

tsia

TEMAS SELECTOS DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



Volumen 10 (2016)

Editorial

Una de las actividades más relevantes de un investigador es la divulgación científica, la cual resulta tan necesaria como el desarrollo del conocimiento mismo, ya que permite que éste sea accesible a la sociedad y pueda ser utilizado en beneficio de la misma. Uno de los mecanismos más utilizados para ello es la escritura de artículos científicos, que permiten la difusión rápida de investigaciones relevantes. Los estudiantes de posgrado deberán desarrollar diferentes habilidades a lo largo de su formación, dentro de las cuales la capacidad de análisis y síntesis, así como su destreza para comunicarse de manera efectiva, serán fundamentales para su desarrollo como investigadores. La revista *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* (TSIA) es una plataforma académica que permite a los estudiantes del Doctorado en Ciencia de Alimentos fortalecer el desarrollo de dichas habilidades mediante la escritura de artículos de revisión.

A lo largo de estos 9 años, este proyecto académico ha evolucionado hasta convertirse en una publicación profesional con altos estándares de calidad, gracias al trabajo entusiasta de los estudiantes de posgrado, a la atinada dirección de sus asesores y al compromiso de los editores de esta revista. En esta ocasión es un honor presentar el del volumen 10 de la revista TSIA, en el cual se incluyen cuatro artículos de revisión bibliográfica, que abordan temas de actualidad en el área de la ciencia de alimentos, relacionados con la composición y uso de productos alimenticios, el uso de tecnologías de encapsulación de aceites esenciales, la aplicación de estos como antimicrobianos en alimentos y sistemas modelo, así como el análisis de los factores que afectan la vida de anaquel en botanas fritas.

Estoy convencida que este número contribuirá de manera relevante en la formación de los futuros investigadores y que los artículos aquí publicados constituirán una referencia de las nuevas tendencias de investigación en el área de la ciencia de alimentos.

Dra. Nelly Ramírez Corona

Profesora de tiempo completo

Coordinadora académica de la

Licenciatura en Ingeniería Química

Universidad de las Américas Puebla

TSIA

Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

EDITORIA RESPONSABLE

María Eugenia Bárcenas Pozos

CONSEJO EDITORIAL

Emma Mani López

Arlette Santacruz López

María Teresa Jiménez Munguía

Fidel Tomás Vergara Balderas

TSIA. TEMAS SELECTOS DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, Año 10, volumen 10 (2016), es una publicación anual de la Universidad de las Américas Puebla, realizada y distribuida por el Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Ex hacienda Sta. Catarina Mártir s/n, San Andrés Cholula, Puebla, C. P. 72810. Teléfono: (222) 229 2126, www.udlap.mx, maria.barcenas@udlap.mx. Editora responsable: María Eugenia Bárcenas Pozos. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo número 04-2016-102017072100-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Licitud de Título y Contenido, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación, en trámite. Impresa en los talleres gráficos de la Universidad de las Américas Puebla, Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, San Andrés Cholula, Puebla. C.P. 72810. Este número se terminó de imprimir el 28 de abril de 2017 con un tiraje de 50 ejemplares.

UDLAP®

Contenido

Volumen 10

EDITORIAL

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

- 5 Composición y usos en productos alimenticios
de granada, capulín, garambullo y saúco**
G. Ríos-Corripio y J.A. Guerrero-Beltrán
- 17 Aceites esenciales encapsulados: métodos
de formación, eficiencia y estabilidad**
M. Dávila-Rodríguez y M.T. Jiménez-Munguía
- 28 Aplicación en alimentos y sistemas modelo
de aceites esenciales con potencial antimicrobiano**
A.C. Lorenzo-Leal y A. López-Malo
- 42 Factores que afectan la vida de anaquel de botanas fritas**
F. Díaz-Sánchez, E. M. Santos-López, A. López-Malo

Composición y usos en productos alimenticios de granada, capulín, garambullo y saúco

Gabriela Ríos Corripio y José Ángel Guerrero Beltrán

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, C.P. 72810, San Andrés Cholula, Puebla, México.

RESUMEN

La granada (*Punica granatum* L.), el capulín (*Prunus serotina* subespecie *capulí*), el garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y el saúco (*Sambucus nigra* L.) son frutas conocidas mundialmente y cultivadas en México, principalmente en los estados de Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Veracruz. Dichas frutas son consumidas de forma natural y usadas como materia prima en productos alimenticios como postres, bebidas y otros. Se caracterizan por su composición, ya que tienen gran contenido de vitamina C, minerales (K, Ca y P) y polifenoles (antocianinas, fenoles y betalainas), que les confieren propiedades antioxidantes. Dichos polifenoles les aportan, a la vez, pigmentos que podrían ser usados en la industria alimentaria como una alternativa natural. El objetivo de esta revisión es presentar información sobre la composición y usos alimenticios de la granada, el capulín, el garambullo y el saúco.

Palabras clave: granada, capulín, garambullo, saúco, antioxidantes

ABSTRACT

Pomegranate (*Punica granatum* L.), black cherry (*Prunus serotina* subsp. *capulí*), cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) and elderberry (*Sambucus nigra* L.) are known worldwide and grown in Mexico, mainly in the states of Guanajuato, Queretaro, Hidalgo, and Veracruz. These fruits are consumed naturally, and used as raw materials in food products such as desserts, drinks and others. They are characterized by their composition, as they have high content of vitamin C, minerals (K, Ca, and P) and polyphenols (anthocyanins, phenols, and betalains), which confer antioxidant properties. Polyphenols provide fruit pigments, which could be used in the food industry as a natural alternative. The purpose of this review is to provide information about composition and food uses of pomegranate, black cherry, cactus berry and elderberry.

Keywords: pomegranate, black cherry, cactus berry, elderberry, antioxidants

* Programa de Doctorado
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Dirección electrónica:
gabriela.riosco@udlap.mx
maria.barcenas@udlap.mx

Introducción

Desde hace tiempo se ha incrementado el interés en los antioxidantes naturales encontrados en productos tales como las frutas. Estudios recientes han mostrado que el consumo de frutas y hortalizas constituye un factor clave y una herramienta potencial para el control de enfermedades crónicas, debido al alto contenido de fitoquímicos como los polifenoles que, por su actividad antioxidante, juegan un papel importante en la prevención y tratamiento de dichas enfermedades.

Los fenoles, flavonoides y taninos son importantes antioxidantes y/o colorantes naturales presentes en frutas rojas. El uso de colorantes sintéticos en la industria de alimentos es cada vez más estricto debido a la regulación para su uso, ya que se han evidenciado algunos problemas de toxicidad, reacciones de intolerancia y alergias.

Lo anterior ha incrementado el interés para obtener colorantes de fuentes naturales como posibles sustitutos de colorantes sintéticos, ya que a la fecha no existe evidencia de su toxicidad en humanos y generalmente se asocia con el mantenimiento de una buena salud. Entre los pigmentos naturales de interés para la industria alimentaria están las antocianinas y las betalainas, que actualmente se reconocen como nutraceuticos ya que se ha evaluado su actividad antioxidante y su beneficio potencial a la salud.

