

Evaluación de propiedades fisicoquímicas de aceite de girasol (*Helianthus annuus*) adicionado con extracto de achiote (*Bixa orellana*) durante calentamiento en horno microondas

PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA
ISSN 0124-4108

Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
Vol. 17, N° 2, julio-diciembre de 2015, p. 115-124

Artículo recibido: 2 de agosto de 2015

Aprobado: 5 de noviembre de 2015

Julie Naranjo¹; Yenny Dueñas¹; Obradith Caicedo²; Arjuna Castrillón³

Resumen

Antecedentes: la cocción de alimentos en horno microondas es una tendencia en aumento en la población en general, sin que se tenga en cuenta el efecto sobre su calidad. **Objetivo:** evaluar el efecto del extracto de *Bixa orellana* sobre aceite de girasol durante el calentamiento en microondas. **Materiales y métodos:** aceite de girasol, con y sin la adición de extracto de *Bixa orellana* 100 ppm, se sometió a calentamiento durante 12 minutos en horno microondas evaluándose sus propiedades fisicoquímicas a distintos intervalos de tiempo. **Resultados:** la adición de *Bixa orellana* contribuye a conservar la calidad del aceite de girasol sometido al microondas durante los tres primeros minutos de calentamiento. A tiempos mayores, dadas las temperaturas alcanzadas, no se observa efecto protector. **Conclusión:** la adición de 100 ppm de extracto de *Bixa orellana* en aceite de girasol permite contrarrestar la oxidación durante tres minutos de calentamiento en microondas.

Palabras clave: aceite de girasol, grasas, calidad de los alimentos, microondas, *Bixa orellana*, *Helianthus annuus*.

1 Departamento de Nutrición y Bioquímica, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

2 Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia.

obradithcaicedo@usantotomas.edu.co

3 Departamento de Física e Ingeniería Nuclear, EUETIB, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Como citar este artículo: Naranjo J, Dueñas Y, Caicedo O, Castrillón A. Evaluación de propiedades fisicoquímicas de aceite de girasol (*Helianthus annuus*) adicionado con extracto de *Bixa orellana* durante calentamiento en horno microondas. *Perspect Nutr Humana*. 2015;17: 115-124.

DOI:10.17533/udea.penh.v17n2a02

Evaluation of physicochemical properties of sunflower oil (*Helianthus annuus*) blended with achiote (*Bixa orellana*) extract during microwave heating

Abstract

Background: Microwave cooking is a growing trend in the general population, which does not take into account the effect on food quality. **Objective:** To evaluate the effect of the extract of *Bixa orellana* on sunflower oil during microwave heating. **Materials and methods:** Sunflower oil was heated during 12 minutes in a microwave, with and without the addition of 100 mg extract of *Bixa orellana*, and physicochemical properties were evaluated at different time intervals. **Results:** The addition of *Bixa orellana* extract contributes to preserve the quality of the sunflower oil during the first three minutes of heating. For longer periods, no protective effect is observed. **Conclusion:** The addition of 100 mg of extract of *Bixa orellana* on sunflower oil was capable to avoid the oxidation during microwave heating for three minutes.

Key words: sunflower oil, fats, food quality, microwave, *Bixa orellana*, *Helianthus annuus*.

INTRODUCCIÓN

Los aceites son constituyentes vitales de la dieta diaria, dado que proporcionan energía, ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles; constituyen uno de los principales componentes de la dieta utilizados para fines de fritura (1).

El calentamiento por microondas es un procedimiento que ha tenido auge en el proceso de la preparación y manufactura de alimentos, tanto en operaciones domésticas como en restaurantes, por su alta velocidad y comodidad en comparación con los tratamientos convencionales de calentamiento (2). Los componentes lipídicos de los alimentos son particularmente sensibles a este tipo de tratamientos, debido a que el calor específico de los lípidos es bajo, de modo que su calentamiento es rápido (3-4), dando lugar a la generación de productos de oxidación en forma más acelerada que el calentamiento en un horno convencional y en fritura profunda (5-6).

En los aceites vegetales se observa que el incremento en la formación de los productos de oxidación

primarios y secundarios depende del grado de saturación de sus ácidos grasos. También se ha observado un aumento moderado de los ácidos grasos libres por hidrólisis de los triglicéridos, disminución de tocoferoles, así como la formación de dímeros y polímeros (6). Los productos radicalarios formados generan pérdida de la calidad de los alimentos y podrían ser potencialmente peligrosos para la salud humana (7).

