

Revista Electrónica Nova Scientia

Caracterización física y química de la nuez y el
aceite de nueve variedades de *Macadamia
integrifolia*, *M. tetraphylla* e híbridos
The Physical and chemical characterization of
the nut and oil from the nine varieties of
Macadamia integrifolia, *M. tetraphylla* and
interspecies hybrids

**Elia N. Aquino-Bolaños¹, Laura Mapel-Velazco¹,
José L. Chávez-Servia², Rubén Corona-Velázquez,
Socorro Herrera-Meza³ e Íñigo Verdalet-Guzmán¹**

¹Posgrado en Ciencias Alimentarias, Instituto de Ciencias Básicas
Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz

² CIIDIR-Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca

³Instituto de Investigaciones Psicológicas, Universidad Veracruzana
Xalapa, Veracruz

México

Resumen

La especie *Macadamia* pertenece a la familia *Proteacea*, y las únicas especies de interés comercial son *M. integrifolia* y *M. tetraphylla*. Existe una creciente demanda de las nueces debido a su alto valor nutrimental y funcional ya que numerosos estudios han demostrado los efectos protectores de su consumo disminuyendo el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, hay una alta variabilidad en la calidad de la nuez y sus productos derivados.

Método. En la nuez se registraron los parámetros de color L^* , a^* y b^* y se analizó humedad, azúcares, polifenoles y actividad antioxidante. En el aceite se evaluó humedad, índice de saponificación, índice de ácidos grasos libres (AGL) e índice de peróxido (IP).

Resultados. La humedad de la nuez contrastó entre variedades (22.9 a 40.6 g 100 g⁻¹), contrario a los parámetros de color que fueron similares ($L^*=$ 60.2 a 68.8). La variedad Victoria por su mayor contenido de azúcares (57.5 mg glucosa g⁻¹) podría destinarse para consumo en fresco. UCLA y Huatusco presentaron el mayor contenido de polifenoles (>1.2 mg EAG g⁻¹) y actividad antioxidante (>7.0 μ mol Eq. trolox g⁻¹). El aceite presentó baja humedad (\leq 0.22%) y de AGL; además, el IP fue inferior al límite permitido para aceites vegetales vírgenes (15 m Eq. O₂ kg⁻¹).

Conclusión. De acuerdo con las características físico-químicas de la nuez y aceite de las distintas variedades se recomienda usos diferenciados preferentemente en la industria alimentaria.

Palabras Clave: nuez de macadamia; polifenoles; actividad antioxidante; índice de peróxido

Recepción: 05-08-2017

Aceptación: 06-09-2017

Abstract

Macadamia is part of the plant family *Proteaceae*, and the only species of commercial interest are *M. integrifolia* and *M. tetraphylla*. There is currently a growing demand for these nuts given their high nutritional and functional value due numerous studies have shown the protective effects of its consumption decreasing the risk of suffering cardiovascular diseases; however, there is a significant level of variability in regard to the quality of the nut and its derivatives.

Method. Color parameters L^* , a^* y b^* were registered on the nut and analyzed humidity, sugars, polyphenols and antioxidant activity; while humidity, Free Fatty Acid (FFA) index and the Peroxide Index (PI) were evaluated in oil.

Results. Humidity levels varied greatly among the different varieties (22.9 a 40.6 g 100 g⁻¹), while color parameters were similar ($L^*=$ 60.2 a 68.8). Victoria given their higher sugar content, (57.5 mg glucose g⁻¹) could be consumed fresh. UCLA and Huatusco had the highest content of polyphenols (>1.2 mg EAG g⁻¹) and antioxidant activity (>7.0 μ mol Eq. Trolox g⁻¹). The oil presented a low percentage of humidity (\leq 0.22%) and FFA; furthermore, the PI was lower than the permissible limit for virgin vegetable oils (15 m Eq. O₂ kg⁻¹).

Conclusion. Given the physicochemical characteristics of the nut and oil from the different varieties, a range of uses, preferably within the food industry, is recommended.

Keywords: macadamia nut; polyphenols; antioxidant activity; peroxide index

Introducción

El género *Macadamia* tiene cuatro especies nativas de los bosques lluviosos del Este de Australia y de éstas, los frutos de las especies de *Macadamia janseni* C.L.Gross & P.H. Weston y *Macadamia ternifolia* F. Muell., se consideran no comestibles, por lo que las únicas especies de interés comercial son *M. integrifolia* Maiden & Betche, *M. tetraphylla* L.A.S. Johnson y sus variedades híbridas (Trueman 2013, 354). En particular, la macadamia se cultiva por la almendra, la cual se consume natural, seca y/o tostada, también se utiliza como ingrediente de diversos alimentos (Wood & Garg, 2011, 717). A pesar que las nueces de macadamia presentan un alto contenido lipídico, 70.1 g aceite 100 g⁻¹ en la especie *M. integrifolia* (Li & Hu, 2011, 35) y de 69 a 78 g aceite 100 g⁻¹ en *M. tetraphylla* (Kaijser *et al.* 2000, 67), su consumo regular ha demostrado beneficios a la salud debido a que contiene principalmente ácidos grasos monoinsaturados, además de proteínas, fibra dietaria, vitaminas, minerales y fitoquímicos (Munro & Garg, 2006, 249).