La granada (*Punica granatum* L.), el capulín (*Prunus serotina* subespecie *capuli*), el garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y el saúco (*Sambucus nigra* L.) son frutas cultivadas mundialmente. En México se encuentran principalmente en los estados de Guanajuato, Hidalgo, Veracruz, Querétaro, Michoacán, Jalisco y Puebla. La importancia de estas frutas radica particularmente en su composición, debido a su alto contenido de polifenoles y/o pigmentos, que les confieren propiedades antioxidantes y colorantes. En general, estos compuestos bioactivos son antocianinas, fenoles y betalainas. Por lo tanto, la fabricación de productos alimenticios a partir de ellas podría ser una alternativa para la industria de alimentos y bebidas, ya que estas frutas no son tan aprovechadas comercialmente.

Revisión bibliográfica

1. Granada (*Punica granatum* L.)

El granado o granada es una planta que pertenece a la familia *Punicaceae*, es un arbusto de 3 a 6 m de altura. La fruta de granada es una baya grande de piel gruesa coriácea y globulosa de 10 a 15 cm de diámetro. Ésta encierra en su interior arilos, gra-

nos o semillas que corresponden a la parte comestible de esta fruta. Los granos o semillas son un alimento con importantes propiedades nutricionales; estos presentan una consistencia leñosa, carnosa o pulposa, tienen forma prismática, su color varía desde un rojo intenso hasta un rojo claro, y sabor agri dulce (García y Pérez, 2004).

Existen diversas variedades de granada (Apaseo, Apaseo tardía, Tecozautla, entre otras); sin embargo, la principal variedad comercializada a nivel mundial es la Wonderful (Díaz, 2014). En México, la superficie destinada a los plantíos de granado es mínima y su consumo es poco. En 2013, la producción de granada fue de alrededor de 4 400 toneladas, siendo los estados de Oaxaca, Hidalgo y Guanajuato los principales productores (SIAP, 2014).

1.1. Composición

La granada, en su mayoría, está compuesta por agua y azúcares, siendo menor su contenido de grasas (1.17 g/100 g de fruta fresca [FF]) y proteínas (1.67 g/100 g FF), lo que le confiere un bajo valor calórico (aproximadamente 83 kcal/100 g). Asimismo, es importante destacar su alto contenido en micronutrientes, como la vitamina C, el fósforo, magnesio y potasio (Tabla I) (USDA, 2009; López-Mejía, López-Malo y Palou, 2010).

Por otro lado, Calín-Sánchez *et al.* (2008) analizaron el contenido de ácidos orgánicos en fruta de granada. Los ácidos orgánicos mayoritariamente encontrados fueron, el fítico (10.50 g/100 g de arilos o semillas), málico (2.49 g/100 g de arilos o semillas) y cítrico (0.52 g/100 g de arilos o semillas). El ácido cítrico se ha reportado como el ácido orgánico más abundante en granada; sin embargo, en este trabajo se reportó como ácido mayoritario al fítico. Otros ácidos detectados en menor cantidad fueron oxálico, tartárico, quínico y ácido ascórbico.

Es importante destacar que la composición, así como la concentración de compuestos encontrados en granada, es variable de acuerdo a las variedades y condiciones de cultivo (Gorena, Sepúlveda y Sáenz, 2010).

1.1.1. Compuestos antioxidantes

Actualmente, el consumo de granada ha cobrado importancia, ya que es rica en antioxidantes (Rajan *et al.*, 2011; Mena *et al.*, 2011; Shibani, Al-Otaibi y Al-Zoreky, 2012). Dentro de sus compuestos antioxidantes se encuentran los fenoles, flavonoides y taninos. Viuda-Martos, Fernández-López y Pérez-Álvarez (2010), y Fischer, Jacksch, Reinhold y Kammerer (2013) reportaron aproximadamente cincuenta compuestos en jugo de granada, dentro de los principales se encontraban: antocianinas, galo-

Tabla I. Composición de granada, capulín, garambullo y saúco (contenido por 100 g/ FF)

Nutriente	Unidades	Granada	Capulín	Garambullo	Saúco
Energía	kcal	83	81	74	73
Agua	g	77.93	81.18	79.6	79.8
Proteínas	g	1.67	2.10	2.1	0.66
Lípidos totales	g	1.17	0.05	1.0	0.5
Hidratos de carbono	g	18.70	12.23	16.30	18.40
Fibra dietética total	g	4.0	3.58	3.4	7
Vitamina C	mg	10.2	18	32	36
Vitamina A	UI	0	45	74	0.21
Vitamina K	µg	16.4	-	-	-
Calcio	mg	10	24	44	38
Magnesio	mg	12	21.20	0.3	5
Potasio	mg	236	184.30	2.31	280
Fósforo	mg	36	28.10	0.19	39
Hierro	mg	0.30	0.8	0.4	1.60
Manganeso	mg	0.1	0.1	0.6	0.3
Sodio	mg	3.0	2.7	5.2	6.0
Zinc	mg	0.35	0.2	0.1	0.1

Adaptada de FAO/Latin foods (2007), USDA (2009), Guzmán-Maldonado *et al.* (2010a), López-Mejía *et al.* (2010), Guijarro (2013) y Luna-Vázquez *et al.* (2013).

taninos, elagitaninos, catequinas, quercetina, rutina, ésteres galagil, ácidos hidroxibenzoicos, ácidos hidroxicinámicos y dihidroflavonoles.

Asimismo, Gil, Barberan, Pierce, Holcroft y Kader (2000), García y Pérez (2004), Mousavinejad, Djomeh, Rezaei, Hossein y Khodaparast (2009), y Moghaddasi y Haddad (2011), reportaron que la granada se caracteriza por la presencia de pelargonidina-3-glucósido y pelargonidina-3,5-diglucósido, principalmente; en menor cantidad se encuentran cianidina-3-glucósido y cianidina-3,5-diglucósido.

Calín-Sánchez *et al.* (2008), Gorena *et al.* (2010), Kar, Ferchichi, Attia y Bouajila (2011) e Ismail, Abdelatif, El-Mohsen y Zaki (2014), determinaron el contenido de fenoles totales de granada y reportaron 75.7, 139, 110.3 y 55.43 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g FF, respectivamente. El Kar *et al.* (2011), mencionan como contenido de flavonoides totales en granada, 63.6 mg equivalentes de quercetina (EQ)/100 g FF. Asimismo, Ismail *et al.* (2014), Gorena *et al.* (2010) y El Kar *et al.*

(2011) reportaron valores de antocianinas de 33.3, 182.0 y 17.8 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido (ECG), respectivamente, y taninos condensados, 0.216, 0.420 y 142.000 mg/100 g FF. La capacidad antioxidante reportada por Calín-Sánchez *et al.* (2008) y El Kar *et al.* (2011) para granada fue de 120 y 110.3 mg equivalentes de Trolox (ET)/100 g FF, respectivamente.

Elfalleh *et al.* (2011), identificaron y cuantificaron cuatro compuestos fenólicos mediante HPLC (cromatografía líquida de alta eficacia): dos ácidos hidroxibenzoicos (ácido gálico y ácido elágico, 20.55 y 23.43 mg/100 g FF) y dos ácidos hidroxicinámicos (ácido cafeico y ácido p-cumaro, 13.63 y 12.58 mg/100 g FF). Dichos ácidos contribuyen a la capacidad antioxidante de la granada.