El bajo costo y gran efectividad de los antioxidantes sintéticos propilgalato, butilhidroxitolueno (BHT), butilhidroxianisol (BHA) y terbutilhidroquinona (TBQH) permiten su utilización para retardar la oxidación de los ácidos grasos. Pese a su amplio uso en la industria alimentaria han sido cuestionados por el potencial riesgo para la salud (8). No obstante, son muy efectivos durante el almacenamiento y transporte de las materias grasas, pero son menos efectivos a temperaturas de cocción (9). Algunas sustancias antioxidantes naturales de las plantas, tales como los polifenoles, podrían ser más seguros y proveer beneficios

adicionales a la salud, comparados con los antioxidantes sintéticos (10). En consecuencia, esta es un área que vale la pena investigar debido a las preocupaciones de los consumidores sobre la salud.

Los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes debido a sus propiedades óxido-reductoras, actuando como agentes reductores, donadores de hidrógeno, atrapadores de radicales libres y quelantes de metales (11). Diversas especias retardan la oxidación de los lípidos durante la fritura (8,12-13). El pericarpio de semillas de *Bixa orellana* se usa en la preparación de alimentos por conferirles coloración rojo naranja, gracias a la presencia de carotenos. Adicionalmente, su polvillo se caracteriza por presentar actividad antioxidante y ser liposoluble, lo que facilita su uso en aceites (14).

El presente trabajo evaluó la calidad del aceite de girasol con y sin extracto de *Bixa orellana*, sometido a calentamiento en horno microondas convencional en intervalos hasta 12 minutos, mediante parámetros fisicoquímicos tales como índice de saponificación, índice de acidez e índice de peróxido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para el estudio se empleó aceite de girasol refinado libre de antioxidantes, por ser de alto consumo en la región y porque dado el alto contenido en ácidos grasos insaturados es susceptible de oxidarse. Se utilizaron también semillas de *Bixa orellana* en estado maduro, caracterizado por presentar actividad antioxidante. Ambos obtenidos en un mercado local de la ciudad de Bogotá.

Obtención de extracto de *Bixa orellana*

Las semillas de *Bixa orellana* fueron maceradas en agua, para la formación de una pasta, posteriormente se llevó a secado en horno a 50°C y se

sometieron a molienda en un mortero para obtener las semillas pulverizadas. El polvillo obtenido (extracto) se almacenó protegido de la luz.

Preparación del aceite con extracto

Con el fin de simular condiciones cotidianas de calentamiento en horno microondas convencional y evaluar las consecuencias sobre algunos parámetros de calidad del aceite, así como el potencial efecto protector que pudiera tener la adición del extracto de *Bixa orellana*, a 200 mL de aceite de girasol se agregaron 100 ppm de extracto, dejando una muestra sin extracto como control. Las muestras se sometieron a calentamiento en microondas doméstico Haceb HM-0.7 durante 0; 1,5; 3,0; 6,0; 9,0 y 12,0 min con una potencia de 1.050 watts. Luego se almacenaron a 18°C, protegidas de la luz, para posteriormente evaluar sus propiedades fisicoquímicas.

Pruebas fisicoquímicas

Los índices de saponificación, acidez y peróxidos se evaluaron a cada una de las muestras y su testigo en cada tiempo de calentamiento; dichos análisis se realizaron en duplicado.

Índice de saponificación

A 2 g de muestra se agregaron 25 mL de KOH etanólico 0,5 N y se llevó a calentamiento usando un sistema de reflujo durante 60 min. Posteriormente se dejó enfriar el sistema y se tituló con HCl 0,5 N hasta la desaparición del color rosa del indicador de fenolftaleína (15).

Índice de acidez

Se agregaron 25 mL de alcohol neutralizado y tres gotas de fenolftaleína a 2 g de muestra. La muestra se calentó por reflujo durante 10 min, se dejó enfriar y posteriormente se llevó a cabo la titulación utilizando KOH 0,5 N hasta aparición de color rosa tenue permanente (15).

