

COMPARACIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE CALABAZA DE TRES ESPECIES Y OCHO ACEITES COMERCIALES MEDIANTE UN MÉTODO MULTIVARIADO

COMPARISON OF PUMPKIN SEED OIL OF THREE SPECIES AND EIGHT COMMERCIAL OILS BY MEANS OF A MULTIVARIATE METHOD

Teodoro Espinosa-Solares^{1*}; Luis A. Medina-Juárez²; Enot Hueda-Rasgado¹; Clemente Villanueva-Verduzco³; Osvaldo A. Montesinos-López⁴; Adalberto Gómez-Cruz¹

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, México. C. P. 56230. *Correo-e: t.espinosa.s@taurus.chapingo.mx (*Autor para correspondencia)

²Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. México. ³Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. México.

⁴Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. México.

RESUMEN

Cuatro variedades diferentes de semilla de calabaza *Cucurbita pepo* L. (con y sin testa), *C. argyrosperma* y *C. ficifolia* previamente mejoradas genéticamente fueron caracterizadas por su composición química. Se utilizaron los métodos oficiales de la Sociedad Americana de Químicos de Aceites para determinar los parámetros de calidad de contenido de aceite, ácidos grasos libres, peróxidos, anisidina, tocoferoles y el perfil de ácidos grasos. Se aplicó un análisis canónico discriminante para el perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de calabaza y otros aceites comestibles. Las variables canónicas indicaron que los ácidos oleico y linoleico fueron los principales componentes que establecieron diferencias entre el material evaluado y otros aceites vegetales. Los resultados indicaron que el aceite de semilla de calabaza tiene alto potencial para el consumo humano saludable.

Palabras clave adicionales: Semilla sin testa, ácidos grasos, análisis canónico discriminante, tocoferoles, peróxido.

ABSTRACT

Four different pumpkin seed from *Cucurbita pepo* L. (hull and hull-less), *C. argyrosperma* and *C. ficifolia* previously bred by our research team were characterized by their chemical composition. The Official Methods of the American Oil Chemists' Society were used to determine the quality parameters oil content, free fatty acids, anisidine, peroxide, tocopherols, and fatty acids profile. A canonical discriminant analysis to the fatty acids profile of the pumpkin seed oil and other oils was applied. The canonical variables indicated oleic and linoleic acid contents were the principal components that established differences among the material evaluated here and other vegetable oils. The results indicated that the pumpkin oil from hull and hull-less seed have a potential for healthy human consumption.

Additional key words: Hull-less seed, fatty acids, canonical discriminant analysis, tocopherols, peroxide.

INTRODUCCIÓN

Los aceites comestibles han sido utilizados en todo el mundo desde tiempos remotos y obtenidos de diversas fuentes, por lo que poseen características muy diversas. El aumento de la población mundial ha propiciado el aumento constante en su producción y al mismo tiempo la modificación de la composición de ácidos grasos con la finalidad de hacerlos más versátiles en su uso (Hammond, 2000; Burton *et al.*, 2004). El aceite de la semilla de calabaza también ha sido sujeto a cambios en su composición, naturales e inducidos, con el paso del tiempo y la adaptación a diversos ambientes. El contenido de aceite ha variado desde alrededor de 30 % en los años de 1960 (Bemis *et al.*, 1967) hasta más del 50 % en años recientes (Murkovic *et al.*, 2004). De igual manera, el perfil de ácidos grasos se ha modificado; han aumentando los contenidos de los ácidos esteárico y linoleico de 3 a 8 % y de 42 a 54 %, respectivamente. Por otro lado, el contenido del ácido palmítico ha disminuido de 12 a 5.4 % y del ácido oleico de 43 a 29 % (Bemis *et al.*, 1967; Jacks *et al.*, 1972; Younis *et al.*, 2000; Murkovic y Pfannhauser, 2000; Murkovic *et al.*, 2004).

