

Características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos de aceites de calabaza, zapallo y soya, durante el tratamiento térmico*

Physicochemical characteristics and fatty acid composition of squash, pumpkin and soybean oils, during heat treatment

ARTICA-MALLQUI, LUIS¹; BAQUERIZO-CANCHUMANYA, MERY-LUZ²; ROSALES-PAPA, HERMES-AMADEO³; RODRIGUEZ-PAUCAR, GILBERT-NILO⁴

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 12 de Diciembre 2021

Aprobado para publicación: 22 de marzo 2023

* Título Proyecto de origen: "Aprovechamiento de semillas de frutos nativos de la región central para la obtención de aceites y harinas proteicas para uso en la Industria alimentaria". Financiación: Universidad Nacional del Centro del Perú. Fecha de culminación: 10 setiembre 2021.

- 1 Universidad Nacional del centro del Perú, Facultad de Ingeniería en industrias alimentarias. Mg. Bromatología. Junín, Perú. <https://orcid.org/0000-0002-0481-9262>
- 2 Universidad Nacional del centro del Perú, Facultad de Ciencias Aplicadas. MSc. Ciencia y tecnología de Alimentos. Junín, Perú. <https://orcid.org/0000-0002-0360-0277>
- 3 Universidad Nacional del centro del Perú, Facultad de Ingeniería en industrias alimentarias. Dr en Medio ambiente y desarrollo sostenible. Junín, Perú. <https://orcid.org/0000-0003-0369-760>
- 4 Universidad Nacional del centro del Perú, Facultad de Ingeniería en industrias alimentarias. Dr. Ingeniería. Trujillo, Perú. <https://orcid.org/0000-0003-2981-1213>

Correspondencia: lartica@uncp.edu.pe

Cómo citar este artículo

ARTICA-MALLQUI, LUIS; BAQUERIZO-CANCHUMANYA, MERY-LUZ; ROSALES-PAPA, HERMES-AMADEO; RODRIGUEZ-PAUCAR, GILBERT-NILO. Características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos de aceites de calabaza, zapallo y soya, durante el tratamiento térmico. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 2, 2023, p. 75-86. Doi:<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2087>

RESUMEN

Los aceites son importantes en la alimentación humana y debido a sus componentes y características que dependen de su origen y tipo de procesamiento están relacionadas con la salud. El objetivo de esta investigación es realizar un estudio comparativo del comportamiento de los aceites de semilla de zapallo y semilla de calabaza cuando son sometidas a tratamiento térmico en relación a un aceite comercial. Para este propósito se han obtenido los aceites de las semillas de zapallo y calabaza, mediante extracción con CO₂ supercrítico y el aceite comercial fue el de soya obtenido del mercado local. Estos aceites se sometieron a un tratamiento térmico a diferentes temperaturas (20, 120, 150, 180 y 200 °C) luego a un tratamiento térmico a 180 °C a diferentes tiempos de calentamiento (0, 10, 30, 60 y 120 min), en cada caso se determinaron sus características fisicoquímicas (Índice de acidez, Índice de peróxidos, Índice de refracción y compuestos polares) y para la determinación de ácidos grasos esenciales se sometieron a tratamiento térmico hasta 240 °C. Se encontraron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos y contenido de ácidos grasos en los tres aceites. El aceite de soya presenta mejor estabilidad en su calidad fisicoquímica (índice de acidez e índice de peróxidos) hasta 150 °C, los aceites de semilla de calabaza y zapallo presentan estabilidad hasta 120 °C. Los compuestos polares a 180 °C x 120 minutos presentan porcentajes de 13,5 % en soya, 16 % en zapallo y 15,5 % en calabaza, los ácidos grasos en los tres aceites (a 240 °C) presentan disminución en los insaturados e incremento en los saturados. Se concluye que los aceites de semilla de calabaza y zapallo son menos estables que el aceite comercial, se recomienda que su consumo debe realizarse en frío o máximo a 120 °C para garantizar su calidad consumible.

ABSTRACT

Oils are important in human nutrition and due to their components and characteristics that depend on their origin and type of processing, they are related to health. The objective of this research is to carry out a comparative study of the behavior of pumpkin seed and pumpkin seed oils when subjected to heat treatment in relation to a commercial oil. For this purpose, oils have been obtained from pumpkin and squash seeds by extraction with supercritical CO₂ and the commercial oil was soybean oil obtained from the local market. These oils were subjected to a heat treatment at different temperatures (20, 120, 150, 180 and 200 °C) then to a heat treatment at 180 °C at different heating times (0, 10, 30, 60 and 120 min), in each case their physicochemical characteristics (acidity index, peroxide index, refractive index and polar compounds) were determined and for the determination of essential fatty acids they were subjected to heat treatment up to 240 °C. Significant differences were found in the physicochemical parameters and content of fatty acids in the three oils. Soybean oil has better stability in its physicochemical quality (acidity index and peroxide index) up to 150 °C, pumpkin seed and squash oils

PALABRAS CLAVE:

Compuestos polares; Índice de peróxidos; Índice de acidez; Índice de refracción; Ácidos grasos; Semillas cucurbitáceas; Extracción con CO₂ supercrítico; Cucúrbita ficifolia B; Cucúrbita máxima D; Glycine max.