Índice de peróxidos

Se tomó 1 g de muestra, se agregaron 10 mL de ácido acético-cloroformo, 0,5 mL de yoduro de potasio, se protegió de la luz con agitación ocasional durante 1 min. Posteriormente se agregaron 30 mL de agua destilada. La titulación se realizó con tiosulfato de sodio 0,01 N, poco antes de la desaparición del color se agregaron 0,5 mL de almidón, se continuó con la titulación hasta la desaparición del color (15).

Temperatura

Al finalizar el tiempo de calentamiento, cada una de las muestras se retiró del horno microondas e inmediatamente con un termómetro se registró su temperatura.

Espectro infrarrojo

La identificación de grupos funcionales en el aceite se llevó a cabo a través de espectros FTIR en un espectrofotómetro Shimadzu Model I-R Prestige 21, antes y después de someter las muestras a calentamiento.

Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron en duplicado, los datos obtenidos se evaluaron usando un análisis de varianza y prueba de Tukey utilizando el programa Statgraphics plus 5.1[®]. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando el valor de p fue <0,05.

Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) mediante el método R (correlaciones) para reducir el número de variables en las muestras control y adicionada con *Bixa orellana*. Se consideraron tres parámetros de calidad: índice de saponificación, índice de acidez e índice de peróxido y tiempo como parámetro independiente, en total cuatro parámetros. El análisis PCA fue realizado usando Minitab, versión 16.2.3 (LEADTOOLS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos al evaluar las propiedades fisicoquímicas del aceite de girasol sometido a calentamiento en horno microondas con y sin adición de extracto de *Bixa orellana* se muestran en la tabla 1.

Índice de saponificación (IS)

La disminución en el IS en una muestra de aceite representa la degradación de los triglicéridos, los cuales por reacciones de hidrólisis liberan ácidos grasos, que en comparación con la molécula inicial presentan menor masa molecular (16). Los valores de índice de saponificación obtenidos en las muestras analizadas son mucho mayores a los reportados en otros estudios para aceite de girasol, incluso superan los reportados en la Norma Técnica Colombiana, NTC 264 (17) lo que indica que por tratarse de un aceite libre de antioxidantes ya presenta algún grado de degradación, posiblemente como consecuencia del tiempo prolongado de almacenamiento del aceite en el anaquel.

En lo que al comportamiento del aceite adicionado con *Bixa orellana* sometido a calentamiento en horno microondas se refiere, los resultados que se muestran en la tabla 1, indican que la muestra control presenta un descenso rápido en el IS durante los primeros 6 min, mientras que la muestra con extracto de *Bixa orellana*, aunque también descende, lo hace en menor proporción durante el mismo tiempo. A partir de los 6 min, las muestras presentan una tendencia similar. Este resultado se puede contrastar con la temperatura obtenida durante el experimento: en los primeros minutos de calentamiento, ésta aumenta drásticamente y a partir de los 6 min, presenta una tendencia a permanecer. Esta conducta permite afirmar que la adición del colorante natural impide el descenso rápido en el IS en los primeros minutos, el resto del tiempo no presenta efecto protector, posiblemente porque a

esa temperatura no solo se degradan los triglicéridos, sino también los componentes del extracto, generando como consecuencia un aumento en el contenido de materia saponificable (18).

Índice de acidez (IA)

El porcentaje de acidez libre en el aceite analizado se encuentra por encima del establecido para consumo humano según la norma técnica NTC 264 (17). Esta situación se puede contrastar con el valor del IS, lo que ratifica el tiempo prolongado de almacenamiento en el anaquel. Se observa también que, a la vez que aumentan el tiempo y la temperatura de calentamiento, el contenido de ácidos grasos se incrementa. Sin embargo, no se observan diferencias estadísticamente significati-

vas entre el control y en la muestra con *Bixa orellana* durante todo el tratamiento (Tabla 1).