Debido a las características organolépticas y sensoriales que posee la nuez, aunado a un mayor conocimiento de los beneficios de su consumo y uso, existe una demanda creciente en el mercado mundial para esta nuez y en los últimos 10 años la demanda aumentó en 59% (International Nut and Dried Fruit Foundation, 2015). En México, la macadamia se introdujo en los años 1938 a 1971 en la vertiente del Golfo, vertiente del Pacífico, centro y norte del país (Ramos 1979) y se ha continuado promoviendo su cultivo. No obstante, una de las principales limitaciones para la comercialización de la nuez a mayor escala es que gran parte de los productores obtienen baja calidad y alta variabilidad en la nuez y productos derivados. Esto puede atribuirse a que las características físicas y químicas de la nuez y aceite varían en función de la zona bioclimática, la variedad y las características del suelo donde se cultivan (O'Hare *et al.*, 2004) aunque no hay mucha información al respecto. Además, la adecuada selección de la variedad es uno de los factores más importante en el desarrollo de la industria de macadamia tanto en el aspecto de producción como de calidad.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar las características físicas y químicas de la nuez y aceite de las principales variedades de macadamia cultivadas en la zona de Coatepec, Veracruz, y proponer recomendaciones de uso y consumo de acuerdo a las características de cada variedad.

Método

Sitio de estudio

Las variedades de macadamia evaluadas son cultivadas en una huerta comercial localizada en la zona alta de Coatepec, Veracruz, México (19° 47' 92.56"N, 96° 98' 99.33" O y 1530 m de altitud). Agro-ecológicamente, la región de Coatepec presenta un clima semi-cálido/húmedo, en el año 2013 la temperatura promedio mínima registrada fue de 12.3 °C y la máxima de 26.2 °C, con precipitación promedio entre 1800 mm (CONAGUA, 2016).

Procedimiento

En el periodo de septiembre a noviembre de 2013, durante la cosecha, la huerta y sus plantas fueron divididas en tres secciones para propósitos de muestreo. Entonces, una muestra compuesta de nueces fue tomada de tres a 10 árboles por variedad. La huerta tiene un total de 614 árboles de nueve diferentes variedades, los cuales fueron plantados hace 10 años. Robledo-Martínez & Escamilla-Prado (2004, 143) y Robledo-Martínez *et al.* (2004, 203), han documentado la descripción completa de las variedades evaluadas.

Después que los árboles fueron etiquetados por variedad, una muestra de 20 kg de nuez dehiscente fue colectada de cada una de las siguientes variedades: a) *M. integrifolia* (cv Ika Ika 333); b) *M. tetraphylla* (cv Alberca-527 (A-527) y L1); y, c) *M. integrifolia* x *M. tetraphylla* (cv Cate, Lewis, UCLA, Beaumont 695, Huatusco y Victoria).

Preparación de las muestras

Las nueces recibieron un proceso de acondicionamiento previo al análisis que consistió en retirar mecánicamente el pericarpio del fruto y las nueces o núculas fueron secadas por 24 h a 35 °C, 12 h a 45 °C y 12 h a 60 °C en un secador de aire forzado para reducir la humedad en la nuez y facilitar la eliminación de la testa o concha.

Extracción del aceite de macadamia

Para la extracción del aceite se molieron 500 g de nuez en una licuadora, y la pasta obtenida fue sometida a una fuerza de compresión de 10 toneladas durante 60 segundos por medio de una prensa hidráulica (PowerTeam, Modelo A, USA). El aceite obtenido se centrifugó a 8,000 × g durante 20 min (Biofuge primo R, Heraeus, USA) para eliminar residuos sólidos. El sobrenadante

se colocó en frascos color ámbar, se burbujeó nitrógeno gas para eliminar el aire y se almacenó a -20 °C hasta su análisis.

Caracterización física y química de la almendra

Grosor de testa y diámetro de la nuez. A 20 nueces se les retiró la testa y se midió el grosor con un vernier digital ± 0.01 mm (Mitutoyo, Modelo Absolute Digimatic, Japón) y posteriormente se midió el diámetro de la nuez.

Humedad

El porcentaje de humedad de campo se determinó de acuerdo a lo estipulado por la AOAC (1999). Nueces recién cosechadas (sin pericarpio) se colocaron en recipientes de aluminio previamente llevados a peso constante, las muestras fueron secadas durante un periodo de 48 h a una temperatura de 100-110 °C y se estimó el porcentaje de humedad.

Color

El color de las nueces y del aceite se evaluó mediante un espectrofotómetro de sólidos (Konica Minolta, modelo CM-2500d). Las nueces fueron trituradas hasta formar una pasta homogénea y se colocó en una placa de cristal (5 cm de diámetro, 1 cm de altura) cuidando que el recipiente estuviera completamente cubierto con la muestra. En el caso del aceite, se colocaron 25 mL en un vaso de precipitados de 50 mL y se realizó la medición. En la nuez y en el aceite se registraron los parámetros L^* , a^* y b^* , con los cuales se calculó la cromaticidad ($C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$) y ángulo de matiz ($h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$) (McGuire, 1992, 1254). El índice de blancura ($WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$) se calculó únicamente en las nueces.

Azúcares totales

La concentración de azúcares se determinó siguiendo el método de Dubois *et al.* (1956, 350). Un gramo de nuez se homogenizó con 30 mL de etanol al 80% (v/v) y se almacenó bajo refrigeración por un periodo de 24 h. El extracto se filtró y centrifugó a 4000 rpm durante 20 min a 10 °C, y se preparó una dilución 1:2. Se tomaron 100 μ L del extracto y se llevó a un volumen de 1 mL con

agua destilada; se adicionaron 100 μL de fenol al 80% (v/v), 5 mL de H_2SO_4 concentrado y se agitó en vórtex. La mezcla se incubó durante 20 min a 30 °C, leyendo su absorbancia a 490 nm. El contenido de azúcares se determinó con una curva de calibración usando como estándar glucosa (0.01-0.12 mg mL^{-1}).