1.1.2. Pigmentos

Las antocianinas son el grupo de pigmentos solubles en agua más importante en la naturaleza. Dichos compuestos juegan un rol importante en la granada, no solo por su actividad antioxidan-

te sino porque son los responsables de su color (Elfalleh *et al.*, 2011).

El color de esta fruta depende de la concentración de antocianinas y del tipo de éstas (Gorena *et al.*, 2010). Se han reportado a pelargonidina-3-glucósido, cianidina-3-glucósido, delfinidina-3-glucósido, pelargonidina-3,5-diglucósido, cianidina-3,5-diglucósido y delfinidina-3,5-diglucósido, como los compuestos principales que proporcionan color a la granada (Elfalleh *et al.*, 2011).

Por otro lado, estudios realizados en granada reportan que durante los primeros estados de madurez de la fruta los pigmentos predominantes son los derivados de delfinidina (colores púrpuras, lilas a azules), en especial delfinidina-3,5-diglucósido; cuando la fruta madura, los pigmentos predominantes son los derivados de cianidina, en especial los monoglucósidos, los cuales, conforme pasa el tiempo se van incrementando (Gil, García-Viguera, Artés y Tomas-Barberan, 1995; Pérez-Vicente, Gil-Izquierdo y García-Viguera, 2002; Gorena *et al.*, 2010).

Asimismo, Hernández, Melgarejo, Tomás-Barberán y Artés (1999), investigaron el contenido de antocianinas en fruta fresca y durante su almacenamiento, reportaron que la delfinidina-3,5-diglucósido es el principal pigmento presente en fruta fresca; mientras que durante el almacenamiento la cianidina-3-glucósido y la cianidina-3,5-diglucósido son los compuestos principales.

1.2. Uso en productos alimenticios

En la actualidad la granada se usa de diferentes formas. El principal uso de esta fruta en distintos países es su consumo fresco. La industrialización de ésta se hace para la obtención de productos de interés alimentario, farmacéutico o cosmético: jugos, jarabes, mermeladas, confituras, jaleas, semillas secas, fibra alimentaria, corteza seca para preparar infusiones, aceite de granada y extractos de sus diferentes partes (Andreu, Signes y Carbonell, 2008).

Asimismo, debido a la dificultad que presenta la extracción de las semillas de granada para su consumo como producto fresco, destaca un interés en la industria de alimentos por procesar las semillas de la granada mediante la producción de arilos mínimamente procesados, que le den al consumidor un producto final limpio y listo para consumirse (Sepúlveda *et al.*, 2001). Por otro lado, el contenido de pigmentos en granada hace que ésta se utilice también como colorante natural en alimentos (Gorena *et al.*, 2010).

Actualmente el jugo de granada es la forma más común de aprovechamiento de esta fruta, ya sea de forma natural o procesada. Algunas marcas comerciales de jugo de granada son Jumex, Del Valle, Sonrisa, OceanSpray. Sin embargo, la mayoría de las veces, estos jugos son mezclados con otro, principalmente de manzana y por lo tanto su composición fenólica es distinta al jugo natural (Gorena *et al.*, 2010).

Existen pocos trabajos relacionados con alimentos procesados obtenidos a partir de la granada. Pérez-Vicente, Serrano, Abellán y García-Viguera (2004), determinaron la influencia del envase en la degradación de pigmentos y compuestos bioactivos durante la elaboración y el almacenamiento de jugos. Ellos indican que las pérdidas durante la elaboración (pasteurización del jugo) son bajas en el caso de los polifenoles totales (2%), siendo algo más elevadas en el caso de las antocianinas (14%) y produciéndose un incremento considerable (57%) en el caso del ácido elágico, como consecuencia de la ruptura de elagitaninos. En dicha investigación se comprobó que la actividad antioxidante no presenta cambios significativos durante el procesado y posterior almacenamiento del jugo, lo cual hace del mismo un producto sensorialmente atractivo y con interesantes beneficios para la salud.

Cabe mencionar que la cáscara de granada puede ser también procesada en la preparación del jugo de granada. Elfalleh *et al.* (2012), compararon el contenido de compuestos polifenólicos (fenoles, antocianinas y taninos) en la pulpa y la cáscara de la granada e identificaron un mayor contenido de dichos compuestos en la cáscara. En consecuencia, si la preparación del jugo se hace con la fruta completa, se podría aumentar el contenido de polifenoles, que incluye: taninos principalmente, ácido elágico, ácido gálico, antocianinas y catequinas. Por otra parte, esos hallazgos podrían hacer de la cáscara de granada, un recurso como suplemento nutricional adicionado a otros productos alimenticios, en lugar de un producto de desecho de la industria (Elfalleh *et al.*, 2012).

2. Capulín (*Prunus serotina subsp. capuli*)

El capulín pertenece a la familia *Rosaceae*. Es un árbol que tiene una altura de 5 a 15 m. Se encuentra altamente distribuido en el territorio nacional, crece principalmente en los estados de Guanajuato, Querétaro y Veracruz. En la mayoría de los estados de la República Mexicana a su fruto se le conoce como capulín, sin embargo, en otras zonas se le conoce como cerezo negro americano (Hurtado y Pérez, 2014). La fruta es una drupa globosa, de color negro rojizo en la madurez, de 12 a 20 mm de diámetro, presenta un sabor agridulce y astringente; contiene una sola semilla (Rodríguez, 2011).

2.1. Composición

El capulín se distingue como una fruta con gran contenido de nutrientes, está compuesta principalmente por agua (81.18 %), destacan su contenido de fibra, proteína, vitaminas como A y C, y minerales como el calcio, potasio, magnesio y fósforo (Tabla I) (Guijarro, 2013; Luna-Vázquez *et al.*, 2013).

Luna-Vázquez *et al.* (2013) compararon la composición química del capulín con la de ciruela y uva, por ser frutas similares y de gran consumo. El capulín tuvo mayor contenido de proteína (2.10 mg/100 FF) que ciruela y uva (0.49 y 0.46 mg/100 FF, respectivamente). El contenido de humedad, grasa, fibra y cenizas, fue similar en las tres frutas. Asimismo, los minerales como el K, Ca, P y Mg tuvieron valores más altos en capulín, que en ciruela y uva. Lo que indica que el capulín representa una buena fuente de nutrientes, similar e incluso mayor en contenido al de otras frutas.

2.1.1. Compuestos antioxidantes

El capulín contiene una gran variedad de compuestos fenólicos, como flavonoides, y taninos. El tipo de flavonoides presente en el fruto pertenecen a las antocianinas, principalmente la cianidina-3-glucósido y la cianidina-3-rutinocida (Jiménez, Castillo, Azuara y Beristain, 2011; Hurtado y Pérez, 2014).

Villa (2008), Rodríguez (2011), Luna-Vázquez *et al.* (2013) y Hurtado y Pérez (2014), determinaron la cantidad de fenoles totales en capulín y reportaron un contenido de 316-818, 240.1, 362.2 y 242 mg EAG/100 g FF, respectivamente. El contenido mayor reportado fue el de Villa (2008), lo cual puede ser debido al solvente utilizado para la preparación de la muestra o a las características propias del fruto (zona de procedencia, estado de madurez, temperatura y tiempo de extracción, etcétera).