Todos los aceites vegetales proveen y participan como transportadores de vitaminas liposolubles, tales como A, D, E y K (Lawson, 1985; Wan, 2000). Los tocoferoles, antioxidantes naturales que protegen a los aceites y grasas de la oxidación, previenen la oxidación del colesterol y la formación de productos de oxidación del colesterol (Liepa *et al.*, 2000; Murkovic *et al.*, 1999). Los ácidos grasos ω -6 en la dieta, incluyendo los ácidos linoleico y araquidónico, han sido de interés por muchos años, principalmente por su habilidad para disminuir la concentración del colesterol en la sangre (Liepa *et al.*, 2000; El-Adawy y Taha, 2001). Los parámetros de calidad de los aceites comúnmente usados son el índice de peróxidos (IP), índice de yodo (IY), valor de anisidina (VA), tiempo de inducción en Rancimat (tR) y perfil de ácidos grasos incluyendo los *trans*-isómeros (Lee *et al.*, 1998; Naz *et al.*, 2005; White, 2000). Algunos de ellos permiten conocer la incidencia de la oxidación sobre el aceite, y la eficiencia del proceso de refinación (Wan, 2000).

El análisis multivariado ha sido una herramienta útil en la caracterización estadística de la composición de ácidos grasos de aceites vegetales comestibles. Lee *et al.* (1998), aplicando el análisis de componentes principales (ACP), establecieron grupos de aceites con características bien definidas. Aplicando la misma técnica, Mildner-Szkudlarz *et al.* (2003) identificaron aceite fresco de aceite almacenado. Ranalli *et al.* (2003), analizando aceite de oliva, encontraron que al aplicar el ACP a los datos de composición de ácidos grasos es posible agrupar las variedades por características comunes. Brodnjak-Vočina *et al.* (2005) propusieron un método de clasificación de aceites vegetales basada en la composición de los ácidos grasos, aplicando el ACP. Los resultados indicaron que los ácidos grasos que permitieron hacer la diferenciación fueron los ácidos oleico y linoleico.

El Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (México), a través del Programa de Mejoramiento Genético de Calabaza, ha logrado generar, mediante técnicas de

retrocruza y selección, una variedad de calabaza (*Cucurbita pepo* L.) que destaca por producir una semilla sin testa y además con un potencial de rendimiento de alrededor de 5.5 t·ha⁻¹; adicionalmente se han obtenido genotipos de *Cucurbita argyrosperma*, *C. ficifolia* y *C. pepo* L., que destacan por su resistencia a atrazina, linurón y simazina. El trabajo que aquí se presenta tuvo como objetivo comparar la calidad de los aceites de cuatro variedades de calabaza con otros aceites vegetales comestibles mediante un análisis de varianza tradicional y una técnica de análisis multivariado, así como obtener los valores de las variables canónicas, que permitan agrupar aceites de origen desconocido con las agrupaciones obtenidas para aceites de diversos orígenes, con base en la composición de seis ácidos grasos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de cuatro diferentes variedades experimentales de calabaza, la variedad que produce una semilla sin testa *C. pepo* L. (S1) y tres resistentes a herbicidas: *C. pepo* L. (S2), *C. argyrosperma* (S3) y *C. ficifolia* (S4). Las semillas provinieron de diversos campos experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo (México).

Extracción del aceite

Las semillas fueron trituradas en un molino y en seguida se sometieron a extracción con hexano. La calidad del aceite se evaluó en muestras de 50 mL de aceite de cada semilla por duplicado. El solvente se eliminó por evaporación en estufa a 60 °C por 3 h.

Evaluación de la calidad de los aceites

Las determinaciones de ácidos grasos libres (AGL), índice de peróxidos (IP) y valor de anisidina (VA) se realizaron siguiendo los procedimientos Ca 5a-40, Cd 8-53 y Cd 18-90 de la American Oil Chemist's Society (AOAC, 2009), respectivamente.