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó por el método de Brand-Williams *et al.* (1995, 25). Se tomaron 3 g de nuez y se homogenizaron con 30 mL de metanol al 80 % (v/v) y posteriormente se filtró y centrifugó. Se tomaron 200 μL del extracto y se mezclaron con 2.8 mL de reactivo de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) (3.9 mg 100 mL^{-1} en metanol al 80 % (v/v)). La mezcla se agitó vigorosamente y se mantuvo en oscuridad durante 30 min a temperatura ambiente. Se registró la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm. La actividad antioxidante se evaluó con una curva de calibración usando como estándar trolox (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcroman-2-carboxílico) (0 a 1.0 $\mu\text{g Eq. trolox mL}^{-1}$).

Polifenoles totales

La cuantificación de polifenoles se realizó por el método de Singleton & Rossi (1965, 144). Tres gramos de nuez se homogenizaron con 30 mL de metanol al 80% (v/v), posteriormente se filtró y centrifugó. Se tomaron 400 μL del extracto, se mezclaron con 1 mL de agua destilada y se hizo reaccionar con 200 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu, dejándolo reposar durante 5-8 min en un ambiente ausente de luz. Después se añadieron 2 mL de Na_2CO_3 al 7% (p/v) y se aforó a un volumen final de 5 mL con agua destilada. Se agitó y se dejó en incubación durante 1 h en oscuridad. Se registró su absorbancia a una longitud de onda de 750 nm utilizando agua destilada como blanco. La cuantificación se realizó mediante una curva estándar de ácido gálico (0.2 a 0.12 mg mL^{-1}).

Caracterización física y química del aceite

Las diferentes pruebas realizadas al aceite obtenido de las diferentes variedades de las especies de *M. integrifolia*, *M. tetraphylla* e híbridos interespecíficos se llevaron a cabo de acuerdo con la AOAC (2000) y las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

La densidad se determinó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-075-SCFI-2006, la humedad y material volátil se evaluó con forma a lo establecido por la Norma Mexicana NMX-F-211-SCFI-2006 y el punto de fusión se determinó mediante el método del capilar cerrado descrito por la Norma Mexicana NMX-F-114-SCFI-2011.

Dentro de la caracterización del aceite se evaluó el índice de saponificación de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Norma Mexicana NMX-F-174-SCFI-2006, índice de ácidos grasos libres conforme a la Norma Mexicana NMX-F-101-SCFI-2012, índice de peróxido de acuerdo a la AOAC (2000) y se realizaron pruebas de rancidez según lo descrito en la Norma Mexicana NMX-F-222-SCFI-1975.

Análisis estadístico

Para cada parámetro evaluado se realizaron cuatro repeticiones. Los datos de la caracterización física y química de la nuez y el aceite de nueve variedades de macadamia se sometieron a análisis de varianza y se realizaron comparaciones múltiples de medias a través de la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002).

Resultados

Caracterización física y química de la nuez

El diámetro de las nueces fue diferente entre las nueve variedades estudiadas ($P \leq 0.01$) y se registró en un intervalo entre 15.2 y 20.2 mm; la variedad con mayor diámetro fue Ika Ika 333 de *M. integrifolia*. El grosor de la testa también contrastó entre las variedades ($P \leq 0.01$) y su intervalo fue de 2.55 a 3.44 mm, la variedad Ika Ika 333 también tuvo el mayor grosor de testa. El porcentaje de humedad de las nueces recién cosechadas fue heterogéneo entre las variedades ($P \leq 0.01$) y se registró en un amplio intervalo desde 22.9 hasta 40.6 % (Tabla 1).

Los parámetros de color b^* y C^* no difirieron entre variedades ($P > 0.01$ b^* ; $P > 0.01$ C^*). Por el contrario, los parámetros L^* , h° y WI presentaron contraste ($P \leq 0.01$). El parámetro L^* , el cual describe la luminosidad, mostró valores promedio entre 60.2 y 68.8, el parámetro b^* se encontró en un intervalo de 16.4 a 18.8. En el caso de los parámetros C^* y h° , los cuales indican la cromaticidad y el ángulo de matiz, se registraron valores de 16.4 a 18.8 y de 91.9 a 93.8, respectivamente; mientras que los valores promedio del WI estuvieron entre 56.0 y 64.6 (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de la caracterización física de las nueces de las variedades de *Macadamia integrifolia*, *Macadamia tetraphylla* e híbridos interespecíficos (*M. integrifolia* y *M. tetraphylla*).