En el caso de los flavonoides totales, Villa (2008), Rodríguez (2011) y Luna-Vázquez *et al.* (2013) reportaron un contenido de 203.0, 88.9 y 201.8 mg equivalentes de catequina (ECA)/100 g FF. Para antocianinas, Jiménez *et al.* (2011) reportaron un contenido total de 141 mg ECG/100 g FF.

Rodríguez (2011) detectó por HPLC y cuantificó los siguientes compuestos antioxidantes en el capulín: ácido clorogénico, epicatequina y quercetina (8.52, 0.52, 3.0 mg/100 g FF, respectivamente). Asimismo, García-Aguilar *et al.* (2015) encontraron además ácido clorogénico, ácido gálico, ácido cafeico, catequina, epicatequina, quercetina, kaempferol y glucósidos.

En cuanto a capacidad antioxidante, Rodríguez (2011), Luna-Vázquez (2013), y Hurtado y Pérez (2014) reportaron 200.80, 810.99 y 694.00 mg ET/100 g FF. Hurtado y Pérez (2014) compararon este valor con otras frutas como mora, guayaba y uva (279.18, 324.53 y 363.17 mg ET/100 g FF, respectivamente), encontraron que el capulín tiene mayor capacidad antioxidante que dichas frutas.

2.1.2. Pigmentos

Las antocianinas le proporcionan al capulín colores característicos rojos y azules. Luna-Vázquez *et al.* (2013), identificaron pigmentos en la piel del capulín e identificaron doce compuestos

fenólicos mediante HPLC, encontrando: ácido gálico, ácido vanílico, cianinida-3-O-rutinosido, ácido clorogénico, (2) procianidina B, caffeoyl-hexosa-deoxyhexosido, rutina, hiperosido, kaempferol hexosido, quercetina pentosido y kaempferol pentosido.

Cedillo-López, Beltrán-Orozco y Salgado-Cruz (2006) cuantificaron y analizaron la estabilidad de pigmentos presentes en frutos de capulín provenientes de dos mercados locales del Estado de México (Tepetlixpa y la Merced), reportaron 34.20 y 29.17 mg/100 g FF de pigmento de antocianina monomérica, respectivamente. Los pigmentos fueron más estables en pH ácidos 1-4 y presentaron un gran cambio en pH alcalinos, evidenciado por un cambio de color rojo a café, por lo que se puede decir que, conforme aumenta el pH disminuye el color del extracto.

Por otro lado, Jiménez *et al.* (2011) relacionaron la presencia de antocianinas y polifenoles del capulín con las coloraciones físicas que se pueden estimar a través de la magnitud de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*). Dichos autores reportaron L^* : 11.63, a^* : 11.85 y b^* : 9.61, indicando coloraciones rojizas, lo que muestra una alta presencia de antocianinas y polifenoles.

2.2. Uso en productos alimenticios

El fruto del capulín es una fruta poco utilizada, generalmente se consume fresca en los lugares donde se distribuye o encuentra. Las semillas se preparan tostadas como botana. Dicho fruto se utiliza generalmente, como materia prima de mermeladas, jaleas y conservas, así como tamales, bebidas fermentadas, licores y dulces. Asimismo, se utiliza como infusión para ciertas afecciones, como dolor de garganta, estómago, inflamaciones, etcétera (Hurtado y Pérez, 2014). En otros países (Estados Unidos, Brasil, Canadá, Chile y España) el capulín es utilizado como ingrediente de algunos alimentos y bebidas y como suplemento alimenticio por sus propiedades antioxidantes (Villa, 2008).

3. Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*)

El garambullo es una planta endémica de México que pertenece a la familia de las cactáceas (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010b). Su fruto es una baya redonda pequeña (1-2 cm de diámetro), color rojo-violeta en la maduración, globoso a elipsoide y sin espinas (Martínez, 2008), su cáscara es delgada, la pulpa tiene un color rojo claro a oscuro, tiene una estructura similar a un gel, contiene numerosas semillas negras pequeñas (<1 mm) repartidas por todo el volumen de la fruta (Hernández-López, Vaillant, Reynoso-Camacho y Guzmán-Maldonado, 2008). El garambullo es poco conocido y consumido, ya que su comercialización se realiza de manera local. La producción del fruto bajo condiciones silvestres es relativamente baja; ésta es inferior a 500 kg/Ha, y se debe a la heterogeneidad de las poblaciones, en relación a la edad, vi-

gor, sanidad y rendimiento por planta. De la producción total sólo se cosecha entre el 35 y el 70%, debido a las diferencias en calidad y dificultad para cosechar los frutos ya que se produce de forma temporal: de junio a septiembre (Corona, 2007; Hernández-López *et al.*, 2008).

3.1. Composición

Existe poca investigación sobre la composición química del garambullo, la mayoría de los estudios se centran en los compuestos antioxidantes del fruto, especialmente en las betalainas (Hernández-López *et al.*, 2008; Herrera-Hernández, Guevara-Lara, Reynoso-Camacho y Guzmán-Maldonado, 2011). La FAO/Latin foods (2007), reporta que el garambullo está compuesto principalmente por agua (79.6%), tiene gran contenido de proteína, vitamina C y minerales como el calcio y potasio (Tabla I).

Guzmán-Maldonado *et al.* (2010a) hicieron un estudio donde compararon la composición fisicoquímica y nutrimental de cuatro frutas de garambullo provenientes de distintos estados de México (Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí [SLP]). Las cuatro muestras analizadas presentaron diferencias significativas en cuanto a su composición nutrimental. Destacan las diferencias en el contenido de proteína y fibra. El garambullo proveniente de Querétaro presentó mayor cantidad de proteína (0.87 g/100 g de fruta) en comparación con los estados de Guanajuato, Hidalgo y SLP (0.71, 0.79 y 0.79 g/100 g de fruta, respectivamente). En cuanto a fibra los garambullos provenientes de Guanajuato e Hidalgo tuvieron mayor contenido (3.69 y 3.61 % fibra, respectivamente) en comparación con los de Querétaro y SLP (3.49 y 3.49 % fibra, respectivamente). Dicha investigación presentó valores menores de proteína y similares de fibra en comparación con lo reportado por FAO/Latin foods (2007) (Tabla I), dichas diferencias pueden ser debidas a características propias de las frutas (grado de madurez y variedad).

Otros compuestos encontrados en el garambullo son los polifenoles, como taninos, betalainas, fenoles y ácidos fenólicos (Vázquez-Cruz *et al.*, 2012).

3.1.1. Compuestos antioxidantes

El garambullo es una fruta rica en compuestos fenólicos y betalainas y en menor cantidad de taninos (Guerrero-Chávez *et al.*, 2010). Guzmán-Maldonado *et al.* (2010a) reportaron un contenido de vulgaxantina, ácido vanílico, ácido cafeico, ácido gálico y betalainas totales en garambullo de 0.24, 0.65, 0.94, 2.50 y 3.69 mg/100 g FF, respectivamente. Asimismo, reportaron 1046.00 mg EAG/100 g FF de contenido de fenoles totales.