KEYWORDS:

Polar compounds; Peroxide index; Acidity index; Refractive index; Fatty acids; cucurbit seeds; Extraction with supercritical CO₂; Cucurbita ficifolia B; Cucurbita maxima D; Glycine max.

have stability up to 120 °C. The polar compounds at 180 °C x 120 minutes present percentages of 13,5% in soybeans, 16 % in pumpkin and 15,5 % in pumpkin, the fatty acids in the three oils (at 240 °C) present a decrease in the unsaturated and increase in saturates. It is concluded that pumpkin and squash seed oils are less stable than commercial oil, it is recommended that their consumption should be carried out cold or at a maximum of 120 °C to guarantee their consumable quality.

INTRODUCCIÓN

Los aceites provenientes de fuentes vegetales están siendo incluidos cada vez más en la alimentación humana debido a su composición química, la cual ha sido investigada y difundida, ya que posee componentes importantes y beneficiosos para la salud. Así, el aceite de soya es un producto comercial importante por ser de consumo masivo (Bastos Fernandes & Ferrante Draghi, 2016) que contiene ácidos grasos insaturados, es fuente de omega-3 (ácido linolénico 7 %) y omega-6 (ácido linoleico 51 %); además, contiene bioactivos como flavonoides, esteroides y tocoferoles (Navas H. *et al.*, 2013; Bastos Fernandes & Ferrante Draghi, 2016) y es muy utilizado en la preparación de alimentos para elaborar frituras (Bastos Fernandes & Ferrante Draghi, 2016).

También, hay otros aceites vegetales que provienen de semillas cucurbitáceas como la sandía (*Citrullus lanatus*), donde se han encontrado ácidos grasos insaturados, ácidos fenólicos, carotenoides, tocoferoles, fitoesteroides y escualeno y se han reportado efectos relacionados con la salud, como su capacidad anticancerígena, antihipertensiva y cardioprotectora, lo que los convierte en aceites adecuados para el consumo humano (Patel & Rauf, 2017).

En otra especie de cucurbitácea se encuentra el aceite de semilla de zapallo (*Cucurbita maxima* L.), que contiene ácidos grasos monoinsaturado 41,7 %, poliinsaturados 37,2 %, ácido oleico 41,4 % y ácido linoleico 37%, además de esteroides entre los principales $\Delta 7,22,25$ -stigmastatrienol, $\Delta 7,25$ -stigmastadienol y spinasterol, lo que hace que este aceite se puede considerar como un alimento funcional y que deba ser explotado comercialmente (Montesano *et al.*, 2018).

De igual forma, el aceite de la semilla de *Cucurbita pepo* L. posee ácidos grasos poliinsaturados (53,60 a 53,73 %), altos contenidos de compuestos bioactivos como fitoesteroides, escualeno, tocoles, ácidos fenólicos y carotenoides, lo que contribuye a la estabilidad frente a las reacciones de oxidación y lo hace adecuado para su uso como aceite comestible de alto valor nutricional. Estos componentes bioactivos están relacionados con la salud, pues previenen enfermedades como cáncer de próstata, reducen el colesterol y disminuye la hipertensión (Stevenson *et al.*, 2007; Naziri *et al.*, 2016; Akin *et al.*, 2018). Finalmente, el aceite de semilla de calabaza (*Cucurbita ficifolia* B.) posee ácidos grasos insaturados como ácido linoleico y ácido oleico, así como ácidos fenólicos, carotenoides, tocoferoles, fitoesteroides y escualeno (Bernardo-Gil & Lopes, 2004; Bressani, 2015; Patel & Rauf, 2017).

Por otro lado, para la obtención de los aceites vegetales de semillas oleaginosas se requieren métodos de extracción que aseguren el mayor rendimiento posible, menor costo, sostenibilidad y reducción de desperdicios (Valerie *et al.*, 2021). La producción de aceites vegetales mediante prensado mecánico presentan un bajo rendimiento, con un 10% de aceite residual en la materia prima (Cheng *et al.*, 2019); también, existe el método de extracción por solvente orgánico siendo el más utilizado el hexano, presentando mayor rendimiento, economía, reciclabilidad y a un bajo punto de ebullición (63-67 °C) (Kumar *et al.*, 2017), sin embargo, hay que considerar que el hexano es explosivo y a la vez, es una toxina neurológica que puede causar contaminación ambiental (Li *et al.*, 2014).

En los últimos años se ha implementado la extracción supercrítica con CO₂ para la extracción de aceites, existiendo plantas industriales con fluidos supercríticos en muchos países, principalmente de América del Norte y Europa (Del Valle *et al.*, 2015). Durante la extracción con CO₂ supercrítico presurizado, la materia prima sólida se mezcla con el anhídrido carbónico en su punto crítico de 31 °C y 7,38 MPa, donde las fases gas y líquida se

unen para formar una fase fluida homogénea más allá de la región del fluido supercrítico. Las ventajas de la extracción con CO₂ sobre los métodos convencionales de extracción con solventes incluyen mayor difusividad, menor viscosidad y tensión superficial, con tiempos de extracción más rápidos (Ye *et al.* 2019); además, el uso de CO₂ tiene beneficios ambientales, no es inflamable y es reciclable, mejora la calidad del producto y no deja residuos y mantiene la pureza de los materiales extraídos, porque posee más ventajas en comparación con la extracción con solventes (Smigic *et al.*, 2019). Por consiguiente, los aceites de semillas deberían ser propuestos para ser incluidos en la dieta humana; sin embargo, los hábitos de consumo de los aceites pueden representar un problema, porque generalmente el consumo de los aceites se realiza después de someterlos a un tratamiento térmico que oscila entre 180 a 240 °C. A estas temperaturas altas, el aceite sufre cambios físico químicos, formando sustancias que podrían ser perjudiciales para la salud humana (Freire *et al.*, 2013) viscosity and foam formation. El aceite, después de ser sometido a calentamiento, sufre degradación debido a la oxidación de los ácidos grasos, con la formación de peróxidos e incremento de ácidos grasos libres, y formación de compuestos polares. Estas sustancias están asociadas a enfermedades cardiovasculares, artritis, envejecimiento y cáncer (Bastos Fernandes & Ferrante Draghi, 2016; Rosario-Leon, 2019). Por lo indicado, para sugerir el consumo de estos aceites provenientes de semillas, es necesario identificar los cambios ocasionados al ser sometidos a tratamientos térmicos y, de tal forma, reconocer el momento en que deben ser descartados.