Especie	Variedad	Diámetro (mm)	Grosor de testa (mm)	Humedad de campo (%)	Color				WI
					L*	b*	C*	h°	
<i>M. integrifolia</i>	Ika Ika 333	20.2±1.7 ^a	3.44±0.08 ^a	25.0±2.9 ^b	65.5±4.4 ^{abc}	18.4±2.5	18.4±2.5	92.1±0.7 ^{ab}	60.9±6.4 ^{abc}
<i>M. tetraphylla</i>	A-527	18.6±1.7 ^{abc}	3.10±0.08 ^{abc}	31.9±2.9 ^{ab}	60.2±4.4 ^d	18.8±2.5	18.8±2.5	92.3±0.7 ^{ab}	56.0±6.4 ^c
<i>M. tetraphylla</i>	L1	20.0±1.7 ^{ab}	3.15±0.08 ^{abc}	25.8±2.9 ^b	68.8±4.4 ^a	16.6±2.5	16.6±2.5	92.6±0.7 ^{ab}	64.6±6.4 ^a
<i>M. integrifolia</i> x <i>M. tetraphylla</i>	Cate	17.4±1.7 ^{abcd}	2.55±0.08 ^c	31.2±2.9 ^{ab}	62.4±4.4 ^{cd}	18.6±2.5	18.7±2.5	93.0±0.7 ^a	58.0±6.4 ^{bc}
<i>M. integrifolia</i> x <i>M. tetraphylla</i>	Lewis	15.2±1.7 ^d	2.94±0.08 ^{abc}	29.3±2.9 ^{ab}	67.4±4.4 ^{ab}	17.0±2.5	17.1±2.5	93.7±0.7 ^a	63.2±6.4 ^{ab}
<i>M. integrifolia</i> x <i>M. tetraphylla</i>	UCLA	18.7±1.7 ^{ab}	3.33±0.08 ^{ab}	40.6±2.9 ^a	64.4±4.4 ^{abcd}	17.8±2.5	17.8±2.5	91.9±0.7 ^b	60.2±6.4 ^{abc}
<i>M. integrifolia</i> x <i>M. tetraphylla</i>	695	16.9±1.7 ^{bcd}	2.77±0.08 ^{abc}	23.6±2.9 ^b	63.7±4.4 ^{bcd}	16.4±2.5	16.4±2.5	93.8±0.7 ^a	60.1±6.4 ^{abc}
<i>M. integrifolia</i> x <i>M. tetraphylla</i>	Beaumont								
<i>M. integrifolia</i> x <i>M. tetraphylla</i>	Huatusco	15.6±1.7 ^{cd}	2.69±0.08 ^{bc}	30.5±2.9 ^{ab}	61.9±4.4 ^{cd}	18.4±2.5	18.4±2.5	91.9±0.7 ^b	57.7±6.4 ^{bc}
<i>M. integrifolia</i> x <i>M. tetraphylla</i>	Victoria	18.6±1.7 ^{abc}	3.32±0.08 ^{ab}	22.9±2.9 ^b	63.4±4.4 ^{bcd}	17.6±2.5	17.6±2.5	92.5±0.7 ^{ab}	59.4±6.4 ^{abc}

Promedio (± error estándar) de cuatro repeticiones. Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05)

Las variedades de macadamia difirieron en el contenido total de azúcares (P≤0.01) y la concentración se registró en un amplio intervalo entre 27.0 y 57.5 mg de glucosa g⁻¹ bs. En este sentido Ika Ika 333, variedad de la especie *M. Integrifolia*, registró un valor de 42.1 mg glucosa g⁻¹ bs; mientras que las variedades de *M. tetraphylla*, A-527 y L1 tuvieron concentraciones promedio de 51.7 y 46.5 mg glucosa g⁻¹ bs, respectivamente. Las variedades Victoria y UCLA (*M. integrifolia* x *M. tetraphylla*) tuvieron la mayor concentración de azúcares con 57.5 y 56.4 mg glucosa g⁻¹ bs, respectivamente (Tabla 2).

La actividad antioxidante y concentración de polifenoles también difirió entre variedades ($P \leq 0.01$), el intervalo de los valores promedio de polifenoles fue de 0.73 a 1.28 mg EAG g^{-1} bs, mientras que la actividad antioxidante varió de 4.55 a 7.79 $\mu\text{mol Eq. Trolox } g^{-1}$. Además, las variedades de macadamia con el mayor contenido de polifenoles y actividad antioxidante fueron Victoria y UCLA (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la caracterización química de las nueces de las variedades de *M. integrifolia*, *M. tetraphylla* e híbridos interespecíficos (*M. integrifolia* y *M. tetraphylla*).

Variedad	Azúcares totales (mg glucosa g^{-1})	Polifenoles totales (mg EAG g^{-1})	Actividad antioxidante ($\mu\text{g Eq. trolox } g^{-1}$)
Ika Ika 333	42.1 \pm 4.1 ^e	0.90 \pm 0.01 ^{de}	4.77 \pm 0.38 ^d
A-527	51.7 \pm 4.1 ^{bc}	1.04 \pm 0.01 ^{abc}	5.71 \pm 0.38 ^{bcd}
L1	46.5 \pm 4.1 ^{de}	0.73 \pm 0.01 ^e	4.60 \pm 0.38 ^d
Cate	42.8 \pm 4.1 ^e	1.00 \pm 0.01 ^{cd}	5.93 \pm 0.38 ^{bcd}
Lewis	27.0 \pm 4.1 ^f	0.93 \pm 0.01 ^{cde}	4.55 \pm 0.38 ^d
UCLA	56.4 \pm 4.1 ^{ab}	1.25 \pm 0.01 ^{ab}	7.15 \pm 0.38 ^{ab}
695	29.7 \pm 4.1 ^f	0.92 \pm 0.01 ^{cde}	5.46 \pm 0.38 ^{cd}
Beaumont			
Huatusco	50.5 \pm 4.1 ^{cd}	1.14 \pm 0.01 ^{ab}	6.44 \pm 0.38 ^{bc}
Victoria	57.5 \pm 4.1 ^a	1.28 \pm 0.01 ^a	7.79 \pm 0.38 ^a

Promedio (\pm error estándar) de 4 repeticiones. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias ($P < 0.05$).