Por otro lado, González (2010) evaluó el contenido de fenoles totales y betalainas en distintos estados de madurez (I, II y

III) del fruto, mediante el método de Singleton, Orthofer, y Lamuela-Raventos (1999) e identificó mediante HPLC. Por el método de Singleton *et al.*, (1999) la mayor cantidad de fenoles se encontró en el estado de madurez I, (4900.00 mg EAG/100 g de peso seco), indicando que, cuando aumenta el tiempo de madurez del fruto, disminuye la cantidad de compuestos fenólicos. Por medio de HPLC identificaron diez compuestos fenólicos, de estos, cuatro fueron ácidos hidroxycinámico (ácido *trans*-cinámico, ácido cafeico, ácido sináptico y ácido ferúlico), dos flavanoles (catequina y epicatequina), un flavonol (miricetina), un hidroxycinámico (ácido clorogénico) y dos ácidos hidroxibenzoicos (ácido *p*-hidroxibenzoico y ácido vanílico). El compuesto fenólico de mayor concentración en el garambullo encontrado fue el ácido ferúlico (518.9 mg/100 g de FF).

En cuanto a las betalainas, el contenido de betacianinas (9.53-32.30 mg/100 g de FF) fue mayor que el contenido de betaxantinas (4.3-9.7 mg/100 g de FF), en los tres estados de madurez del fruto. El contenido de betalainas totales fue de 14.3-42.02 mg/100 g de FF, es importante destacar que, en comparación con los fenoles, en betalainas ocurrió lo contrario en cuanto a la madurez de los frutos, estas aumentaron, conforme aumentaba el grado de madurez del fruto (González, 2010).

Asimismo, los valores reportados por González (2010) fueron mayores comparados con los de Reynoso, García, Morales y González de Mejía (1997) (2.30 mg/100 g FF de betalainas totales), Guzmán-Maldonado *et al.* (2010a) y Herrera-Hernández *et al.* (2011) (4.89 mg/100 g FF de betalainas totales), esto puede ser atribuido a la metodología utilizada y a las características propias del fruto (estado de madurez, condiciones del cultivo, etcétera). En análisis por HPLC, se identificaron cuatro picos de betalainas: betaxantina, betanina, isobetanina y filocactina (Reynoso *et al.*, 1997; González, 2010). En cuanto a taninos, Guzmán-Maldonado *et al.*, (2010a) reportaron un contenido total de taninos condensados de 294.00 mg/100 g de FF; la capacidad antioxidante fue reportada en 473.18 mg ET/100 g. Debido a sus propiedades, los pigmentos del garambullo resultan de gran interés ya que presentan importantes características antioxidantes (Hernández-López *et al.*, 2008).

3.1.2. Pigmentos

El fruto del garambullo contiene una gran cantidad de pigmentos. Las betalainas (compuestos hidrosolubles) proporcionan tonalidades que van del rojo al púrpura (Topete, 2006; Guerrero-Chávez *et al.*, 2010; Herrera-Hernández *et al.*, 2011). En la mayoría de los casos, los pigmentos rojo-violeta son la betanina, isobetanina, betanidina e isobetanidina (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010a).

Reynoso *et al.* (1997) extrajeron pigmentos del garambullo para su identificación y los compararon con los del betabel. Asimismo, analizaron la estabilidad de dichos compuestos a diferentes temperaturas y en presencia de ácido ascórbico, hierro y cromo; reportaron que las betalainas del garambullo tienen mayor estabilidad que la de los pigmentos del betabel ya que son más estables a temperaturas bajas. La concentración de pigmentos fue de 214 mg/100 g FF para garambullo. El ácido ascórbico protege al color rojo incluso cuando se expone a los tratamientos drásticos tales como la esterilización. El hierro y el cromo disminuyeron la estabilidad de los pigmentos; el efecto del hierro fue mayor que el del cromo.

Los pigmentos de este fruto podrían ser aprovechados en la industria alimentaria ya que son estables en un rango de temperatura de 14 a 25°C y las betacianinas son menos estables a temperaturas por arriba de 37°C (Hernández-López *et al.*, 2008; Herrera-Hernández *et al.*, 2011).

3.2. Uso en productos alimenticios

El garambullo es un fruto no climatérico. Es poco explotado y una de sus limitaciones es su corta vida poscosecha. Si se recolecta en su estado maduro y se mantiene a una temperatura de 22°C en recipientes cerrados, en menos de 6 horas fermenta de forma rápida. Se ha observado que si el fruto se mantiene a temperatura de refrigeración (4°C) este se conserva en buen estado (Topete, 2006). En las comunidades rurales donde se distribuye de forma silvestre, su aprovechamiento es limitado ya que la recolección del fruto maduro es para consumo en fresco. Su comercialización en el campo es incipiente y una proporción muy baja de la producción se comercializa en zonas urbanas (Hernández-López *et al.*, 2008; Martínez, 2008).

El consumo actual se reduce casi exclusivamente a la fruta fresca durante el verano y su temporada. Pero también se usa como materia prima para elaboración de productos, como: mermeladas, refrescos, colorante para alimentos, licor, pasteles, galletas, agua fresca, dulces, en conserva, nieve, helados y paletas con fruta fresca molida (Topete, 2006; González, 2010).

4. Sauco (*Sambucus nigra* L.)

Existen distintas especies (*australis*, *canadensis*, *mexicana*, *caerulea*, etcétera) del género *Sambucus* distribuidas mundialmente. El saúco negro, americano o común (*S. nigra*) es la especie que más se ha desarrollado y estudiado como alimento y medicina. La planta es un arbusto leñoso; los frutos son bayas carnosas de aspecto globoso y de color azul-negro que se encuentran reunidas en ramilletes (Tejero del Río, 2008). Existen

algunos estudios que indican que las bayas tienen propiedades depurativas, laxantes y antineurálgicas. Se ha reportado también, que frutos de saúco que no son maduros pueden llegar a ser tóxicos. Tejero del Río (2008) indica que la toxicidad podría estar relacionada con sustancias termolábiles que son más abundantes en los frutos verdes y la corteza. También indica que las sustancias podrían ser proteínas, aunque no se descartan sustancias orgánicas con bajo peso molecular como las sustancias cianogénicas que pueden liberar ácido cianhídrico al hidrolizarse. Sin embargo, el tratamiento térmico por cocción de los frutos, la corteza o los brotes de hojas de saúco, elimina la toxicidad.

4.1. Composición

El saúco es una fruta compuesta principalmente por agua (79.8 %) y otros nutrimentos (Tabla I), sin embargo, en su composición destaca un alto contenido de vitamina C y minerales como el fósforo, potasio, calcio y magnesio. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2009) reporta 36, 38, 39, 280 y 5 mg/100 g de FF de vitamina C, calcio, fósforo, potasio y magnesio, respectivamente. Vulic, Vracar y Sumic (2008) mencionan también un alto contenido de vitamina C, calcio, fósforo, potasio y magnesio, 34.10, 28.06, 54, 391.33 y 25.99 mg/100 g de FF, respectivamente.