El contenido de tocoferoles se determinó por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) (Varian modelo 9050) con una columna LiChrosorb Si60 (25 cm × 4 mm, tamaño de partícula de 5 µm; Supelco) equipado con un detector ultravioleta (Varian modelo 3400), de acuerdo con el procedimiento descrito por Medina-Juárez *et al.* (2000). La fase móvil fue hexano:isopropanol (99.5:0.5) a una velocidad de flujo de 2.0 mL·min⁻¹. La longitud de onda programada para cada tocoferol a su absorción máxima fue de 294 nm (α -T) y 298 nm (γ -T y δ -T). La muestra (2g) se diluyó en 25 mL de hexano y se inyectó directamente en el HPLC siguiendo el procedimiento AOCS Ce 8-89 (AOAC, 2009). Los picos de los tocoferoles se identificaron por comparación con el tiempo de retención de los patrones respectivos (Sigma Chemical Co., St. Louis. MO).

Perfil de ácidos grasos

Las muestras fueron saponificadas y metiladas (de acuerdo con los procedimientos de la AOCS Ce 2-66). Los ésteres metílicos de los ácidos grasos (EMAG) fueron analizados en un

cromatógrafo de gas (CG) (Varian modelo 3400) equipado con un detector y un integrador de flama ionizante (PerkinElmer) de acuerdo con el método descrito por Medina-Juárez, *et al.* (2000). Se utilizó una columna capilar de sílica fundida cubierta con biscianopropil polisiloxano al 100 % como la fase estacionaria (SP-2560, 100 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 20 µm de grosor; Supelco, Bellefonte, PA). Los picos de EMAG se identificaron por comparación con el tiempo de retención de los patrones respectivos (Sigma Chemical Co., St. Louis. MO).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis univariado de varianza (Krzanowski, 1988) considerando un diseño completamente al azar, donde los tratamientos fueron los aceites vegetales y las variables respuesta los parámetros evaluados en el trabajo. En todos los casos la unidad experimental fue de 50 mL de aceite de cada semilla analizándose por duplicado. Cuando se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos, se aplicó la separación de medias con la prueba de Tukey. Para comparar la calidad de los aceites de las cuatro variedades estudiadas con la de ocho aceites vegetales (maíz, mezcla de aceites, oliva, cacahuate, calabaza, cártamo, soya y girasol) reportados en la literatura por Brodnjak-Vočina *et al.* (2005), se empleó el contenido de los 6 ácidos grasos (palmitico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico y araquídico) aplicando un análisis canónico discriminante (ACD) como lo indica Cruz-Castillo *et al.* (1994). Para realizar los análisis correspondientes se ejecutaron los procedimientos ANOVA y CANDISC del programa Statistical Analysis System (SAS, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de aceite, ácidos grasos libres, índice de peróxidos, valor de anisidina y tocoferoles

En el Cuadro 1 se observa el contenido de aceite obtenido para cada una de las variedades evaluadas. El porcentaje de aceite en la semilla entera permite comparar el potencial que tienen las diferentes variedades en la explotación comercial de aceite. Destaca el mayor contenido de aceite de la semilla sin testa (S1) con cerca del 44 %; si bien no existe diferencia estadística con S4 (40.5 %), sí la hay con S2 y S3, teniendo estas últimas,

respectivamente, 40.1 y 32.4 %. Sin duda, la proporción de testa en la semilla afecta la proporción del contenido de aceite. El estudio de la influencia de las estructuras de la semilla en el rendimiento se recomienda para investigaciones futuras. Los valores de AGL, IP y VA fueron relativamente altos respecto a los valores de referencia para aceites refinados sugeridos en la literatura. Se recomiendan valores menores de 0.05 % para AGL, 1 meq·kg⁻¹ para IP y 2 mmol·kg⁻¹ para VA (Wan, 2000; White, 2000). Si bien los valores pueden considerarse elevados, sin duda no son una limitante para su explotación comercial, dado que estos parámetros normalmente reducen sus valores durante el proceso de refinación (O'Brien, 2000).

Los tocoferoles presentes en las semillas fueron principalmente de las formas alfa y gamma, con valores totales en los aceites de semilla de calabaza en el rango de 18.2 a 57.1 ppm (Cuadro 1). El mayor contenido de los tocoferoles lo reporta S1 (la semilla sin testa), la cual a su vez posee el mayor contenido de alfa tocoferol (32.6 ppm) y el segundo más alto de gamma tocoferol (24.5 ppm) después de la S4. Se detectaron sólo trazas de delta tocoferol.