Caracterización física y química del aceite

El porcentaje de humedad en el aceite difirió entre las variedades ($P \leq 0.01$) y el intervalo de humedad promedio varió entre 0.07%-0.22%. Además, la densidad relativa del aceite también contrastó entre las variedades ($P \leq 0.01$) y los valores promedio estuvieron entre 0.910 a 0.919 $g mL^{-1}$. Los valores de punto de fusión fueron heterogéneos en un intervalo de 6 hasta 10 $^{\circ}C$, pero fueron constantes para cada variedad. Los parámetros de color en el aceite también fueron diferentes entre variedades ($P \leq 0.01$), ya que los valores promedio de L^* se encontraron en un intervalo de 36.8 a 41.4, el parámetro b^* de 7.1 a 11.7; C^* y h° registraron valores de 7.1 a 11.7 y 90.1 a 91.1, respectivamente (Tabla 3).

Las nueve variedades de macadamia difirieron en el índice promedio de saponificación ($P \leq 0.01$), puesto que los valores variaron desde 174.8 hasta 315.7 mg KOH g⁻¹, además la variedad Ika Ika 333 presentó el mayor valor promedio. En el caso de los parámetros de calidad, índice de acidez y de peróxido, también hubo diferencias ($P \leq 0.01$). Para la acidez los valores promedio fueron entre 0.154 0.297% y en el caso del índice de peróxidos se encontró en un amplio intervalo de valores promedio 0.25 a 0.85 mEq.O₂ kg⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la caracterización física y química del aceite de las variedades de *M. integrifolia*, *M. tetraphylla* e híbridos interespecíficos (*M. integrifolia* y *M. tetraphylla*).

Variedad	Humedad (%)	DR	PF	IS	IP	IA	Color			
							L*	b*	C*	h°
Ika Ika 333	0.10±0.00 ^b	0.913±0.00 ^d	7.0	315.7±4.4 ^a	0.85±0.01 ^a	0.154±0.00 ^f	40.1±0.6 ^{ab}	10.2±0.4 ^{bc}	10.2±0.4 ^{bc}	91.1±0.1 ^a
A-527	0.07±0.00 ^b	0.911±0.00 ^e	7.5	188.9±4.4 ^{de}	0.50±0.01 ^b	0.196±0.00 ^{def}	40.2±0.6 ^{ab}	9.3±0.4 ^c	9.3±0.4 ^c	90.3±0.1 ^{bc}
L1	0.10±0.00 ^b	0.919±0.00 ^a	8.0	190.1±4.4 ^d	0.45±0.01 ^{bc}	0.221±0.00 ^{cde}	41.4±0.6 ^a	9.2±0.4 ^c	9.2±0.4 ^c	90.9±0.1 ^{ab}
Cate	0.22±0.00 ^a	0.911±0.00 ^e	7.0	195.5±4.4 ^{bc}	0.40±0.01 ^{bc}	0.238±0.00 ^{bcd}	41.4±0.6 ^a	11.0±0.4 ^{ab}	11.0±0.4 ^{ab}	90.6±0.1 ^{abc}
Lewis	0.22±0.00 ^a	0.916±0.00 ^b	7.0	190.6±4.4 ^{cd}	0.25±0.01 ^c	0.173±0.00 ^{ef}	39.2±0.6 ^{ab}	7.1±0.4 ^d	7.1±0.4 ^d	90.3±0.1 ^c
UCLA	0.08±0.00 ^b	0.910±0.00 ^f	10.0	200.2±4.4 ^b	0.40±0.01 ^{bc}	0.283±0.00 ^{ab}	41.3±0.6 ^a	10.9±0.4 ^{ab}	10.9±0.4 ^{ab}	90.5±0.1 ^{ab}
695	0.12±0.00 ^b	0.914±0.00 ^e	7.5	174.8±4.4 ^f	0.40±0.01 ^{bc}	0.218±0.00 ^{cde}	40.6±0.6 ^{ab}	10.3±0.4 ^{bc}	10.3±0.4 ^{bc}	90.9±0.1 ^{ab}
Beaumont	0.12±0.00 ^b	0.911±0.00 ^e	6.0	184.1±4.4 ^c	0.35±0.01 ^{bc}	0.261±0.00 ^{abc}	41.0±0.6 ^{ab}	10.9±0.4 ^{ab}	10.9±0.4 ^{ab}	91.1±0.1 ^a
Huatusco	0.10±0.00 ^b	0.914±0.00 ^e	8.0	178.0±4.4 ^f	0.45±0.01 ^{bc}	0.297±0.00 ^a	36.8±0.6 ^c	11.7±0.4 ^a	11.7±0.4 ^a	90.1±0.1 ^c
Victoria	0.10±0.00 ^b	0.914±0.00 ^e	8.0	178.0±4.4 ^f	0.45±0.01 ^{bc}	0.297±0.00 ^a	36.8±0.6 ^c	11.7±0.4 ^a	11.7±0.4 ^a	90.1±0.1 ^c

Promedio (± error estándar) de cuatro repeticiones. Letra diferente en la misma columna indican diferencias ($P < 0.05$). DR=Densidad relativa a 25 °C (g mL⁻¹), PF= Punto de fusión (°C), IS=Índice de saponificación (mg KOH g⁻¹), IP= Índice de peróxido (mEq. O₂ kg⁻¹), IA=Índice de acidez (%).