Vale la pena resaltar que tanto el aceite, como el extracto empleado estaban exentos de agua, dado que no se usó ningún alimento que la adicionara al medio, lo que podría explicar el comportamiento del IA observado, similar a lo reportado en otras investigaciones relacionados con la estabilidad del aceite de oliva bajo condiciones de calentamiento en microondas (5, 13), donde la hidrólisis fue insignificante. Contrario al comportamiento anterior, se han reportado resultados de variaciones importantes en el índice de acidez en muestras de aceites usadas en frituras de alimentos como papas, las cuales tienen un contenido de humedad relevante. La humedad presente en el alimento es

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de aceite de girasol con y sin extracto de *Bixa orellana* 100 ppm durante calentamiento en horno microondas

	Tiempo (min)				
	0	1,5	6	9	12
Saponificación (mg KOH/g)					
Control	773,8 ± 2,0 a	450,5 ± 3,0 a	501,4 ± 0,5	491,9 ± 2,3 a	387,0 ± 2,8
Con <i>B. orellana</i>	753,5 ± 4,3 b	751,0 ± 1,7 b	503,7 ± 3,0	446,4 ± 1,3 b	387,0 ± 2,8
Índice de acidez (%)					
Control	0,181 ± 0,18	0,196 ± 0,20	0,223 ± 0,22	0,252 ± 0,00 a	0,293 ± 0,02
Con <i>B. orellana</i>	0,195 ± 0,00	0,181 ± 0,02	0,237 ± 0,02	0,296 ± 0,02 b	0,294 ± 0,02
Índice de peróxido (meq O₂/g)					
Control	10,14 ± 0,44	15,60 ± 1,57	18,17 ± 1,10 a	10,89 ± 0,00 a	6,26 ± 0,57 a
Con <i>B. orellana</i>	10,39 ± 0,52	14,29 ± 0,55	14,89 ± 1,03 b	8,22 ± 1,16 b	23,10 ± 0,64 b
Temperatura (°C)					
Control	22	122	218	246	236
Con <i>B. orellana</i>	22	126	248	254	236

Los valores son promedio de duplicados

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre la misma muestra sin/con extracto de *B. orellana*.

un factor a tener en cuenta en la estabilidad del aceite durante la fritura o calentamiento (19).

Índice de peróxidos (IP)

El IP se utiliza como una medida del grado en que se han producido peróxidos durante las reacciones de deterioro y es un determinante de la calidad y estabilidad de las materias grasas (20). En los primeros minutos de calentamiento el IP es menor en la muestra que contiene el extracto vegetal, lo que indica que éste contribuye a retardar la oxidación de la muestra. A partir de los 6 min se registra la mayor temperatura lo que coincide con la disminución del IP, comportamiento que se puede atribuir a la formación de productos secundarios de oxidación (2) como aldehídos, cetonas, ácidos, dímeros, trímeros, polímeros y compuestos cíclicos (21). Estas observaciones concuerdan con las de Malheiro y colaboradores (13) en diferentes aceites de oliva de origen portugués que fueron sometidos a calentamiento por microondas.

Como la *Bixa orellana*, otros extractos vegetales también han mostrado tener efecto favorable en la conservación de los parámetros de calidad de aceites sometidos a calentamiento (9,12,22) mostrando incluso ventajas frente a antioxidantes sintéticos (12).

Temperatura durante el calentamiento

El comportamiento de la temperatura según tiempo de exposición de las muestras de aceite de girasol, control y adicionada con *Bixa orellana* 100 ppm, se puede observar en la figura 1. Se aprecia que la temperatura aumenta rápidamente hasta los 6 min y, a partir de allí el incremento por unidad de tiempo es menos acelerado. Los valores obtenidos a partir de los 6 min sobrepasan la denominada temperatura de formación de humos o punto de humo, que para el caso del aceite de girasol es de 232 °C. Esta situación permite aducir la existencia de compuestos de descomposición, generando como consecuencia