Otros compuestos encontrados en el saúco son azúcares reductores (4-8.55 %), pectina (0.1593-7.5 %), aceite esencial (0.03-0.14 %), ácidos orgánicos (cítrico, isocítrico, málico y tartárico), celulosa (1.65 %), aminoácidos y compuestos volátiles (Akbulut, Ercisli y Tosun, 2009; Verberic, Jakopic, Stampar y Schmitzer, 2009). Kislichenko y Vel'ma (2006) y Vulic *et al.* (2008), reportaron 16 aminoácidos, 7 de ellos aminoácidos esenciales en saúco (lisina, alanina, tirosina, glicina, valina, serina, prolina, isoleucina, leucina, metionina, histidina, glutamato, asparagina, cisteína, treonina y triptófano). Gamze, Demirci y Hüsnü (2014a) encontraron 34 compuestos volátiles, los cuales representan el 86.1 % de la muestra, los principales compuestos fueron fenil acetaldehído (32.3 %), benzaldehído (7.9 %), linoleato de etilo (5.4 %), guayacol 4-vinilo (4.9 %), linalool (4.5 %) y feniletil alcohol (4.1 %). Por otro lado, el saúco tiene también un gran contenido de fenoles y antocianinas (Elez, Kovačević, Galić, Dragović-Uzelac y Savić, 2012).

4.1.1. Compuestos antioxidantes

Diversas investigaciones han demostrado que el saúco contiene sustancias antioxidantes. Grandes cantidades de antocianinas y otros compuestos fenólicos están presentes en la fruta, los componentes principales que se han identificado son: cia-

nidina-3-glucósido (65.7% de antocianinas totales) y cianidina-3-sambubiósido (32.4% de antocianinas totales), además, se han encontrado en menor cantidad: cianidina-3,5-diglucósido (0.8 %), cianidina-3-sambubiósido-5-glucósido (0.08 %), cianidina-3-rutinósido (0.004 %) y pelargonidina-3-glucósido (0.0018 %) (Akbulut *et al.*, 2009; Elez *et al.*, 2012; Gamze *et al.*, 2014a). Vulic *et al.* (2008), Guerrero *et al.* (2010), Elez *et al.* (2012), Perkins-Veazie, Thomas, Finn y Byers (2013), y Gamze, Göger y Hüsnü (2014b) reportan un contenido de antocianinas monoméricas totales de 86.38, 852.6, 416.3, 60-360 y 408.6 mg ECG/100 g de FF y de compuestos fenólicos totales de 435, 963.2, 788.3, 460-670 y 4917 mg EAG/100 g de FF, respectivamente.

Otros compuestos antioxidantes en saúco son el ácido clorogénico (10.70 mg/100 g de FF), taninos (71.15 mg EAG/100 g de FF) y flavonoides (177.5 mg equivalentes de rutina/100 g de FF) (Lee y Finn, 2007; Elez *et al.*, 2012; Mudgea *et al.*, 2016). Mikulic-Petkovsek, Ivancic, Todorovic, Veberic y Stampar (2015) determinaron la composición y el contenido de compuestos fenólicos en el saúco, encontraron ácido hidroxicinámico y ácido clorogénico. Los flavanoles (catequina, epicatequina y diferentes procianidinas) fueron otro grupo fenólico importante encontrado.

En cuanto a la capacidad antioxidante del saúco, Wu *et al.* (2004), Halvorsen *et al.* (2002), y Buričová y Réblová (2008) demostraron que dicha capacidad es alta cuando se compara con otras frutas similares, como los arándanos, moras y zarzamoras. Elez *et al.* (2012) mencionan una capacidad antioxidante en el saúco de 0.0053 mg ET/100 g de FF; Halvorsen *et al.* (2002) reportaron una capacidad antioxidante de 0.0019 a 0.00361 mg ET/100 g de FF, y Akbulut *et al.* (2009) compararon cuatro genotipos distintos de saúco y encontraron 0.0024 mg ET/100 g de FF, valores similares de capacidad antioxidante reportados por los otros autores.

Las antocianinas y los fenoles son importantes indicadores de calidad de la fruta, e influyen fuertemente en su apariencia. Hay numerosos factores que pueden afectar el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de la fruta, entre ellos: la variedad, el área geográfica, el grado de madurez, las condiciones ambientales y, sobre todo, las prácticas de manejo desde su cosecha en el campo, el almacenamiento posterior a la recolección y su procesamiento (Elez *et al.*, 2012).

4.1.2. Pigmentos

El saúco es una fruta que contiene pigmentos rojo-púrpura que le proporcionan su color característico. Estos pigmentos son antocianinas; en el saúco se encuentran, específicamente, la cianidina-3-glucósido y la cianidina-3-sambubiósido (Bermúdez-Soto y Tomas-Barberán, 2004; Dawidowicz, Wianows-

kaa y Baraniakb, 2006; Szalóki-Dorkó, Légrádi, Abrankó y Stéger-Máté, 2014). Además de estos compuestos se encuentran, en menor cantidad, la cianidina-3-O-sambubiósido-5-O-glucósido y la cianidina-3-5-diglucósido (Szalóki-Dorkó *et al.*, 2014).

Las antocianinas se han usado desde hace ya algunos años como fuente potencial de pigmento natural en alimentos, sin embargo, una de las desventajas de su uso es su inestabilidad a la luz, la temperatura y el pH, entre otros factores. Para el caso de los pigmentos del saúco, éstos pueden cambiar a rojo (en condiciones ácidas) y a una tonalidad morada/púrpura (en condiciones alcalinas) (Inami, Tamura, Kikuzaki y Nakatani, 1996; Oancea y Drăghici, 2013).

A pesar de esta desventaja y por el contenido de sustancias antioxidantes con las que cuenta, en algunos países de Europa y Asia se siguen usando dichos pigmentos del saúco, como una alternativa para colorantes naturales, en dulces, gelatinas, jugos y bebidas (Watanabe, Yamamoto, Nagai y Terabe, 1998; Galic *et al.*, 2009).

4.2. Uso en productos alimenticios

Debido a su composición, especialmente a los compuestos antioxidantes con los que cuenta, el saúco es una alternativa de producto natural o procesado para el área de alimentos (Akbulut *et al.*, 2009). Sin embargo, este fruto ya se ha utilizado y consumido, aunque de forma no tan común en algunos lugares, como fruta fresca, producto tradicional, producto procesado o suplemento alimenticio.

Como producto tradicional y/o procesado el saúco es usado para la preparación de jugos, mermeladas, yogur, aderezos, botanas, licores, compotas, conservas, frutas deshidratadas, jarabes, helados, refrescos, colorantes naturales, cerveza y vinos, entre otros (Tejero del Río, 2008; Schmitzer, Veberic, Slatnar y Stampar, 2010). Como suplemento alimenticio, se ha usado en la preparación de jarabes, infusiones y extractos, aportando beneficios a la salud (Cejpek, Maloušková, Konečný y Velišek, 2009; Elez *et al.*, 2012; Gamze *et al.*, 2014b).

Países de Europa, Estados Unidos y Canadá procesan el saúco en diversos productos alimenticios, llegando a encontrar hasta más de 80 productos distintos, por lo que lo consideran una fruta potencial en el mercado debido a sus propiedades, de hecho, estos productos se han llegado a clasificar en dos categorías, como alimentos y bebidas y productos para la salud (Özgen, Scheerens, Neil y Miller, 2010). En la industria alimentaria se ha llegado a comparar, en algunos aspectos, con frutas similares que son de mayor consumo, como arándanos, fresas, frambuesas, zarzamoras y uva (Cejpek *et al.*, 2009; Elez *et al.*, 2012; Gamze *et al.*, 2014b).