Perfil de ácidos grasos

Cuando se compararon los ácidos grasos de las semillas de calabaza evaluadas (Cuadro 2), no se observaron diferencias estadísticas entre variedades en el contenido de los ácidos grasos araquídico y linolénico. En el caso de los ácidos esteárico, oleico y palmítico se forman dos grupos estadísticamente diferentes: S4 con el contenido máximo de ácido oleico y palmítico (32.6 y 15.3 %, respectivamente) y mínimo de ácido esteárico (7.7 %), y S1, S2 y S3 con porcentajes estadísticamente menores o iguales de estos ácidos grasos. Finalmente, las variedades formaron tres grupos estadísticamente diferentes de acuerdo con el contenido de ácido linoleico, siendo S1 y S4 las variedades con los contenidos extremos de 51.9 y 41.7 %, respectivamente.

En todos los aceites de las semillas de calabaza evaluadas (S1, S2, S3 y S4), el ácido graso de mayor proporción fue el linoleico con valores superiores al 40 %, que junto con el oleico cubren más del 70 % de los ácidos grasos. Los aceites de semilla de calabaza presentaron más del 40 % de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente linoleico, y más del 20 % de

Cuadro 1. Contenido de aceite, ácidos grasos libres, índice de peróxido, valor de anisidina y tocoferoles de los aceites de semilla de calabaza.

Variedad	Contenido de aceite (%)	AGL (%)	IP (meq·kg ⁻¹)	VA (mmol·kg ⁻¹)	Tocoferoles (ppm)	
					Alfa	Gamma
S1	44.1 a ^z	0.24 b	4.7 c	3.0 c	32.6 a ^z	24.5 b
S2	40.1 b	0.26 b	59.2 a	9.9 a	10.9 bc	7.3 c
S3	32.4 c	0.62 a	9.7 b	3.9 b	12.3 b	10.5 c
S4	40.5 ab	0.36 b	6.2 bc	2.1 d	5.6 c	38.7 a
DE	0.48	0.05	0.50	0.14	1.75	1.12

^zMedias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). DE: desviación estándar.

Cuadro 2. Media y desviación estándar (DE) del porcentaje de ácidos grasos de las semillas de calabazas (S1, S2, S3 y S4) y de otros aceites. Se presentan resultados del ANDEVA comparando únicamente los aceites de las cuatro semillas de calabaza (S1, S2, S3 y S4) para cada una de las variables respuesta.

Tipo de aceite	n	Palmítico		Estearico		Oleico		Linoleico		Linolénico		Araquídico	
		Media (%)	DE	Media (%)	DE	Media (%)	DE	Media (%)	DE	Media (%)	DE	Media (%)	DE
S1	2	11.9 b	0.4	9.1 a	0.4	24.3 b	0.6	51.9 a	0.6	0.5 a	0.0	0.4 a	0.0
S2	2	12.4 ab	0.1	9.1 a	0.0	26.7 b	0.1	49.0 ab	0.1	0.4 a	0.0	0.4 a	0.1
S3	2	14.6 ab	1.1	9.7 a	0.1	25.2 b	1.9	47.6 b	1.3	0.5 a	0.1	0.4 a	0.3
S4	2	15.3 a	0.9	7.7 b	0.3	32.6 a	0.0	41.7 c	0.5	0.4 a	0.2	0.3 a	0.0
Maíz [#]	2	10.4	0.5	2.1	0.4	33.6	4.7	51.3	5.9	1.6	0.9	0.5	0.0
Mezcla de aceites [#]	36	7.5	2.5	3.6	1.1	38.8	16.5	43.6	14.8	4.7	3.1	0.5	0.3
Oliva [#]	7	11.5	1.7	2.8	0.1	72.6	4.4	10.7	3.3	1.2	1.2	0.2	0.2
Cacahuete [#]	3	9.8	0.2	3.3	0.1	59.0	1.2	20.8	0.4	0.2	0.1	1.5	0.0
Calabaza [#]	37	11.0	1.3	5.4	0.6	33.3	4.2	48.8	4.4	0.9	0.9	0.4	0.3
Cártamo [#]	10	5.2	0.5	2.0	0.2	58.2	4.2	23.8	3.9	8.4	0.9	0.4	0.3
Soya [#]	11	10.5	0.6	4.0	0.3	25.7	1.9	52.2	1.8	6.7	0.8	0.3	0.2
Giraso [#]	26	6.3	0.3	4.1	0.4	26.0	1.9	61.7	2.1	0.6	0.5	0.3	0.5