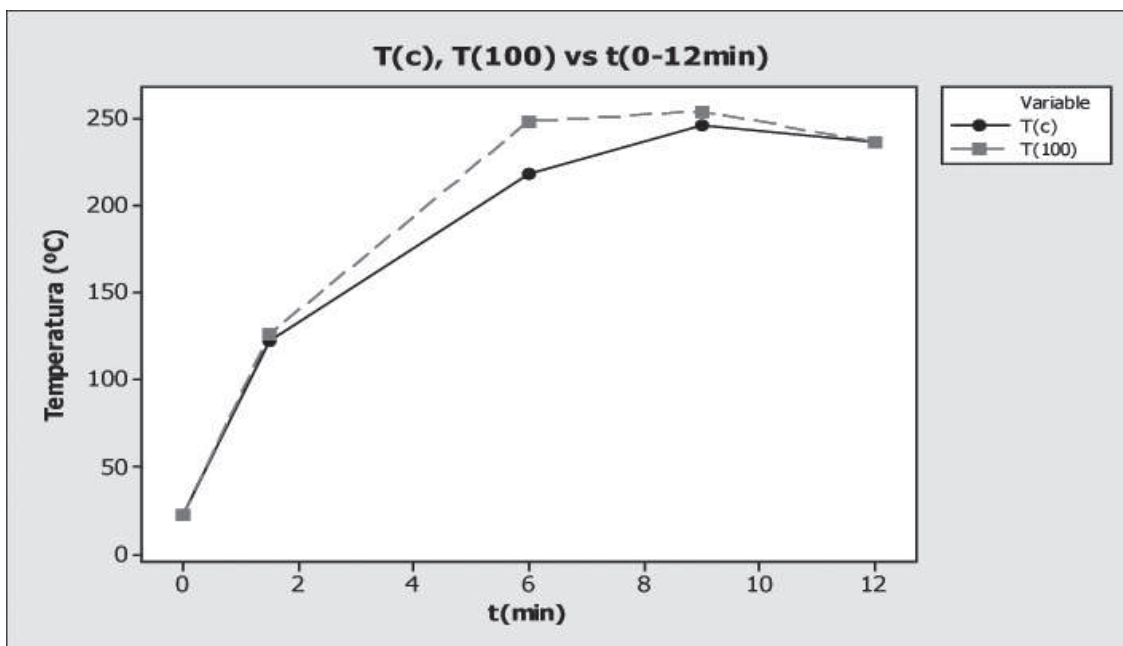


Figura 1. Comportamiento de la temperatura según tiempo de exposición, de las muestras de aceite de girasol (Tc) y adicionada con *Bixa orellana* (T100) durante el calentamiento en horno microondas

lores y sabores indeseables, un aumento en la acidez e incremento en la formación de peróxidos, comportamientos que concuerdan con los cambios observados.

Se ha reportado que la exposición a energía de microondas favorece la formación de radicales libres, de manera que todos los parámetros de calidad estudiados en el aceite se correlacionaron con el aumento del tiempo de calentamiento,

sobre todo a partir de los 6 min, reportando una menor susceptibilidad al proceso de oxidación luego de la adición en concentración de 100 ppm de *Bixa orellana* (6, 23).

Análisis de espectros infrarrojos (FTIR)

El espectro infrarrojo aporta información importante respecto a la presencia y comportamiento de grupos funcionales. En la figura 2 se muestra el espectro IR