En esta investigación se compararon los cambios fisicoquímicos y de la composición de ácidos grasos presentes en los aceites de semilla de zapallo y calabaza en relación con el aceite de soya que es un aceite comercial de gran demanda en la población peruana, por efecto térmico.

METODO

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Estación Experimental, El Mantaro de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú, ubicada en Jauja, Junín, Perú. Altitud: 3316 msnm, Latitud: 12°03'19" Sur del ecuador, Longitud: 75°16'33" Oeste de Greenwich.

Muestras

Las semillas fueron obtenidas a partir de los frutos calabaza (*Cucurbita ficifolia* Bouche) variedad verde, provenientes del distrito de Ahuac, provincia de Chupaca, Departamento de Junín, entre 12°05'10"S 75°19'24"O latitud oeste, perteneciente a la región natural "quechua" a una altitud media de 3295 m.s.n.m. (Pulgar-Vidal 1979) y de los frutos de zapallo (*Cucurbita máxima* Duchesne) provenientes del distrito de Pariahuanca, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín, entre 12°01'47"S 74°51'10"O latitud sur, perteneciente a la región natural "quechua" a una altitud media de 3622 m.s.n.m., (Pulgar-Vidal, 1979). Los frutos fueron lavados y desinfectados, luego se separaron las fracciones vegetales de cada fruto (semillas, legumina y cáscara). Las semillas se lavaron y se sometieron a un oreado y fueron llevadas posteriormente a una estufa memmert UN30 donde se deshidrataron a 60 °C x 24 horas y se empacaron en papel Kraft, almacenados en una cabina de flujo laminar BIO-II en atmosfera de nitrógeno a 15 °C (Rezig *et al.*, 2018). Las semillas deshidratadas fueron reducidas de tamaño en un molino de laboratorio BOSH y se tamizaron con malla de 70 mesh, obteniéndose harina de semilla de calabaza y harina de semilla de zapallo y fueron envasadas herméticamente para ser almacenadas hasta el momento de la extracción de aceite.

Obtención de aceites

La extracción de aceites de las semillas se realizó con CO₂ supercrítico-SC, en un equipo de extracción de 500 mL de capacidad Marca Waters-USA; para cada extracción se pesó 50 g de harina de cada semilla y se transfirió al sistema de extracción. El aceite obtenido se almacenó a 15 °C en frascos de color ámbar con cierre hermético previa saturación de nitrógeno. Las variables que se controlaron durante la obtención de aceite con CO₂ super-

crítico: presión 200 bar, temperatura de 50 °C, flujo de 3 L/min (Duba & Fiori, 2015). El rendimiento de extracción de aceite de semilla de calabaza fue de $36,79 \pm 0,79$ % y de aceite de semilla de zapallo fue $28,34 \pm 0,32$ % (Figura 1). El aceite comercial fue el de soya (*Glycine max*) que se obtuvo de un mercado local, que proviene de la empresa Alicorp – Perú.



Figura 1. a). Aceite de semilla de zapallo y b). Aceite de semilla de calabaza

Tratamiento de muestras

Los aceites obtenidos y el aceite de soya se sometieron a calentamiento convencional, realizado en una manta calefactora, con rango de temperatura de 0 a 450 °C, con control de temperatura digital. Se realizó en tres etapas: primero, en un recipiente de acero inoxidable se tomaron 100 mL de cada aceite y se sometieron a un tratamiento térmico a diferentes temperaturas de 20, 120, 150, 180 y 200 °C; segundo, 100 mL de cada muestra se sometió a un tratamiento térmico a 180 °C a diferentes tiempos de calentamiento desde 0, 10, 30, 60 y 120 min y tercero, cada muestra de aceite de soya, zapallo y calabaza se llevaron a calentamiento hasta 240 °C por 120 minutos para la determinación de composición de ácidos grasos, ya que a esa temperatura se observan cambios en los ácidos grasos en aceites comestibles (Bhat, 2022) y el tiempo es el que comúnmente utilizan en frituras con aceites recalentados.

Análisis de características fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas de los aceites se determinaron siguiendo los procedimientos: índice de acidez (AOCS: Cd 3d-63); índice de peróxidos (AOCS: Cd 8-53) e índice de refracción (AOCS: Tp 1a – 64).

Análisis de compuestos polares

Los compuestos polares se determinaron con el método internacional, recomendado por Chen *et al.* (2013), mediante el uso de un equipo denominado Testo 270, se tomaron 100 mL de muestra que debe estar sumergida en un recipiente y a una temperatura mayor a 50 hasta 200 °C y sumergir el sensor del Testo 270 obteniéndose una lectura directa.