140

[#]Datos tomados de Brodnjak-Vočina *et al.* (2005). Medias con letras diferentes en la misma columna muestran diferencia estadística según prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$; n es el número de elementos o repeticiones por tipo de aceite.

oleico, un ácido graso monoinsaturado. Los valores obtenidos fueron similares a los reportados para otras variedades de calabaza (Jacks *et al.*, 1972; Murkovic *et al.*, 1999; Younis *et al.*, 2000; Murkovic *et al.*, 2004).

Comparación del perfil de ácidos grasos de diferentes tipos de aceites

Con la finalidad de contrastar los materiales evaluados con otros tipos de aceites, se aplicó el análisis canónico discriminante. Las variables consideradas fueron los contenidos de los ácidos grasos palmítico, esteárico, oleico, linoleico, araquídico y linolénico (Cuadro 2), que en el análisis generan como máximo 6 variables canónicas (VCs). Cuando se analizaron los datos no estandarizados, el método mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los 12 grupos de aceite. De acuerdo con la prueba de razón de verosimilitud, solamente las dos primeras variables canónicas fueron significativas ($P \leq 0.05$), es decir, éstas fueron capaces de explicar la mayor cantidad de variabilidad total entre los tratamientos (Cuadro 3). La primera variable canónica (VC_1) explicó el 59.6 % de la variabilidad total, y la segunda (VC_2) el 28.1 %; es decir, las dos primeras VCs explican el 87.7 % de la variabilidad total entre tratamientos, mientras que las restantes variables canónicas explican únicamente el 12.3 % de la variabilidad. Por esta razón se utilizaron solamente las dos primeras VCs para la interpretación de los resultados. En el Cuadro 3 se puede observar que la VC_1 está mayormente asociada a los ácidos linoleico y oleico, dado que presentan los coeficientes canónicos estandarizados más altos, aunque con signo negativo, mientras que los coeficientes más bajos los presentan los ácidos araquídico, palmítico y esteárico; por lo que las diferencias entre los tratamientos son principalmente influidas por las variables

linoleico y oleico. Un alto valor de la VC_1 en un tratamiento implica concentraciones de linoleico y oleico relativamente bajas; mientras que un alto valor de la VC_2 significa un tratamiento que contiene, de forma relativa, bajas concentraciones de los ácidos palmítico y oleico y alta proporción de ácido esteárico. De acuerdo con los coeficientes de correlación, existe dependencia entre las variables originales y las dos primeras variables canónicas (VC_1 y VC_2). Para explicar las diferencias entre los tipos de aceite se graficaron las puntuaciones canónicas de las dos primeras VCs (Figura 1), a las que se les aplicó un análisis de varianza al 5 % de significancia (Cuadro 4).

En la Figura 1, se observa la alta capacidad discriminante de la VC_1 en separar a los cuatro tratamientos formados con las cuatro variedades de calabaza, con respecto a los otros ocho tipos de aceites vegetales comerciales. La Figura 1 indica que, en forma general, las cuatro variedades de calabaza presentan menores concentraciones de ácidos grasos linoleico y oleico, ya que presentan las puntuaciones canónicas (VC_1) más altas, comparados con los otros aceites vegetales (Cuadro 4). También se observa que existen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre las cuatro variedades de calabaza (Figura 1), ya que presentan distancias significativas en la VC_1 entre tratamientos, aunque éstas son muy similares a los demás aceites considerados en el análisis estadístico. La posición de los aceites de las variedades de calabaza en el primer cuadrante del plano cartesiano formado por las VCs, indica que éstos presentan concentraciones más bajas de los ácidos grasos linoleico y oleico que los otros aceites vegetales comerciales; sin embargo, también se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes aceites vegetales comerciales (Cuadro 4). Se puede

Cuadro 3. Coeficientes canónicos estandarizados (CCE) y coeficientes de correlación (R) entre las variables canónicas (VC₁, VC₂) y las seis variables respuesta para doce tipos de aceite.