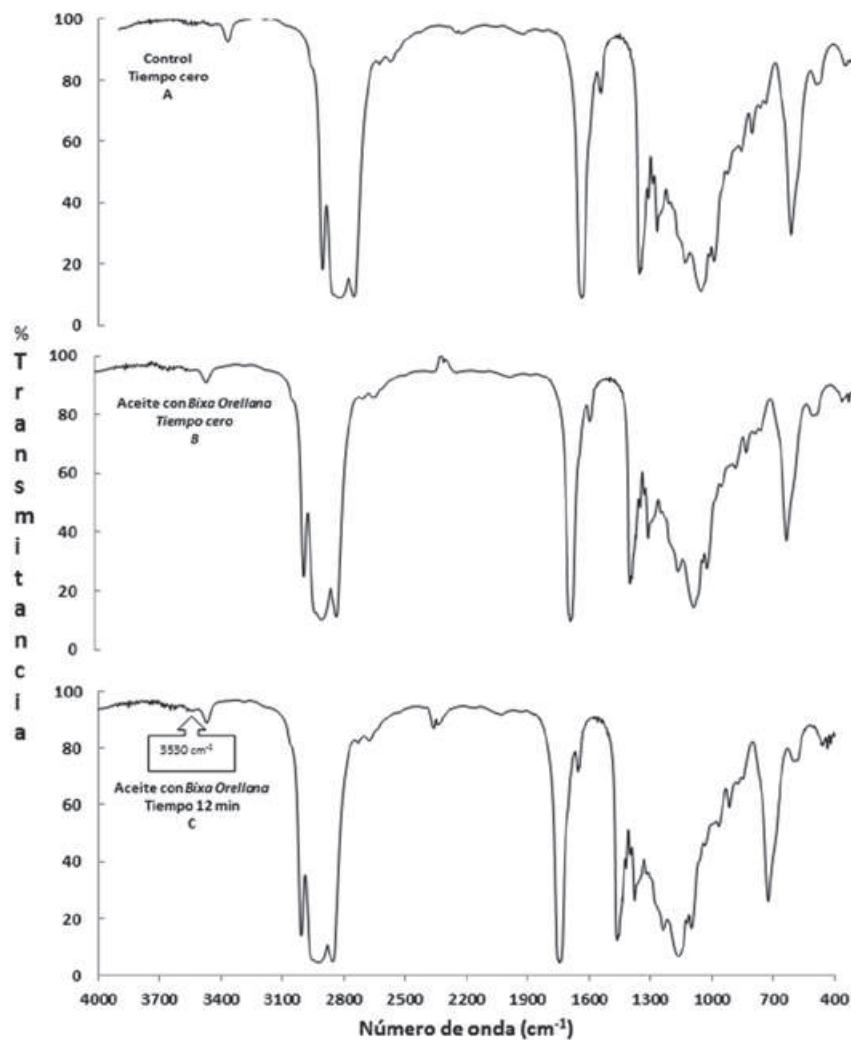


Figura 2. Espectros infrarrojos del aceite de girasol antes de calentamiento (control). B. adicionado con 100 ppm Bixa orellana antes de calentamiento y C. después de 12 min de calentamiento en horno microondas

de las muestras de aceite de girasol, control y con extracto de *Bixa orellana* 100 ppm antes y después de 12 min de calentamiento en horno microondas. El perfil obtenido coincide con el reportado para aceite de girasol en otros estudios (24-25).

En todos los espectros se observa una banda entre 3.600 y 3.250 cm^{-1} la cual evidencia la presencia de hidroperóxidos (21), este resultado está acorde con los valores de los IA e IS, los cuales confirman que éste no cumplía con los parámetros de calidad, seguramente por el tiempo prolongado de almacenamiento en el anaquel.

En el espectro del aceite con *Bixa orellana* 100 ppm después de 12 min de calentamiento (figu-

ra 2C) aparece una pequeña banda en aproximadamente 3.530 cm^{-1} , la cual se puede atribuir a alcoholes como productos secundarios de oxidación, a causa del tiempo y la temperatura de cocción en el microondas, lo que coincide con los resultados obtenidos para el índice de peróxido.

En los demás espectros no se perciben cambios apreciables entre las distintas muestras, resultados que están acorde con los obtenidos para el IA, donde la variación fue mínima.

Análisis de componentes principales

Con el fin de visualizar el efecto del calentamiento sobre los parámetros de calidad evaluados, se