Discusión

Caracterización física y química de la nuez

El diámetro de las nueces que se analizaron está en el intervalo reportado por Nagao *et al.* (2003, 77), para *M. integrifolia* y *M. tetraphylla* y el grosor de la testa fue cercano al promedio reportado por Quintas (2011). Este último autor observó que en variedades de *M. integrifolia*, el grosor de la testa de la nuez tiende a ser mayor conforme aumenta la altitud de la plantación, lo cual explicaría el mayor grosor de testa registrado en la variedad Ika Ika 333 correspondiente a esta misma especie.

Por otro lado, el porcentaje de humedad de las nueces recién cosechadas en este estudio fue superior al intervalo reportado por Wall & Gentry (2007, 587) de 16% a 24%, este valor

puede variar en función de las condiciones climatológicas durante la cosecha. Este parámetro es importante para el manejo de las semillas, puesto que durante el procesamiento de la nuez el rendimiento y las condiciones de secado dependen del contenido de inicial de humedad. Los valores de los parámetros de color registrados en las nueces en todas las variedades evaluadas corresponden a un color blanco-crema (ligeramente amarillo), que cumple con los requerimientos de calidad establecidos por Quintas (2011). Además, el mismo autor indicó que las nueces deben presentar un color blanco-cremoso homogéneo y libre de daño mecánico o por insectos.

La concentración de azúcares para las nueces de *M. integrifolia* en este estudio fue mayor al intervalo reportado por Wall y Gentry (2007, 587), ya que reportaron valores entre 29.9 y 38.5 mg g⁻¹ bs. Al respecto Hamilton & Ito (1974, 14), indicaron que *M. tetraphylla* presenta mayor contenido de azúcares en comparación con *M. Integrifolia*. Sin embargo, en este estudio se observó que los híbridos Victoria y UCLA (*M. integrifolia* x *M. tetraphylla*), tienen la mayor concentración de azúcares, característica importante ya que los consumidores prefieren las nueces más dulces por lo que estas variedades podría dirigirse para el consumo en fresco o como botana. Mientras que las variedades Ika Ika 333 (*M. integrifolia*) y Cate (*M. integrifolia* x *M. tetraphylla*) por tener el menor contenido de azúcares podrían destinarse a la industria alimentaria en la que se utiliza como ingrediente para helados, confitería, galletas, pasteles y chocolates (Sáez *et al.* 2014, 34; Navarro y Rodrigues, 2016, 156).

La mayor concentración de polifenoles registrada en las variedades de macadamia analizadas en este estudio fue menor a lo reportado por Kornsteiner *et al.* (2006, 381), de 4.68 mg EAG g⁻¹ bs, pero cercano a 1.56 mg EAG g⁻¹ bs que reportó Wu *et al.* (2004, 4026). En cuanto a la actividad antioxidante de *M. integrifolia*, esta fue inferior a lo reportado por Wu *et al.* (2004, 4026) de 16.95 μmol Eq. Trolox g⁻¹. La baja actividad antioxidante pudiera atribuirse a que los compuestos que le confieren la actividad antioxidante son afectados durante la cosecha, poscosecha y la variedad. Las variedades Victoria y UCLA (*M. integrifolia* x *M. tetraphylla*) pudieran destinarse para el consumo en fresco con potencial beneficio a la salud por tener el mayor contenido de polifenoles y actividad antioxidante.

Aunque no hay una dosis establecida sobre el consumo de la nuez de macadamia, algunos autores reportaron que la ingesta de 40 a 90 g/día disminuye el estrés oxidativo, trombosis e inflamación celular (Sáez *et al.* 2014, 34); otros autores reportan que el consumo de 42.5 g/día de

nuez reduce el riesgo cardiovascular (Griel *et al.* 2008, 760). Adicionalmente, Gobbo *et al.* (2015,1354) observó que la ingesta > 60 g/día de nuez reduce los niveles sanguíneos de colesterol total, LDL-colesterol y triglicéridos.

Caracterización física y química del aceite

Las características físicas y químicas de un aceite dependen de factores como la semilla de la que proviene, el grado de insaturación, la longitud y las formas isoméricas de los ácidos grasos, la estructura molecular de los triglicéridos y el método de extracción (Rodríguez-Millán *et al.* 2011, 58). En este sentido Lawson (1999) indicó que el alto contenido de humedad favorece la incidencia de reacciones de hidrólisis, lo que provoca el deterioro del aceite a través de la generación de AGL. En este estudio el porcentaje de humedad registrado en el aceite de las diferentes variedades de macadamia fue bajo, por lo que podría esperarse una alta estabilidad a la oxidación. Los valores de humedad están dentro del intervalo de 0.05 a 0.30% reportado por Lawson (1999) para aceites vegetales.

La densidad relativa en las variedades de *M. integrifolia*, *M. tetraphylla* y sus híbridos, tienen valores promedio similares a lo reportado por Moodley *et al.* (2007, 585) y por Rodríguez-Millán *et al.* (2011, 58). Estos autores reportaron densidades para aceite de *M. integrifolia* de 0.9152 y 0.9116 para *M. Tetraphylla*. Además, los registros coinciden con el intervalo descrito por Lawson (1999) para aceites vegetales (0.910-0.920). El punto de fusión del aceite en la variedad Huatusco fue el más bajo (6.0 °C) y en general, todas las variedades presentaron menor punto de fusión que el reportado por Rodríguez-Millán *et al.* (2011, 58) y sólo el aceite de *M. integrifolia* tuvo un valor más alto (9 °C). Esto es de sustancial relevancia ya que el punto de fusión de un aceite es la temperatura a la cual todos sus componentes individuales se han fundido completamente y depende de factores como la longitud de las cadenas de los ácidos grasos, la posición de éstos en la molécula de glicerol y la proporción ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados (AGS/AGI) (Lawson 1999).