Variable	Notación	VC ₁	R	VC ₂	R
		CCE		CCE	
Palmítico	X ₁	-0.57	0.75	-2.09	-0.03
Esteárico	X ₂	0.62	0.64	2.86	0.64
Oleico	X ₃	-10.75	0.17	-2.50	-0.65
Linoleico	X ₄	-12.62	-0.32	-1.80	0.58
Araquídico	X ₅	-0.23	0.11	-0.24	-0.06
Linolénico	X ₆	-2.83	-0.37	1.02	0.00
Correlación canónica		0.95		0.92	
Valor propio		9.96		5.63	
Varianza explicada (%)		59.64		28.06	

Cuadro 4. Medias y desviación estándar (DE) de las puntuaciones canónicas estandarizadas de las dos primeras variables canónicas (VCs) para los doce tratamientos.

Tratamiento	VC ₁ ^z	VC ₂ ^z
S4	9.72	6.01
S3	8.55	1.47
S2	7.72	6.09
S1	7.11	6.55
Cacahuate	6.01	-4.71
Oliva	4.07	-6.82
Calabaza	1.60	0.01
Mezclado	-1.35	0.27
Soya	-1.38	0.60
Cártamo	-2.23	-0.55
Maíz	-2.36	-5.64
Girasol	-3.12	0.83
DE	1.00	1.00

^z Existe diferencia significativa entre tratamientos $P \leq 0,05$

observar que los restantes ocho aceites vegetales presentan concentraciones de oleico y linoleico muy parecidas entre sí, mas no iguales estadísticamente.

En el Cuadro 4 se presenta un análisis de varianza sobre las dos primeras VCs, donde las puntuaciones canónicas de la VC₁ están ordenadas de mayor a menor, lo cual confirma que las cuatro variedades de calabaza presentan los valores más bajos de ácidos linoleico y oleico, mientras que los aceites comerciales de maíz y girasol presentan las concentraciones más altas. Las variedades S1, S2, S3 y S4 se separan del resto de los aceites; sin embargo, dentro de los aceites comerciales comparados, los que poseen características más similares a las variedades evaluadas son los aceites de cacahuate, calabaza y oliva. Finalmente, las Ecuaciones (1) y (2) describen la complejidad matemática de los datos y son de gran utilidad para entender las diferencias existentes entre los

tratamientos. Las variables referidas en las Ecuaciones (1) y (2) corresponden a los seis tipos de ácidos grasos, de acuerdo con la notación descrita en el Cuadro 3. Las Ecuaciones (1) y (2) pueden emplearse para clasificar aceites vegetales desconocidos, para ubicarse en los grupos formados en la Figura 1. Para ello, la puntuación canónica del nuevo aceite, que se puede obtener con las Ecuaciones (1) y (2), lo ubicará en el plano cartesiano y se considerará como parte del grupo más cercano a su posición. Esta es una aproximación empírica para ubicar muestras desconocidas, dentro de grupos conocidos con resultados confiables cuando los grupos están bien definidos.

$$VC_1 = -0.57X_1 + 0.62X_2 - 10.75 X_3 - 12.62 X_4 - 0.23 X_5 - 2.83 X_6 \quad (1)$$