Análisis de composición de ácidos grasos

La determinación de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) se realizó en un cromatógrafo de gases acoplado a espectro de masas Perkin Elmer 690 Clarus equipado con una columna capilar Supelco (SPTM 2560, columna capilar de sílice fundida) y un detector de ionización de llama. La temperatura de la columna se programó desde 140 °C (mantener 5 min), de 4 °C/min a 240 °C (mantener 3 min); el inyector y las temperaturas del detector se fijaron en 250 °C. La identificación fue realizada comparando los tiempos de retención con los de una mezcla estándar de FAME (Supelco, USA 37 comp. FAME mezcla) sometido a GC en condiciones experimentales idénticas (Uba & Muhammad, 2019).

Análisis estadístico

Se aplicó el diseño completamente al azar con tres tratamientos, todas las mediciones se realizaron por triplicado ($n = 3$) y los resultados se presentaron como valor medio con la correspondiente desviación estándar (DE). Las diferencias significativas fueron determinadas por un análisis de varianza y la prueba de Tukey con un nivel de significancia $p < 0,01$, usando SAS V 8.

RESULTADOS

Características fisicoquímicas a diferentes temperaturas

El índice de acidez de los aceites a los 20 °C presenta diferencias significativas, siendo el más bajo el proveniente de semilla de zapallo, seguido de la soya y el más alto es el proveniente de la semilla de calabaza (cuadro 1), estos aceites al ser sometidos a calentamiento de 120, 150, 180 y 200 °C presentan una relación directa; a mayor temperatura se incrementa el índice de acidez. Estos cambios se debe a que los triglicéridos de los aceites a altas temperaturas empiezan a hidrolizarse convirtiéndose en ácidos grasos libres y estos son más sensibles a la oxidación (Nayak *et al.*, 2016). Los valores de acidez de aceites vírgenes según el Codex-Stan 210:1999, debe presentar un valor aceptable de 4,0 mg KOH/g, en el aceite de soya se observa hasta 150 °C mantiene un índice de acidez por debajo de este valor, en el aceite de semilla de zapallo se mantiene hasta 120 °C y en el aceite de semilla de calabaza se observa que a 120 °C presenta un valor mayor a lo permisible; por lo que se recomendaría su calentamiento a una temperatura menor a 120 °C. Se observa que el aceite de soya presenta mayor estabilidad en comparación a los aceites de semilla de zapallo y calabaza. Esto se debería a que el aceite de soya es un aceite que fue sometido a un proceso de refinado. Los valores de acidez encontrados en los aceites de semilla de zapallo y calabaza son valores menores a los encontrados por Uba, & Muhammad, (2019) que reportaron aceite de semilla de zapallo con un índice de acidez de 6,92 %, esta diferencia es debida al método de extracción porque emplearon el solvente hexano.

El índice de peróxidos (cuadro 1) de aceites de soya, semilla de zapallo y calabaza presentan diferencias significativas entre los valores de peróxidos, observándose que el índice de peróxidos del aceite de semilla de zapallo presenta mayor índice de peróxidos que el aceite de semilla de calabaza y de la soya (cuadro 1), al ser sometidos a calentamiento estos valores se van incrementando a diferentes velocidades, observándose que el aceite de semilla de calabaza se incrementa de 1,33 a 22,8 meq O_2 /Kg aceite, el aceite de zapallo es de 2,76 a 25,34 meq O_2 /Kg aceite y el de aceite de soya de 1,52 a 11,89 meq O_2 /Kg aceite, esto valores finales superan el valor permitido en el Codex-Stan 210:1999 que indica que los aceites refinados pueden contener hasta 10 miliequivalentes de meq O_2 /Kg aceite y para aceites vírgenes es hasta 15 miliequivalentes de meq O_2 /Kg aceite, el aceite de soya puede mantener un valor aceptable como aceite refinado hasta 180 °C, mientras que el aceite de zapallo logra un valor aceptable hasta 150 °C y el aceite de calabaza presenta valor aceptable hasta 180 °C, considerándose que son aceites vírgenes. Estas temperaturas permisibles para cada aceite es importante tener en cuenta a la hora de someter a temperaturas de calentamiento para su consumo ya que el índice de peróxidos indica el nivel de oxidación del aceite y la formación de radicales libres los cuales interactúan rápidamente con el oxígeno atmosférico para formar hidroperóxidos (Petkova & Antova, 2019)

El índice de refracción (cuadro 1) de la muestra de aceite de semilla de calabaza, semilla de zapallo y aceite de soya no presentan diferencia significativa; pero, al ser sometidas a tratamiento térmico estos valores se incrementan y a la temperatura de 200 °C presentan diferencias significativas entre los tres aceites, ello es debido a la variación en su composición de ácidos grasos de cada aceite, ya que la longitud y el número de carbono de los ácidos grasos influye en el índice de refracción (Yague, 2003).

Los compuestos polares de las muestras de aceite (cuadro 1) presentan diferencia significativa entre aceites; estos compuestos se incrementan en función a la temperatura de exposición, el aceite de soya presenta menor formación de compuestos polares en comparación con los aceites de semilla de zapallo y semilla de calabaza, estos resultados puede atribuirse a su contenido de ácidos grasos poliinsaturados, los aceites de semilla de zapallo y semilla de calabaza presentan mayor contenido de componentes polares y mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados; en otro estudio similar en aceites vegetales sometidos a calentamiento hasta 250 °C encontraron una correlación de 74 % entre el contenido de ácidos poliinsaturados y formación de compuestos polares (De Alzaa *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de los aceites de soya, semilla de zapallo y semilla de calabaza sometidas a diferentes temperaturas de calentamiento.