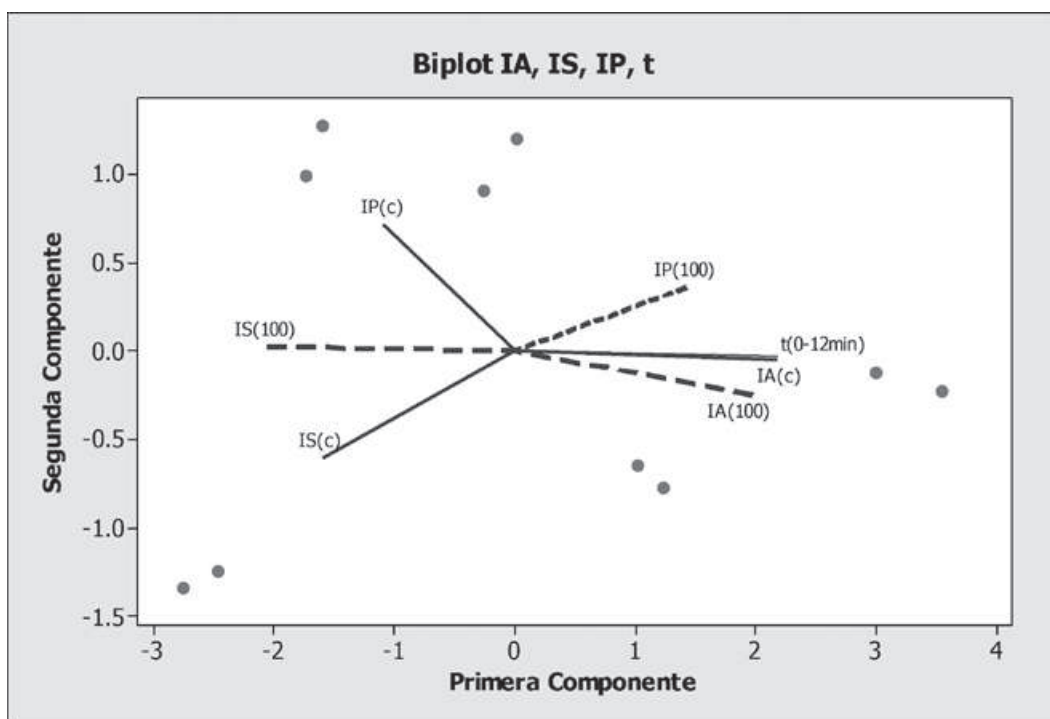


Figura 3. Representación biplot de PCA del control y muestra adicionada con *Bixa orellana* 100 ppm, de la evaluación de índice de saponificación (IS), índice de peróxidos (IP) e índice de acidez (IA) durante el calentamiento en microondas

En la figura se ilustran los resultados de los análisis PCA para el control (línea continua) y para la muestra (línea discontinua).

aplicó el análisis de componente principal (PCA) obteniendo una explicación en cada caso de 93,7 y 97,9% de la variabilidad total para las muestras control y de 100 ppm, respectivamente. La representación biplot de la figura 3 para los resultados del control y muestra adicionada con *Bixa orellana* 100 ppm permite inferir que el calentamiento por microondas induce cambios diferenciales en las muestras.

El IA tanto en el control como en la muestra presenta un incremento mínimo, dado que se encuentran en el mismo cuadrante formando un ángulo muy pequeño entre ellos, indicando que tienen una alta correlación (0,99). Por tanto, la adición de *Bixa orellana* no tiene un efecto de protección frente a esta propiedad.

En el caso del IS, al comparar el control con la muestra, se observan diferencias en el comportamiento de esta propiedad, basado en la correlación observada (0,93), sugiriendo que la saponificación aumenta a un ritmo menor en la muestra que en el control.

Para el índice de peróxidos, teniendo en cuenta que tanto la muestra como el control presentan ejes perpendiculares entre sí, existe correlación muy baja (0,67) y se evidencia que la propiedad aumenta con mayor rapidez en el control.

En conclusión, a partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que el calentamiento del aceite en horno microondas disminuye la calidad del aceite, lo que se traduce en pérdida de su calidad. El extracto de *Bixa orellana* en concentración de 100 ppm tiene efecto protector, evidenciado a través de saponificación, acidez y peróxidos, en los primeros minutos de calentamiento, cuando la temperatura es menor. A tiempos prolongados y a mayor temperatura, el efecto protector se pierde.

Bajo las condiciones del presente estudio se puede establecer que el calentamiento en horno microondas del aceite de girasol afecta mayoritariamente al IP y al IS y no afecta significativamente la acidez. Sin embargo, se sugiere realizar estudios posteriores para establecer si hay efecto protector de *Bixa orellana* en el aceite durante el calentamiento en presencia de alimentos con humedad apreciable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores manifiestan no tener conflictos de interés.

FINANCIACIÓN

Pontificia Universidad Javeriana y Universidad Santo Tomás.

Referencias

1. FAO. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana: consulta de expertos. Granada: Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT); 2012. Estudios FAO de alimentación y nutrición; N° 91.
2. Chiavaro E, Rodríguez-Estrada M, Vittadini E, Pellegrini N. Microwave heating of different vegetable oils: Relation between chemical and thermal parameters. *LWT Food Sci Technol.* 2010;43:1104-12.
3. Burfoot D, James S, Foster A, Self K, Wilkins T, Philips I. Temperature uniformity after reheating in microwave ovens. In: Field RW, Howell JA, eds. *Processing engineering in the food industry.* New York: Elsevier Applied Science; 1990. vol. 2:1-14.
4. Vieira T, Regitano-D'Arce M. Stability of oils heated by microwave: UV-spectrophotometric evaluation. *Ciênc Tecnol Alimentos.* 1998;18:433-7.