$$VC_2 = -2.09X_1 + 2.86X_2 - 2.50X_3 - 1.80X_4 - 0.24 X_5 + 1.02X_6 \quad (2)$$

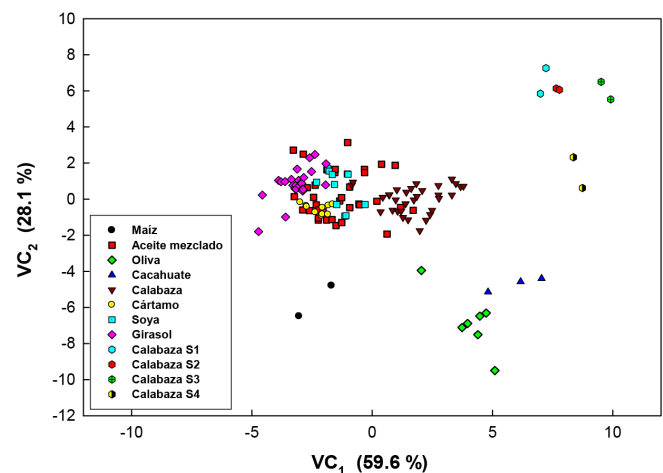


Figura 1. Puntuaciones canónicas de las dos variable canónicas (VCs) de los aceites de calabaza (S1, S2, S3 y S4) y los aceites reportados por Brodnjak-Vočina *et al.* (2005)