En este estudio la variedad Ika Ika 333 presentó el más alto índice de saponificación, por lo tanto, el aceite de esta variedad podría utilizarse ampliamente en industria cosmética. Diversos autores han señalado el uso de aceite de macadamia en productos específicos como jabón para el cabello, crema para la piel, lápiz labial y maquillaje (Blin y Guillard, 2010; Navarro y Rodrigues, 2016, 156; Rodríguez-Millán *et al.* 2011,58; Sáez *et al.* 2014, 34). Además, los valores promedio

de índice de saponificación que se registraron en este estudio fueron superiores a lo reportado por Moodley *et al.* (2007, 585), con valor de 193.7 mg KOH g⁻¹ y Rodríguez-Millán *et al.* (2011, 58), de 233.65 mg KOH g⁻¹.

El índice de acidez se relaciona con el contenido de ácidos grasos libres en un aceite, entre menor cantidad de ácidos grasos libres contenga un aceite, mejor será su calidad (Ibeto *et al.* 2012, 1). Todas las variedades de macadamia tienen índices de acidez bajos y menores de 0.82% reportado por Rodríguez-Millán *et al.* (2011, 58), lo que indica que son aceites de alta calidad.

El índice de peróxido de la variedad de *M. integrifolia* fue superior comparado con las otras variedades de macadamia y respecto a lo reportado por Maguire *et al.* (2004, 171). Aunque para el aceite de las variedades de *M. tetraphylla*, A-527 y L1, presentaron un valor inferior a lo registrado por Kaijser *et al.* (2000, 67). Además, el aceite de las variedades de los híbridos interespecíficos (*M. integrifolia* y *M. tetraphylla*) mostraron valores inferiores a lo reportaron Maguire *et al.* (2004, 171) y Kaijser *et al.* (2000, 67). Es importante indicar que el bajo índice de peróxidos muestra que en el momento del análisis no habían ocurrido reacciones de oxidación (Jiménez *et al.* 2001, 89), lo cual se confirmó con la prueba de rancidez, cuyo resultado fue negativo en todas las variedades. En general en las nueve variedades estudiadas, el índice de peróxido estuvo muy por debajo del límite establecido de por el Codex Alimentarius (1989) para aceites vírgenes el cual es de 15 mEq.O₂ kg⁻¹.

El color del aceite de las nueve variedades de macadamia fue amarillo claro brillante, por lo que se espera una amplia aceptación por parte de los consumidores, que por lo general, prefieren los aceites de color claro y translucido.

Conclusiones

Las nueces de macadamia analizadas presentaron diferencias en sus características físicas y su composición química atribuibles a la variedad. Mientras que las características físicas y químicas del aceite indicaron que en general el aceite obtenido de las diferentes variedades es de alta calidad para emplearse preferentemente en productos alimenticios. El aceite de Ika Ika 333 tiene un alto potencial para emplearse en la industria cosmética.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a Laura Mapel-Velazco [No. 279502]. Este estudio recibió financiamiento de la Fundación Educación Superior-Empresa, A.C. El material biológico fue proporcionado por la Unión de Productores Agropecuarios y Forestales de la Zona Alta de Coatepec, Veracruz, A.C. Se agradece a todos los participantes anónimos que ayudaron en la colecta de las muestras.

Referencias

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1999). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg. [https://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official Methods of Analysis/AOAC Member/Pubs/OMA/AOAC Official Methods of Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48](https://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official%20Methods%20of%20Analysis/AOAC%20Member/Pubs/OMA/AOAC%20Official%20Methods%20of%20Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48) (18 de mayo de 2017).
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg. [https://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official Methods of Analysis/AOAC Member/Pubs/OMA/AOAC Official Methods of Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48](https://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official%20Methods%20of%20Analysis/AOAC%20Member/Pubs/OMA/AOAC%20Official%20Methods%20of%20Analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48) (18 de mayo de 2017).
- Blin X, Guillard S. (2010). Cosmetic composition comprising macadamia oil and a wax. Patent: EP2224899A2, France
- Brand-Williams W, Cuvelier M, Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology* (28): 25-30
- Codex Alimentarius. (1989) Codex standard for named vegetable oils. <http://www.fao.org/docrep/004/Y2774E/y2774e04.htm> (18 de mayo de 2017).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). Clima. http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=112 (18 de mayo de 2017).
- Dubois M, Gilles K, Hamilton J, Rebers P, Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* (28): 350-356.
- Gobbo LC, Falk MC, Feldman R, Lewis K, Mozaffarian D. (2015). Effects of tree nuts on blood lipids, apolipoproteins, and blood pressure: systematic review, meta-analysis, and dose-response of 61 controlled intervention trials. *American Journal of Clinical Nutrition* (102): 1347-1356.
- Griel AE, Cao Y, Bagshaw DD, Cifelli AM, Holub B, Kris-Etherton PM. (2008). A macadamia nut-rich diet reduces total and ldl-cholesterol in mildly hypercholesterolemic men and women. *Journal of Nutrition* (138): 761-767.