Aceite de girasol con *Bixa orellana* frente al calentamiento en horno microondas

- Albi T, Lanzón A, Guinda A, León M, Pérez-Camino M. Microwave and conventional heating effects on thermooxidative degradation of edible fats. *J Agric Food Chem.* 1997; 45:3795-8.
- Zahir E, Saeed R, Hameed A, Yousuf A. Study of physicochemical properties of edible oil and evaluation of frying oil quality by Fourier Transform-Infrared (FT-IR) Spectroscopy. *Arabian J Chem.*2014; <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.05.025>
- Ng C-Y, Leong X-F, Masbah N, Adam S, Kamisah Y, Jaarin K. Reprint of Heated vegetable oils and cardiovascular disease risk factors. *Vasc Pharmacol.* 2014; 62:38-46.
- Yeh C, Chung JG, Wu HC, Li YC, Lee YM, Hung CF. Effects of butylatedhydroxyanisole and butylated hydroxytoluene on DNA adduct formation and arylamines N-acetyltransferase activity in PC-3 cells (human prostate tumor) in vitro. *Food Chem Toxicol.* 2000;38:977-83.
- Wang H, Yang L, Zu Y-G, Liu FL, T-T. Comparative effect of carnosic acid, BHT and α -tocopherol on the stability of squalene under heating and UV irradiation. *Food Res Intern.* 2011;44:2730-4.
- Krishnaiah D, Sarbatly R, Nithyanandam R. A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food Bioprod Process.* 2011;89:217-33.
- Maestro R, Borja R. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. *Grasas y Aceites.* 1993;44:101-6.
- Rodríguez N, Malheiro R, Casal S, Manzanera C, Bento A, Pereira J. Influence of spike lavender (*Lavandula latifolia* Med.) essential oil in the quality, stability and composition of soybean oil during microwave heating. *Food Chem Toxicol.* 2012;50:2894-01.
- Malheiro R, Casal S, Lamas H, Bento A, Pereira A. Can tea extracts protect extra virgin olive oil from oxidation during microwave heating?. *Food Res Intern.* 2012;48:814-54.
- Prabhakara P, Jyothirmayi T, Balaswamy K, Satyanarayana A, Rao D. Effect of processing conditions on the stability of annatto (*Bixa orellana* L.) dye incorporated into some foods. *LWT Food Sci Technol.* 2005;38:779-84.
- Matissek R, Schnepel F-M, Steiner G. Análisis de los alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones. 2 ed. Zaragoza: Acribia; 1992. p.44-53.
- Badui S. Química de los alimentos. 4 ed. México: Pearson; 2006. p.262.
- Icontec. Grasas y aceites comestibles vegetales y animales. Aceite de Girasol. norma técnica colombiana NTC 264. Sexta actualización. Bogotá; 2013. [citado enero de 2014]. Disponible en <http://tienda.icontec.org/brief/NTC264.pdf>
- Ho C, Chow M. The Effect of the refining process on the interfacial properties of palm oil. *J Am Oil Chem Soc.* 2000;77:191-9.
- Casal S, Malheiro R, Sendas A, Oliveira B, Pereira J. Olive oil stability under deep-frying conditions. *Food Chem Toxicol.* 2010;48:2972-9.
- Suliman A, Makhzangy E, Ramadan F. Antiradical performance and physicochemical characteristics of vegetable oils upon frying of french fries: A preliminary comparative. *J Food Lipids.* 2006;13:259-76.
- Laguerre M, Lecomte J, Villeneuve P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress Lipid Res.* 2007;46:244-82.
- Ramadan M, Wahdan K. Blending of corn oil with black cumin (*Nigella sativa*) and coriander (*Coriandrum sativum*) seed oils: Impact on functionality, stability and radical scavenging activity. *Food Chem.* 2012;132:873-9.
- Cerretani L, Bendini A, Rodríguez-Estrada M, Vittadini E, Chiavaro E. Microwave heating of different commercial categories of olive oil: Part I. Effect on chemical oxidative stability indices and phenolic compounds. *Food Chem.* 2009;115:1381-8.
- Sherazi S, Talpur Y, Mahesar S, Aftab A, Kandhro A, Arain S. Main fatty acid classes in vegetable oils by SB-ATR-Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Talanta.* 2009;80:600-6.
- Guillén M, Cabo N. Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. *Food Chem.* 2002;77:503-10.