	Temperatura	Aceite de soya	Aceite de semilla de zapallo	Aceite de semilla de calabaza
Índice de acidez mg (KOH/g aceite)	20 C	2,14 ± 0,05b	2,04 ± 0,03c	2,28 ± 0,03 a
	120 °C	2,91 ± 0,04c	3,67 ± 0,25b	4,29 ± 0,44 a
	150 °C	3,81 ± 0,14c	4,75 ± 0,08ab	5,44 ± 0,25 a
	180 °C	4,75 ± 0,12 bc	5,51 ± 0,32 a	5,88 ± 0,05 a
	200 °C	5,83 ± 0,08 b	5,79 ± 0,20 b	6,33 ± 0,14 a
Índice de peróxidos (meqO ₂ /Kg aceite)	20 °C	1,52 ± 0,04 b	2,76 ± 0,09 a	1,33 ± 0,02 bc
	120 °C	5,26 ± 0,49 b	6,70 ± 0,31 a	5,41 ± 0,28 b
	150 °C	8,32 ± 0,83 c	12,12 ± 0,26a	9,79 ± 0,07 b
	180 °C	9,91 ± 0,58 c	17,05 ± 0,59 a	11,55 ± 1,08b
	200 °C	11,89 ± 0,55b	25,34 ± 0,40 a	22,80 ± 1, 87a
Índice de refracción a 20°C	20 °C	1,469 ± 0,002b	1,477 ± 0,004b	1,474 ± 0,002a
	120 °C	1,475 ± 0,003a	1,475 ± 0,004a	1,476 ± 0,001a
	150 °C	1,486 ± 0,003a	1,488 ± 0,005a	1,478 ± 0,001b
	180 °C	1,493 ± 0,001a	1,493 ± 0,003a	1,484 ± 0,003b
	200 °C	1,518 ± 0,005b	1,535 ± 0,009a	1,491 ± 0,004c
Compuestos polares (%)	20 °C	0	0	0
	120 °C	7 ± 0,5a	6 ± 0b	6 ± 0,5b
	150 °C	8 ± 0a	7 ± 0b	7 ± 0,5b
	180 °C	9 ± 0a	9 ± 0,5a	9 ± 0a
	200 °C	10 ± 0,5c	12 ± 0a	11 ± 0b

Valor de la media ± DE y determinaciones por triplicado.

Letras a,b, c; prueba de comparación de tukey (0,05): letras iguales (no existe diferencia significativa), letras desiguales (existe diferencia significativa)

Características fisicoquímicas a diferentes tiempos de exposición

El índice de acidez (cuadro 2) a una temperatura 180 °C a los 0 min presenta diferencia significativa entre las muestras de aceite de soya, aceite de semilla de calabaza y aceite de semilla de zapallo, y a mayor tiempo de exposición se va incrementando el valor del índice de acidez. El aceite de semilla de calabaza presenta mayor valor, seguido de aceite de semilla de zapallo y el menor es el aceite de soya. Estos valores de índice de acidez se encuentran altos de acuerdo a las recomendaciones del Codex-Stan 210:1999, por lo que se puede precisar que para consumir no sería recomendable calentar por encima de 180 °C en los tres tipos de aceites estudiados.

El Índice de peróxidos (cuadro 2) presentan diferencias significativas entre las muestras de aceites, se va incrementando en función al tiempo de exposición, estos resultados son similares a los reportados por Petkova & Antova (2019) donde el aceite de semilla de cucúrbita sometido a calentamiento convencional, presentó un incremento significativo del índice de peróxidos. El aceite de soya presenta menor índice de peróxidos, seguido

del aceite de semilla de zapallo y el aceite de semilla de calabaza presentan mayor índice de peróxidos incrementándose 10 veces más desde el punto de inicio. De acuerdo a estos resultados el aceite de soya presenta estabilidad a 180 °C hasta por 10 minutos, el aceite de semilla de zapallo y el de semilla de calabaza no es recomendable calentar hasta 180 °C, ya que a esta temperatura en ambos casos superan el límite permisible de índice de peróxidos de acuerdo al Codex-Stan 210:1999, para garantizar la calidad comestible.

Los índices de acidez y de peróxidos son indicadores de la calidad de aceites, se observa que el aceite de soya presenta mejores valores fisicoquímicos en relación a los aceites de semilla de zapallo y semilla de calabaza, por lo que podemos decir que el aceite de soya presenta mayor estabilidad oxidativa debido a su composición de ácidos grasos saturados, ya que los aceites de semilla de calabaza y semilla de zapallo presentan menor contenido de ácidos grasos saturados comparados en el aceite de la soya, que además posee más ventaja por ser refinado.

El índice de refracción (cuadro 2) presenta diferencias significativas con respecto al tiempo de calentamiento; ello es debido, a los cambios químicos y físicos del aceite por efecto del calentamiento y mayor tiempo de exposición a las condiciones ambientales, al respecto Alhibshi *et al.* (2016) indican que el índice de refracción de los aceites aumenta (no linealmente) con la longitud de cadena y grado de insaturación, asimismo es afectado por la exposición de la luz y la temperatura.

Los compuestos polares (cuadro 2) de las muestras de aceite a 180 °C presentan diferencia significativa; además se observa, que estos compuestos se incrementan en función al tiempo de exposición al calor, el aceite de soya presenta menor formación de compuestos polares en comparación con los aceites de semilla de zapallo y semilla de calabaza. Los valores mayores de compuestos polares se obtuvieron en el aceite de semilla de zapallo de 15 % calentado a 180 °C por 120 min y a estas mismas condiciones el aceite de semilla de calabaza obtuvo 14,5 %. Sin embargo, estos porcentajes se encuentran por debajo del valor considerado como límite máximo; según la Norma Sanitaria del MINSA (2014) establece como valor máximo permisible de 25 % para ser considerado como aceite de calidad consumible.