En México, no ha sido tan explotado como en otros países. Generalmente es consumido en lugares donde crece la fruta de forma natural y donde es cultivado. Se consume como fruta fresca, principalmente, pero también es aprovechado para preparar nieves, paletas de hielo, mermeladas, conservas, dulces típicos, bebidas y licores. Otra forma de consumo es la preparación de infusiones, para tratar afecciones como gripe, inflamaciones, dolores de estómago, entre otros (Tejero del Río, 2008).

Conclusiones

La granada, el capulín, el garambullo y el saúco son frutas ricas en compuestos con gran valor nutricional, antioxidante y aportación de pigmentos. Estas frutas son poco aprovechadas, su consumo se da principalmente como frutas frescas; sin embargo, estudios que demuestren la importancia de su composición pueden contribuir a aumentar el consumo y uso de estas frutas para su procesamiento, para poder usarlas como fuente de ingredientes y/o alimentos con efecto positivo en la nutrición de los consumidores y con fines tecnológicos en la pigmentación de alimentos.

Agradecimientos

La autora Gabriela Ríos Corripio agradece a la Universidad de las Américas Puebla, por el apoyo recibido para el financiamiento de sus estudios de doctorado.

Referencias

- Akbulut, M., Ercisli, S., y Tosun, M. (2009). «Physico-chemical characteristics of some wild grown European elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes». *Pharmacognosy Magazine*, 20 (5), 320-337.
- Andreu-Sevilla, A., Signes-Pastor, A. J. y Carbonell-Barrachina, A. A. (2008). «La granada y su zumo. Producción, composición y propiedades beneficiosas para la salud». *Alimentación*, 234, 36-39.
- Bermúdez-Soto, M.J., y Tomas-Barberán, F. A. (2004). «Evaluation of commercial red fruit juice concentrates as ingredients for antioxidant functional juices». *European Food Research and Technology*, 219, 133-141.
- Buričová, L., y Réblová, Z. (2008). «Czech medicinal plants as possible sources of antioxidants». *Czech Journal of Food Sciences*, 26, 132-138.
- Calín-Sánchez, A., Figiel, A., Hernández, F., Melgarejo, P., Lech, K. y Carbonell-Barrachina, A. (2008). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils and rind as affected by drying method. *Food and Bioprocess Technology. An International Journal*, 4 (1), 110-121.
- Cedillo-López, D., Beltrán-Orozco, M. C., y Salgado-Cruz, M. P. (2006). «Cuantificación y estabilidad de los pigmentos presentes en 2 variedades del fruto del capulín (*Prunus serotina* Ehrenb. subs. *capuli* (Cav.) McVaught)». *Cartel IV Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica y XV Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica*. Colegio Mexicano de Ingenieros Bioquímicos, A. C. Morelia, Michoacán, México.
- Cejpek, K., Maloušková, I., Konečný, M., y Velišek, J. (2009). «Antioxidant activity in variously prepared elderberry foods and supplements». *Czech Journal of Food Sciences*, 27, s45-s48.
- Corona, C. (2007). «Efecto del 1-mcp sobre el comportamiento fisiológico postcosecha de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*)». *Revista de Difusión*. Universidad Autónoma de Querétaro. En línea. Obtenido el 5 de febrero de 2016 desde: http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias2007/31_6UAQCoronaMartinez.pdf
- Dawidowicz, L. A., Wianowska, D., y Baraniak, B. (2006). «The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts)». *Food Science and Technology*, 39 (3), 308-315.
- Díaz, M. A. (2014). *Calidad nutracéutica de extractos de granada dulce y ácida y bioaccesibilidad de sus compuestos fenólicos en un modelo in vivo*. (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Elez, G. I., Kovačević, G. K., Galić, I., Dragović-Uzelac, V., y Savić, Z. (2012). «The influence of processing on physico-chemical parameters, phenolics, antioxidant activity and sensory attributes of elderberry (*Sambucus nigra* L.) fruit wine». *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 7, 9-13.
- El Kar, C., Ferchichi, A., Attia, F., y Bouajila, J. (2011). «Pomegranate (*Punica granatum* L.) juices: chemical composition, micronutrient, cations, and antioxidant capacity». *Journal of Food Science*, 76 (6), C795-C799.

- Elfalleh, W., Hannachi, H., Tlili, N., Yahia, Y., Nasri, N., y Ferchichi, A. (2012). «Total phenolic contents and antioxidant activities of pomegranate peel, seed, leaf and flower». *Journal of Medicinal Plants Research*, 6, 4724-4730.
- Elfalleh, W., Tlili, N., Nasri, N., Yahia, Y., Hannachi, H., Chai-ra, N., Ying, M., y Ferchichi, A. (2011). «Antioxidant capacities of phenolic compounds and tocopherols from tunisian pomegranate (*Punica granatum*) fruits». *Journal of Food Science*, 76 (5), C707-C714.
- FAO/Latin foods. 2007. *Cuadro de composición de alimentos de América Latina*. En línea. Obtenido el 7 de febrero de 2016 desde: <http://www.rlc.fao.org/es/bases/alimento>
- Fischer, A. U., Jacksch, V. A., Reinhold, C., y Kammerer, R. D. (2013). «Influence of origin source, different fruit tissue and juice extraction methods on anthocyanin, phenolic acid, hydrolysable tannin and isolaricresinol contents of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits and juices». *European Food Research Technology*, 237, 209-221.
- Galić, A., Dragović-Uzelac, V., Levaj, B., Bursać, K. D., Pliestić, S., y Arnautović, A. (2009). «The polyphenols stability, enzyme activity and physico-chemical parameters during producing wild elderberry concentrated juice». *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74 (3), 181-186.
- Gamze, A. H., Demirci, B., y Hüsni C. B. K. (2014a). «The volatile compounds of elderberries (*Sambucus nigra* L.)». *Natural Volatiles and Essential Oils*, 1, 51-54.
- Gamze, D. H., Göger, K. F., y Hüsni, C. B. K. (2014b). «In vitro antioxidant properties and anthocyanin compositions of elderberry extracts». *Food Chemistry*, 155 (15), 112-119.
- García-Aguilar, L., Rojas-Molina, A., Ibarra-Alvarado, C., Rojas-Molina, J., Vázquez-Landaverde, P.A., Luna-Vázquez, F., y Zavala-Sánchez, M.A. (2015). «Nutritional value and volatile compounds of black cherry (*Prunus serotina*) seeds». *Molecules*, 20 (2), 3479-3495.
- García, B. C., y Pérez, V. A. (2004). «La granada. Alimento rico en polifenoles antioxidantes y bajo en calorías». *Alimentación, Nutrición y Salud*, 11 (4), 113-120.
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M. y Kader, A. A. (2000). «Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing». *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 4581-4589.
- Gil, M., García-Viguera, C., Artés, F., y Tomás-Barberán, F. (1995). «Changes in pomegranate juice pigmentation during ripening». *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 68, 77-81.
- González, N. C. (2010). *Caracterización fisicoquímica del fruto del garambullo (tesis de maestría)*. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Gorena, T., Sepúlveda, E., y Sáenz C. (2010). «Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de frutos de granado (*Punica granatum* L.)». *La Alimentación Latinoamericana*, 285, 48-52.
- Guerrero-Chávez, G., De Ancos, S. B., Sánchez-Moreno, C., Cano-Dolado, M. P., Mercado-Silva, E., y Guzmán-Maldonado, H. S. (2010). «Identificación de los pigmentos betaláinicos de frutos de (*Myrtillocactus geometrizans*) por HPLC-DAD-ESI-MS». *Revista Iberoamericana de Tecnología Postchosecha*, 11, 1-152.
- Guerrero, C. J., Ciampi, P. L., Castilla, C. A., Medel, S. F., Schalchli, S. H., Hormazabal, U. E., Bensch, T. E., y Alberdi L. M. (2010). «Antioxidant capacity, anthocyanins, and total phenols of wild and cultivated berries in Chile». *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70 (4), 537-544.
- Guijarro, T. A. (2013). *Diseño de un proceso para producir un licor con sabor a capulí (tesis de ingeniería)*. Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador.
- Guzmán-Maldonado, S. H., Herrera-Hernández, G., Hernández-López, D., Reynoso-Camachoc, R., Guzmán-Tovara, A., Vaillant, F., y Brat, P. (2010a). «Physicochemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico». *Food Chemistry*, 121, 381-386.
- Guzmán-Maldonado, S.H., Morales-Montelongo, A. L., Mondragón-Jacobo, C, Herrera-Hernández, G., Guevara-Lara, F., y Reynoso-Camacho R. (2010b). «Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-Mexico Region». *Journal of Food Science*, 75 (6), C485-492.
- Halvorsen, B. L., Holte, K., Myhrstad, M. C. W., Barikmo, I., Hvattum, E., Remberg, S. F., Wold, A. B., Haffner, K., Baugerød, H., Andersen, L. F., Moskaug, Ø., Jacobs, D. R. y Blomhoff, R. (2002). «A systematic screening of total antioxidants in dietary plants». *Journal of Nutrition*, 132, 461-471.
- Hernández, F., Melgarejo, P., Tomás-Barberán, T., y Artés, F. (1999). «Evolution of juice anthocyanins during ripening of new selected pomegranate (*Punica granatum*) clones». *European Food Research and Technology*, 210, 39-42.