- Hamilton RA, Ito PJ. (1974). Development of macadamia nut cultivars in Hawaii. California Macadamia Society Yearbook. Hawaii:University of Hawaii (4): 14-21.
- Ibeto CN, Okoye COB, Ofoefule AU. (2012). Comparative Study of the Physicochemical Characterization of Some Oils as Potential Feedstock for Biodiesel Production. International Scholarly Research Network: 1-4.
- International Nut and Dried Fruit. (2015). Global Statistical Review 2014-2015. Foundation. https://www.nutfruit.org/wp-content/uploads/2015/11/global-statistical-review-2014-2015_101779.pdf (18 de mayo de 2017).
- Jiménez ME, Aguilar MR, Zambrano ML, Kolar E. (2001). Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. Journal of the Mexican Chemical Society (45): 89-92.
- Kaijser A, Dutta P, Savage G. (2000). Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. Food Chemistry (71): 67-70.
- Kornsteiner M, Wagner K, Elmadfa I. (2006). Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. Food Chemistry (98): 381-387.
- Lawson, H. (1999). Aceites y grasas alimentarios: tecnología, utilización y nutrición. España: Acribia.
- Li D, Hu XJ. (2011). Fatty acid content of commonly available nuts and seeds. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention :35-42.
- Maguire L, O'Sullivan S, Galvin K, O'Connor T, O'Brien N. (2004). Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the Macadamia nut. International Journal of Food Science Nutrition (55): 171-178.
- McGuire RG. (1992). Reporting of objective color measurements. Horticultural Science (27): 1254-1255.
- Moodley R, Kindness A, Jonnalagadda SB. (2007). Elemental composition and chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa. Journal of Environmental Science and Health (42): 585-591.
- Munro IA, Garg ML. (2006). Nutrient composition and health beneficial effects of macadamia nuts. Compilado por Alasalvar C, Shahidi FG, 249-257. Florida, USA: CRC Press.
- Nagao MA, Ito PJ, Tsumura T, Kawabata AM. (2003). Performance of new macadamia selections in Hawaii. Proceedings 2nd International Macadamia Symposium: 77-79.
- Navarro SLB, Rodrigues CEC. (2016). Macadamia oil extraction methods and uses for the defatted meal byproduct. Trends in Food Science & Technology (54): 148-154.
- Norma Mexicana NMX-F-075-SCFI-2006. (2006). Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales- determinación de ácidos grasos libres- método de prueba. http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=2121051 (18 de mayo de 2017)
- Norma Mexicana NMX-F-101-SCFI-2012. (2012). Alimentos-aceites y grasas vegetales o animales-determinación de ácidos grasos libres-método de prueba. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5268346&fecha=17/09/2012 (18 de mayo de 2017)

- Norma Mexicana NMX-F-114-SCFI-2011. (2011). Alimentos - grasas y mantecas vegetales o animales -determinación de punto de fusión - método de prueba. <http://aniame.com/mx/wp-content/uploads/Normatividad/CTNNIAGS/NMX-F-114-SCFI-2011.pdf> (18 de mayo de 2017).
- Norma Mexicana NMX-F-174-SCFI-2006. (2006) Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales- determinación del índice de saponificación- método de prueba. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355911&fecha=11/08/2014&print=true (18 de mayo de 2017).
- Norma Mexicana NMX-F-211-SCFI-2006. (2006). Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales- determinación de humedad y materia volátil- método de prueba. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-211-1987.PDF> (18 de mayo de 2017).
- Norma Mexicana NMX-F-222-SCFI-1975. (1975). Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales- determinación de rancidez en aceites y grasas vegetales y animales. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-222-1975.PDF> (18 de mayo de 2017).
- O'Hare P, Quinlan K, Stephenson R. (2004). Growing guide: macadamia grower's handbook. Queensland Department of Primary Industries. http://era.daf.qld.gov.au/1964/4/mac-growing_guide_Part4.pdf (18 de mayo de 2017).
- Quintas GS. (2011). Manual técnico para productores de nuez de macadamia. Guía de siembra, manejo y procesamiento. México, D.F: Asociación Mexicana de Productores, Procesadores y Exportadores de Nuez de Macadamia, A.C.
- Ramos N. (1979). El cultivo de la macadamia. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Robledo-Martínez JD, Escamilla-Prado E. (2004). Diagnóstico y evaluación de macadamia (*Macadamia spp*) en el Centro de Veracruz. Geografía Agrícola (20): 143-157.
- Robledo-Martínez JD, Gutiérrez MA, Ramírez P, Rodríguez J. (2004). Descriptor for macadamia (*Macadamia spp*). Acta Horticulturae (634): 203-208.
- Rodríguez-Millán PS, Silva-Ramírez AS, Carrillo-Inungaray ML. (2011). Caracterización fisicoquímica del aceite de nuez de Macadamia (*Macadamia integrifolia*). CyTA-Journal of Food (9): 58-64.
- Sáez A, Montoya S, Cabrera J, Asensio C, Ortega E. (2014). Characterization and lipid profile of macadamia nuts (*Macadamia Integrifolia* and *Macadamia Tetraphyllia*). International Journal of Engineering and Applied Sciences (4): 33-39.
- SAS Institute. (2002). Statistical Analysis System. https://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html (18 de mayo de 2017).
- Singleton V, Rossi J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdenophosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture (16): 144-158.
- Trueman S. (2013). The reproductive biology of macadamia. Scientia Horticulturae (150): 354-359.

- Wall M, Gentry T. (2007). Carbohydrate composition and color development during drying and roasting of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*). *LWT-Food Science and Technology* (40): 587-593.
- Wood L, Garg M. (2011). Macadamia Nuts (*Macadamia integrifolia* and *tetraphylla*) and their Use in Hypercholesterolemic Subjects. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*: 717-725.
- Wu X, Beecher G, Holden J, Haytowitz D, Gebhardt S, Prior R. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (52): 4026-4037.

