13 días del periodo de floración, 96 días para que los frutos logren su tamaño típico y 191 días de fructificación. En contraste con la *E. guineensis* que tarda entre 140 y 154 días DDA (Prada *et al.*, 2011), el híbrido interespecífico OxG tarda más tiempo en tener racimos listos para la cosecha. Sin embargo, estudios previos (Hormaza *et al.*, 2012) demostraron que estas etapas fenológicas ocurren en diferentes intervalos de tiempo, lo que confirma la necesidad de establecer no solo una escala fenológica estandarizada con

tiempos definidos de cosecha, sino también la importancia de tener otro punto de referencia para determinar los intervalos entre las etapas fenológicas, tal como los días acumulados para el grado de maduración.

Observamos que los frutos al interior del racimo no maduran al mismo tiempo. Sabemos, a partir de un trabajo anterior (Hormaza *et al.*, 2012), que se debe a la ligera variación en la apertura de las flores, por lo cual la polinización no era homogénea; esto como consecuencia de la característica de floración asíncrona en estos híbridos, que en algunas inflorescencias duraba hasta dos semanas. Los frutos normales tienden a acumular más aceite en el mesocarpio que los partenocárpicos. También encontramos que los frutos en la base de la espiguilla son los primeros en madurar, mientras que los frutos en el ápice son los últimos, lo que significa que los frutos del híbrido maduran en forma acropetal.

La formación de los frutos normales fue similar en todas las etapas evaluadas. Sin embargo, la proporción de frutos partenocárpicos en el racimo aumentó alrededor del 8 % entre las etapas 800 y 807 (Tabla 4). Este comportamiento también se registró para el tamaño, el cual aumentó hasta el final de la etapa de madurez. En la etapa 807 las FNR y FPR dieron una proporción total de fruto por racimo de 64,2 %. Este valor proporcionó la mayor acumulación de aceite (21,6 %) y se logró debido a la buena calidad de la polinización asistida realizada en las inflorescencias.

No hubo variaciones en la composición de los ácidos grasos desde la etapa fenológica 806 hasta la etapa 809. Sin embargo, el aceite del híbrido interespecífico de palma OxG mostró 54 % de contenido de ácido oleico, valor similar al reportado por Choo *et al.*, (1998), que es 15 % mayor que el de la variedad *Elaeis guineensis* ténera, la palma de aceite más comercial que se planta en el mundo, que tiene una concentración de ácido oleico de aproximadamente 39 % (Choo *et al.*, 1998). La composición del triglicérido evaluada en la etapa 807 mostró un perfil similar a las halladas en

E. guineensis (Deli x La Mé). Las diferencias principales se dieron en los triglicéridos que contienen ácidos oleicos y palmíticos. Aquellos con ácido palmítico en su estructura (POP, PLP) disminuyeron su valor; en tanto que los triglicéridos con ácido oleico (OOL, OOO) aumentaron la concentración, comparándolos con el aceite de *E. guineensis* (Prada *et al.*, 2011).

La cantidad de componentes menores en el aceite del híbrido interespecífico OxG fue consistente con los porcentajes reportados por Choo *et al.*, (1998), quienes hallaron que el aceite de la palma OxG contiene 59 % de β -sitosterol del total de esteroides, 81 % de tocotrienol en el total de vitamina E, y que el β -caroteno representó el 60 % del total de carotenoides. Sin embargo, hubo diferencias en las concentraciones en mg kg⁻¹ en relación con las presentadas por Choo *et al.*, (1998). Encontramos mayores cantidades del total de vitamina E, pero concentraciones menores de carotenoides y fitoesteroides, comparadas con las halladas por Choo *et al.*, (1998).

Con respecto a los AGL medidos y el DOBI en el aceite extraído de los frutos, los valores fueron menores al 1 % para el AGL expresado como ácido oleico y mayores a 2,4 para el DOBI. Cabe anotar que estos resultados se obtuvieron en condiciones de laboratorio; por lo tanto, se requieren evaluaciones de procesamiento a escala industrial para determinar el impacto real sobre estos parámetros.