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de los aceites de soya, semilla de zapallo y semilla de calabaza, sometidas a 180 °C y diferentes tiempos de calentamiento.

	Tiempo	Aceite de soya	Aceite de semilla de zapallo	Aceite de semilla de calabaza
Índice de acidez mg (KOH/g aceite)	0 min	4,75 ± 0,12c	5,51 ± 0,32ab	5,88 ± 0,05a
	10 min	4,84 ± 0,14c	5,61 ± 0,35b	5,96 ± 0,02a
	30 min	4,95 ± 0,11c	5,67 ± 0,39ab	6,09 ± 0,07a
	60 min	5,10 ± 0,14c	5,75 ± 0,33b	6,15 ± 0,03a
	120 min	5,35 ± 0,09c	5,91 ± 0,26b	6,20 ± 0,03a
Índice de peróxidos (meq O ₂ / Kg aceite)	0 min	9,91 ± 0,58c	17,05±0,59a	15,55±1,08a
	10 min	9,97 ± 0,63c	17,52±0,54a	15,91±0,95b
	30 min	10,24 ±0,56c	18,25±0,54a	17,27±0,54b
	60 min	10,51±0,42c	18,99±0,60a	17,88±0,30b
	120 min	10,83±0,24c	20,76±0,17a	18,69±0,25b
Índice de refracción a 20°C	0 min	1,493±0,001a	1,484±0,003a	1,484±0,003a
	10 min	1,496±0,001a	1,487±0,002b	1,486±0,003b
	30 min	1,482±0,027a	1,489±0,002a	1,489±0,002a
	60 min	1,452±0,001b	1,495±0,003a	1,494±0,002a
	120 min	1,453±0,002a	1,518±0,006b	1,497±0,001c

	Tiempo	Aceite de soya	Aceite de semilla de zapallo	Aceite de semilla de calabaza
Compuestos polares (%)	0 min	10,5±0,5c	12,5±1a	11,5±0,5b
	10 min	11±0,5c	13,5±1a	12,5±0,5b
	30 min	11,5±0,5c	14,5±1a	13,5±0,5b
	60 min	12,5±0,5c	15±0,5a	14,5±0,5ab
	120 min	13,5±0,5b	16±0,5a	15,5±0,5a

*Valor de la media ± DE y determinaciones por triplicado.

Letras a, b, c; prueba de comparación de tukey (0,05): letras iguales (no existe diferencia significativa), letras desiguales (existe diferencia significativa)

Composición de ácidos grasos por efecto de la temperatura

La composición de ácidos grasos (cuadro 3) presentan diferencias significativas entre las muestras de aceites a 20 °C y cuando son sometidos a temperatura de 240 °C por 120 minutos de exposición, se observa modificaciones de estos ácidos grasos presentando incremento de los ácidos grasos saturados mirístico, palmítico y oleico en los tres aceites, ocurriendo lo contrario con los ácidos grasos insaturados oleico, linoleico y linolénico que presentan disminución por efecto de las altas temperaturas; estos resultados, son similares a los obtenidos por Ben Hammouda *et al.* (2018), que sometieron a fritura el aceite de oliva y aceite de coco, donde encontraron la disminución de los ácidos grasos poliinsaturados (ácidos linoleico y linolénico); así mismo, en otro estudio de Petkova & Antova (2019), sometieron a calentamiento el aceite de cucurbitáceas, encontrando incremento de ácido palmítico y disminución de ácido linolénico, al respecto Abdulkarim *et al.* (2007), menciona que los ácidos poliinsaturados son más propensos a la oxidación que los monoinsaturados y saturados y los ácidos poliinsaturados dan lugar a elevados dienos y trienos conjugados por efecto del calor. Ben Hammouda *et al.* (2018) también reportan que las sesiones de fritura conllevan a cambios en la composición de los ácidos grasos, así como el ácido linoleico es convertido a ácido oleico al perder sus enlaces dobles.

Cuadro 3. Composición de ácidos grasos de los aceites de soya, semilla de zapallo y semilla de calabaza, sometidas a 240 °C durante 120 minutos.

Ácidos grasos	Temperatura	Aceite de soya	Aceite de semilla de zapallo	Aceite de semilla de calabaza
Acido mirístico (C14:0)	(20 °C)	0,07b	0,12a	0
	(240 °C)	0,07b	0,14a	0
Ácido Palmítico (C16:0)	(20 °C)	10b	12,5a	8,80c
	(240 °C)	10,14b	13,3a	9,12c
Ácido Esteárico (C18:0)	(20 °C)	4,96c	5,64a	4,50b
	(240 °C)	5,01b	5,92a	4,91b
Ácido Oleico (C18:1) (ω -9)	(20 °C)	22,49c	32,86a	28,45b
	(240 °C)	22,92c	31,21a	27,56b
Acido Linoleico (C18:2) (ω -6)	(20 °C)	52,26b	46,22c	58,20a
	(240 °C)	50,77b	44c	56,40a
Ácido α -linolénico (C18:3) (ω -3)	(20 °C)	0,49b	0,75a	0
	(240 °C)	0,52b	0,68a	0

*Valor de la media ± DE y determinaciones por triplicado.