CONCLUSIONES

Las variedades estudiadas poseen un contenido de aceite entre 32.4 y 44.1 %, destacando la S1 (semilla sin testa) con el valor máximo. Por su parte, los valores de tocoferoles totales están en el rango de 18.2 a 57.1 ppm, destacando las formas alfa y gamma como las principales. El perfil de ácidos grasos de las semillas de calabaza muestra un contenido similar a los reportados en la literatura, siendo los ácidos grasos de mayor importancia los ácidos linoleico, oleico y palmítico; por consiguiente, los resultados indicaron que el aceite de semilla de calabaza tiene alto potencial para el consumo humano saludable. Si se considera que las semillas sin testa tienen una resistencia menor al proceso de extracción de aceite, este material tiene un alto potencial industrial. El análisis canónico discriminante aplicado al perfil de ácidos grasos de las variedades evaluadas y otros tipos de aceites reportados en la literatura, indica que las dos primeras variables canónicas explican el 87.7 % de la variabilidad de los grupos comparados. La primera variable canónica explica el 59.6 % de la variabilidad total, y está asociada con los ácidos linoleico, oleico y palmítico; la segunda variable canónica explica el 28.1 % y está caracterizada por los contenidos de ácido palmítico y oleico. Este análisis indicó que, en general, las cuatro variedades de calabaza presentan relativamente menores concentraciones de ácidos grasos linoleico y oleico cuando se compararon con otros aceites, siendo los aceites de cacahuate, calabaza y oliva los que presentaron más similitud a las variedades de calabaza evaluadas. Las variables canónicas propuestas pueden aplicarse para determinar el origen de aceites cuando se desconoce su fuente, previa determinación de la composición de los ácidos grasos.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, en especial al M.C. Jesús Ortega García, al Ing. Luís Alberto González y M.C. Juan Antonio Noriega. El presente trabajo se realizó con el apoyo financiero brindado por las Universidades Autónoma Chapingo y de Sonora.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 2009. Official Methods and Recommended Practice of American Oil Chemists Society AOCS. 6th Edition, Illinois, USA: AOCS Press.
- Bemis, W. P.; Berry, W.; Kennedy, M. J.; Woods, D.; Moran, M.; Deutschman Jr. A. J. 1967. Oil composition of Cucurbita. Journal of the American Oil Chemists' Society 44: 429-430.
- Brodnjak-Vočina D.; Kodba Z. C.; Novič M. 2005. Multivariate data analysis in classification of vegetable oils characterized by the content of fatty acids. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 74: 31-43.
- Burton J. W.; Millar J. F.; Vick; B. A.; Scarth R.; Holbrook Jr. C. C. 2004. Altering fatty acid composition in oil seed crops. In: Advances in Agronomy, Vol 84, Sparks D.L. (Ed.) Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, Inc.
- Cruz-Castillo J. G.; Ganeshanandam S.; Mackay B. R.; Lawes G. S.; Lawoko C. R. O.; Woolley D. J. 1994. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. HortScience 29: 1115-1119.
- El-Adawy T. A.; Taha K. A. 2001. Characteristics and composition of different seed oils and flours. Food Chemistry 74: 47-54.
- Hammond E. G. 2000. Sources of fats and oils. Ch. 3. In: Introduction to Fats and Oils Technology. O'Brien R. D., Farr W. E. y Wan P. J. (Eds.). Ed. AOCS PRESS. Illinois, U.S.A. pp. 49-62.
- Jacks T. J.; Hensarling T. P.; Yatsu L. Y. 1972. Cucurbit seeds: I. Characterizations and uses of oils and proteins. A Review. Economic Botany 26: 135-141.
- Krzanowski W. J. 1988. Principles of Multivariate Analysis. A User's Perspective. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Lawson H. W. 1985. Standard for fats and oils. The L. J. Minor Foodservice Standards Series Vol. 5. Connecticut, USA: AVI publishing company, Inc.
- Lee D. S.; Noh B. S.; Bae S. Y.; Kim K. 1998. Characterization of fatty acids composition in vegetable oils by gas chromatography and chemometrics. Analytica Chimica Acta 358: 163-175.
- Liepa G. U.; Han-Markey T. L.; Sutton M. 2000. Nutritional and Health Aspects of Dietary Lipids. Ch. 4. In: Introduction to Fats and Oils Technology. O'Brien R. D.; Farr W. E.; Wan P. J. (Eds.). Illinois, USA: AOCS Press. pp. 63-81.
- Medina-Juárez L. A.; Gámez-Meza N.; Ortega-García J.; Noriega-Rodríguez J. A.; Angulo-Guerrero O. 2000. Trans fatty acid composition and tocopherol content in vegetable oils produced in Mexico. Journal of the American Oil Chemists' Society 77: 721-724.
- Mildner-Szkudlarz S.; Jelen H. H.; Zawirska-Wojtasiak R.; Wasowicz E. 2003. Application of headspace-solid phase microextraction and multivariate analysis for plant oils differentiation. Food Chemistry 83: 515-522.
- Murkovic M.; Pfannhauser W. 2000. Stability of pumpkin seed oil. European Journal of Lipid Science and Technology 102: 607-611.
- Murkovic M.; Hillebrand A.; Draxl S.; Pfannhauser W.; Winkler W. 1999. Distribution of fatty acids and vitamin E content in pumpkin seeds *Cucurbita pepo* L. in breeding lines. Acta Horticulturae 492: 47-56.
- Murkovic M.; Piironen V.; Lampi A. M.; Kraushofer T.; Sontag G. 2004. Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process for production of pumpkin seed oil. Part 1: non-volatile compounds. Food Chemistry 84: 359-365.
- Naz S.; Siddiqi R.; Sheik H.; Sayeed S. A. 2005. Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. Food Research International 38: 127-134.
- O'Brien R. D. 2000. Fats and oils processing. Ch. 6. In: Introduction to Fats and Oils Technology. O'Brien R. D.; Farr W. E.; Wan P.J. (Eds.). Illinois, USA: AOCS Press. pp. 90-107.
- Ranalli A.; Gomes T.; Delcuratolo D.; Contento S.; Lucera L. 2003. Improving virgin oil quality by means of innovative extracting biotechnologies. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 2597-2602.
- SAS. 1989. SAS/STAT User's Guide. Version 6. 4th edition. Cary, NC, USA: SAS Institute.
- Wan P. J. 2000. Properties of fats and oils. Ch. 2. In: Introduction to Fats and Oils Technology. O'Brien R. D.; Farr W. E.; Wan P. J. (Eds.). Illinois, USA: AOCS Press. pp. 20-48
- White P. J. 2000. Flavor quality of Fats and Oils. Ch. 18. In: Introduction to Fats and Oils Technology. O'Brien R. D.; Farr W. E.; Wan P.J. (Eds.). Illinois, USA: AOCS Press. pp. 341-370.
- Younis Y. M. H.; Ghirmay S.; Al-Shihry S. S. 2000. African *Cucurbita pepo* L.: properties of seed and variability in fatty acid composition of seed oil. Phytochemistry 54: 71-75.