En conclusión, este trabajo permitió establecer la etapa fenológica de los frutos y las características fisicoquímicas del aceite en el momento óptimo de cosecha para los racimos de frutos frescos en el híbrido OxG (Coari x La Mé). La etapa correspondió a la 807, cuando el aumento en el peso del fruto se estabilizó y los lípidos estaban completamente desarrollados en el racimo con una concentración máxima de 21,6 %. En esta etapa, el PMR fue de 18,3 kg, el PMFN fue de 10,3 g; y el PMFP, 2,4 g. Todos mostraron una concentración de aceite por mesocarpio fresco de 46 y 38,5 % para los frutos normales y partenocárpicos, respectivamente. El aceite extraído contenía 67,3 % de AGL, de los cuales el ácido



oleico era el principal ácido graso con una concentración de 53,9 %. Los tocotrienoles fueron la fuente principal de vitamina E; el β -caroteno representó el 73 % del total de carotenoides y el β -sitosterol el 63 % del total de fitoesteroles. Finalmente, la etapa fenológica 807 no mostró frutos desprendidos, lo que produjo el contenido máximo de aceite en el racimo y redujo la pérdida de aceite causada por los frutos que se dejan en el campo. Se espera que los resultados del presente estudio sean útiles para la optimización de la cosecha, reduciendo los costos e

incrementando la tasa de extracción de aceite en la industria de la palma.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento de la Palma de Aceite (FFP) administrado por Fedepalma y el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) por financiar este estudio. Gracias también a la plantación Guaicaramo S.A. por prestar sus instalaciones, el apoyo técnico y de personal para desarrollar esta investigación.



Referencias

- Cadena, T., Prada, F., Perea, A., Romero, H.M., 2013. Lipase activity, mesocarp oil content, and iodine value in oilpalm fruits of *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, and the interspecific hybrid OxG (*E. oleifera* $\times$ *E. guineensis*). J. Sci. Food Agric. 93 (3), 674-680.
- Choo, Y., Ma, A., Yap, S., 1998. Carotenos, vitamina E y esteroides en aceites de *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* y sus híbridos. Palmas (Colombia) 19 (2), 79-85.
2012. Fedepalma, Anuario estadístico 2012: La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo. Bogotá, Colombia.
- Hazir, M.H.M., Shariff, A.R.M., Amiruddin, M.D., 2012. Determination of oilpalm fresh fruit bunch ripeness-Based on flavonoids and anthocyanin content. Ind. Crop Prod. 36 (1), 466-475.
- Hormaza, P., Mesa-Fuquen, E., Romero, H.M., 2012. Phenology of the oil palm inter-specific hybrid *Elaeis oleifera* $\times$ *Elaeis guineensis*. Sci. Agric. 69 (4), 275-280.
- ISO 17932, 2005. Animal and Vegetable Fats and Oils. Determination of the Deterioration of Bleachability Index (DOBI).
- López, A., 1978. Efecto de la polinización asistida en la producción de aceite en los cultivares de palma híbrida de Colseda. In: Conferencia sobre palma de aceite, Santa Marta, Colombia.
1994. Official and Recommended Methods of the American Oil Chemists' Society. American Oil Chemists' Society, Champaign, IL.
- Prada, F., Romero, H.M., 2012. Muestreo y análisis de racimo en el cultivo de la palma de aceite. Tecnologías para la Agroindustria de la Palma de Aceite: Guía para Facilitadores. Cenipalma-Fedepalma, Sena-SAC. Bogotá, Colombia, pp.158.
- Prada, F., Ayala-Díaz, I.M., Delgado, W., Ruiz, R., Romero, H.M., 2011. 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. 59, 10136-10141.
- Restrepo, E.F., Navia, E.A., Ávila, R.A., Daza, E.E., 2012. Use of epidemiological tools to differentiate the ability of various oil palm materials to respond to the bud rot disease under field conditions. In: International Seminar on Breeding for Oil Palm Disease Resistance, Bogotá, Colombia, pp. 1-20 (Paper 4).
- Rocha, P., 2007. Boletín Técnico No 22. Marchitez Letal en palma de aceite. Cenipalma. Javegraf, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez-Amaya, D.B., 1999. A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. ILSI Press, Washington, pp. 64.
- Torres, G.A., Sarria, G.A., Varon, F., Coffey, M.D., Elliot, M., Martinez, G., 2010. First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm in Colombia. Plant Dis. 94, 1163.
- Vlahakins, C., Hazebroek, J., 2000. Phytosterol accumulation in canola, sunflower, and soybean oils: effects of genetics, planting location, and temperature. JAOCS 77, 49-53.
- Yañez, W.E., García, J., Fernandez, C., Rueda, C., Franco, P., WW 2006. Guía para el análisis de racimos de palma de aceite. Cenipalma, Bogotá, Colombia.