Letras a, b, c; prueba de comparación de tukey (0,05): letras iguales (no existe diferencia significativa), letras desiguales (existe diferencia significativa)

CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas: índice de acidez, índice de peróxidos, índice de refracción y compuestos polares de los aceites de semilla de calabaza, semilla de zapallo y soya sometidos a tratamiento térmico a diferentes tiempos de exposición presentan diferencia significativa entre muestras de aceites. A mayor temperatura y tiempo de calentamiento los aceites presentan mayores valores de índice de acidez, peróxidos y refracción. Los ácidos grasos son afectados por la temperatura, los ácidos grasos saturados se incrementan y los ácidos grasos insaturados disminuyen. El aceite de soya presenta estabilidad de calidad comestible hasta 150°C, y los aceites de semilla de zapallo y semilla de calabaza hasta 120°C.

AGRADECIMIENTOS

A los investigadores de la línea de investigación de tecnología de alimentos, asistentes técnicos del Laboratorio de Control de Calidad de los Alimentos, Laboratorio de Cromatografía y al Centro de Investigación de la Universidad Nacional del Centro del Perú por su asistencia y colaboración en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- ABDULKARIM, S.M.; LONG, K.; LAI, O.M.; MUHAMMAD, S.K.; GHAZALI, H.M. Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry*, v. 105 n. 4, 2007, p. 1382–1389.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.013>
- AKIN, G.; ARSLAN, F.N.; KARUK-ELMAS, S.N.; YILMAZ, I. Cold-pressed pumpkin seed (*Cucurbita pepo* L.) oils from the central Anatolia region of Turkey: Characterization of phytosterols, squalene, tocopherols, phenolic acids, carotenoids and fatty acid bioactive compounds. *Grasas y aceites*, v. 69, 2018, p. 1–12.
<https://doi.org/10.3989/gya.0668171>
- ALHIBSHI, EMHEMEDI A.; IBRAHEIM, JALAL A.; HADAD, ABDULGADER S. Effect of Heat Processing and Storage on Characteristic and Stability of Some Edible Oils. 6th Int'l Conference on Agriculture, Environment and Biological Sciences (ICAEBES) 16, 2016, p. 105–109.
<https://doi.org/10.15242/iae.a1216008>
- AOCS (American Oil Chemists' Society, Estados Unidos de América) Cd 3d-63. Acid value of fats and oils. In: *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. 5th ed. Champaign, Illinois, USA: AOCS; 2009.
- AOCS (American Oil Chemists' Society, Estados Unidos de América) Cd 8-53. Peroxide value. In: *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. Champaign, Illinois, USA: AOCS; 2003.
- AOCS (American Oil Chemists' Society, Estados Unidos de América) Tp 1a-64. Refractive index value of fats and oils. In: *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. 5th ed. Champaign, Illinois, USA: AOCS; 2009.
- BHAT, S.; MAGANJA, D.; HUANG, L.; WU, J.H.Y.; MARKLUND, M. Influence of Heating during Cooking on Trans Fatty Acid Content of Edible Oils: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* 2022, 14, 1489.
<https://doi.org/10.3390/nu14071489>
- BASTOS-FERNANDES, JULIO-CESAR; FERRANTE-DRAGHI, PATRICIA. Thermal Stability of Soybean Oil: When must we discard it? *MOJ Food Processing & Technology*, v. 2, n. 5, 2016, p. 1-5.
<https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00051>
- BEN-HAMMOUDA, IBTISSEM; TRIKI, MEHDI; MATTHÄUS, BERTRAND; BOUAZIZ, MOHAMED. A Comparative Study on Formation of Polar Components, Fatty Acids and Sterols during Frying of Refined Olive Pomace Oil Pure and Its Blend Coconut Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 66, n. 13, 2018, p. 3514–3523.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05163>

- BERNARDO-GIL, M. GABRIELA; CARDOSO-LOPES, LINA M. Supercritical fluid extraction of *Cucurbita ficifolia* seed oil. *European Food Research and Technology*, v. 219, n. 6, 2004, p. 593–597.
<https://doi.org/10.1007/s00217-004-0978-2>
- BRESSANI, RICARDO. Caracterización química y nutricional de la semilla, pulpa y cáscara de chilacayote (*Cucurbita ficifolia*) y aplicaciones en el desarrollo de productos. Consejo Nacional De Ciencia Y Tecnología (CONCYT), Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Fondo Nacional De Ciencia Y Tecnología (FONACYT), Universidad Del Valle De Guatemala, n. 023, 2015.
- CHENG, M.H.; DIEN, B.S.; SINGH, V. Economics of plant oil recovery: A review. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2019, 18, 101056.
- CHEN, WEI-AN; CHIU, CHIHWEI P.; CHENG, WEI-CHIH; HSU, CHAO-KAI; KUO, MENG I. Total polar compounds and acid values of repeatedly used frying oils measured by standard and rapid methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, v. 21, n. 1, 2013, p. 58–65.
<https://doi.org/10.6227/jfda.2013210107>
- DE ALZAA, F.; GUILLAUME, C.; RAVETTI, L. Evaluation of Chemical and Physical Changes in Different Commercial Oils during Heating. *Acta Scientific Nurtitional Health*, v. 2, 2018, p. 2–11.
- DEL VALLE, J.M. Extraction of natural compounds using supercritical CO₂: Going from the laboratory to the industrial application. *J. Supercrit. Fluids* 2015, 96, 180–199
- DUBA, KURABACHEW-SIMON; FIORI, LUCA. Supercritical CO₂ extraction of grape seed oil: Effect of process parameters on the extraction kinetics. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 98, 2015, p. 33–43.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.12.021>
- FREIRE-MENDOÇA, POLIANA-CRISTINA; MANCINI-FILHO, JORGE; PINTO-DE CASTRO-FERREIRA, TANIA-APARECIDA. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: Regulamentação e efeitos na saúde. *Revista de Nutricao*, v. 26, n. 3, 2013, p. 353–358.
<https://doi.org/10.1590/S1415-52732013000300010>
- KUMAR, S.P.J.; PRASAD, S.R.; BANERJEE, R.; AGARWAL, D.K.; KULKARNI, K.S.; RAMESH, K.V. Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds. *Chem. Cent. J.* 2017, 11, 1–7.
- LI, Y.; FINE, F.; FABIANO-TIXIER, A.S.; ABERT-VIAN, M.; CARRE, P.; PAGES, X.; CHEMAT, F. Evaluation of alternative solvents for improvement of oil extraction from rapeseeds. *Comptes Rendus Chim.* 2014, 17, 242–251.
- MONTESANO, DOMENICO; BLASI, FRANCESCA; SIMONETTI, MARIA-STELLA; SANTINI, ANTONELLO; COSSIGNANI, LINA. Chemical and nutritional characterization of seed oil from *Cucurbita maxima* L. (*Var. Berrettina*) pumpkin. *Foods*, v. 7, n. 3, 2018, p. 1–14.
<https://doi.org/10.3390/foods7030030>
- NAVAS H., P.B.; FREGAPANE G.; SALVADOR, A. Quality indexes, mayor and minor constituents and oxidative stability of sesame and soybean virgin oils. *Revista de La Facultad de Agronomia, Universidad del Zulia*, v. 30, n. 2, 2013. p. 284–303.
- NAYAK, PRAKASH-KUMAR; DASH, UMA; RAYAGURU, KALPANA; KRISHNAN, KEASVAN-RADHA. Physio-Chemical Changes During Repeated Frying of Cooked Oil: A Review. *Journal of Food Biochemistry*, v. 40, n. 3, 2016, p. 371–390.
<https://doi.org/10.1111/jfbc.12215>
- NAZIRI, ELENI; MITIĆ, MILAN N.; TSIMIDOU, MARIA Z. Contribution of tocopherols and squalene to the oxidative stability of cold-pressed pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo* L.). *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 118, n. 6, 2016. p. 898–905.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.201500261>
- NORMA SANITARIA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE RESTAURANTES Y SERVICIOS AFINES. Lima (Perú): Ministerio de Salud (MINSA), Resolución Ministerial N° 965-2014/MINSA, 2014.
- PATEL, SEEMA; RAUF, ABDUR. Edible seeds from Cucurbitaceae family as potential functional foods: Immense promises, few concerns. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, v. 91, 2017, p. 330–37.
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.04.090>
- PETKOVA, ZHANA; ANTOVA, GINKA. A comparative study on quality parameters of pumpkin, melon and sunflower oils during thermal treatment. *OCL - Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, v. 26, 2019, p. 5-8.

- <https://doi.org/10.1051/ocl/2019028>
- PULGAR-VIDAL J. Geografía del Perú: Las Ocho Regiones Naturales del Perú. Lima, Perú: Universo SA, 1979. 145-161. ISBN 9972-58-007-5
- REZIG LEILA, CHOUAIBI MONCEF, OJEDA-AMADOR ROSA MARIA, GOMEZ-ALONSO SERGIO, SALVADOR MARIA DESAMPARADOS, FREGAPANE GIUSEPPE, HAMDI SALEM. Cucurbita maxima Pumpkin Seed Oil: from the Chemical Properties to the Different Extracting Techniques. *Not Bot Horti Agrobo*, 2018, 46(2):663-669
- ROSARIO-LEON, PAUL-HERS. Efecto protector de la almendra de semillas de Cucurbita *ficifolia Bouché* (calabaza blanca) en el daño hepático inducido por paracetamol en ratones [Tesis de Licenciado en Nutrición]. Lima (Perú): Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. Facultad de Medicina, 2019, 52 p.
- SMIGIC, N.; DJEKIC, I.; TOMIC, N.; UDOVICKI, B.; RAJKOVIC, A. The potential of foods treated with supercritical carbon dioxide (SCO₂) as novel foods. *Br. Food J.* 2019, 121, 815–834.
- STEVENSON, DAVID G.; ELLER, FRED J.; WANG, LIPING; JANE, JAY-LIN; WANG, TONG; INGLET, GEORGE E. Oil and tocopherol content and composition of pumpkin seed oil in 12 cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 55, n. 10, 2007, p. 4005–4013.
<https://doi.org/10.1021/jf0706979>
- UBA, B.; MUHAMMAD, C. Determination of Fatty Acid Composition and Physicochemical Properties of *Cucurbita Maxima* (Pumpkin) Seed Oil cultivated in northeast Nigeria. *East African Scholars Multidisciplinary Bulletin*, v. 4413, n. 7, 2019. p. 231–234.
<https://doi.org/10.36349/easmb.2019.v02i08.009>
- VALERIE M. LAVENBURG, KURT A. Rosentrater and Stephanie Jung. Extraction Methods of Oils and Phytochemicals from Seeds and Their Environmental and Economic Impacts. *Processes*. 2021, 9, 1839.
- YAGUE-AYLON, MARIA-ANGELES. Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas. *Observacion De La Seguretat*, v. 2, 2003, p. 1–34
<http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/mangeles-aylon-blog.pdf>
- YE, X.; XUE, S.J.; SHI, J. Green separation technology in food processing: Supercritical-CO₂ fluid extraction. In *Advances in Food Processing Technology*; Jia, J., Liu, D., Ma, H., Eds.; Springer: Singapore, 2019; pp. 73–99.