- Hernández-López, D., Vaillant, F., Reynoso-Camacho, R., y Guzmán-Maldonado, S. H. (2008). «*Myrtillocactus* (cactaceae): botanical, agronomic, physicochemical and chemical characteristics of fruits». *Fruits*, 63 (5), 269-276.
- Herrera-Hernández, M. G., Guevara-Lara, F., Reynoso-Camacho, R., y Guzmán-Maldonado, S. H. (2011). «Effects of maturity stage and storage on cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics, vitamin C, betalains and their antioxidant properties». *Food Chemistry*, 129 (4), 1744-1750.
- Hurtado, H. N., y Pérez, N. (2014). «Identificación, estabilidad y actividad antioxidante de las antocianinas aisladas de la cáscara del fruto de capulí (*Prunus serotina* spp *capuli* (Cav) Mc. Vaug Cav)». *Información Tecnológica*, 25 (4), 131-142.
- Inami, O., Tamura, I., Kikuzaki, H., y Nakatani, N. (1996). «Stability of anthocyanins of *Sambucus canadensis* and *Sambucus nigra*». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 3090-3096.
- Ismail, A. F., Abdelatif, H. S., El-Mohsen, A. R. N., y Zaki, A. S. (2014). «The physico-chemical properties of pomegranate juice (*Punica granatum* L.) extracted from two egyptian varieties». *World Journal of Dairy & Food Science*, 9, 29-35.
- Jiménez, M., Castillo, I., Azuara, E., y Beristain, C. I. (2011). «Actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos de capulín (*Prunus serotina* subsp *capuli*)». *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10, 29-37.
- Kislichenko, V.S., y Vel'ma, V. V. (2006). «Amino-acid composition of flowers, leaves, and extract of *Sambucus nigra* flowers». *Chemistry of Natural Compounds*, 42, 125-126.
- Lee, J., y Finn, C.E. (2007). «Anthocyanins and other polyphenolics in American elderberry (*Sambucus canadensis*) and European elderberry (*S. nigra*) cultivars». *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2665-2675.
- López-Mejía, O. A., López-Malo, A., y Palou, E. (2010). «Granada (*Punica granatum* L): una fuente de antioxidantes de interés actual». *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 4, 64-73.
- Luna-Vázquez, J. F., Ibarra-Alvarado, C., Rojas-Molina, A., Rojas-Molina, J. I., Yahia, E., Rivera-Pastrana, M. D., Rojas-Molina, A., y Zavala-Sánchez, M. A. (2013). «Nutraceutical value of black cherry *Prunus serotina* Ehrh. fruits: antioxidant and antihypertensive properties». *Molecules*, 18 (11), 14597-14612.
- Martínez, S.P. (2008). *Análisis molecular de la capacidad antioxidante del fruto de garmbullo (Myrtillocactus geometrizans) en ratas diabéticas*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Mena, P., García-Viguera, C., Navarro-Rico, J., Moreno, D. A., Bartual, J., Saura, D., y Martí, N. (2011). «Phytochemical characterization for industrial use of pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain». *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91 (10), 1893-1906.
- Mikulic-Petkovsek, M., Ivancic, A., Todorovic, B., Veberic, R., y Stampar F. (2015). «Fruit phenolic composition of different elderberry species and hybrids». *Journal of Food Science*, 80 (10), 2180-2190.
- Moghaddasi, M. S., y Haddad, K. H. (2011). «Chemical composition of the plant *Punica granatum* L. (Pomegranate) and its effect on heart and cancer». *Journal of Medicinal Plants Research*, 40 (6), 5306-5310.
- Mousavinejad, G, Djomeh, Z., Rezaei, K., Hossein, M., y Khodaparast, H. (2009). «Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars». *Food Chemistry*, 115, 1274-1278.
- Mudgea, E., Applequistb, L. W., Finleya, J., Listera, P., Townesmithb, K. A., Walkerb, M. K., y Brow, N. P. (2016). «Variation of select flavonols and chlorogenic acid content of elderberry collected throughout the Eastern United States». *Journal of Food Composition and Analysis*, 47, 52-59.
- Oancea, S., y Drăghici, O. (2013). «pH and thermal stability of anthocyanin-based optimised extracts of romanian red onion cultivars». *Czech Journal of Food Science*, 31 (3), 283-291.
- Özgen, M., Scheerens, C. J., Neil, R. R., y Miller, R. A. (2010). «Total phenolic, anthocyanin contents and antioxidant capacity of selected elderberry (*Sambucus canadensis* L.) accessions». *Pharmacognosy Magazine*, 23 (6), 198-203.
- Pérez-Vicente, A., Gil-Izquierdo, A., y García-Viguera, C. (2002). «In vitro gastrointestinal digestion study of pomegranate juice phenolic compounds, anthocyanins and vitamin C». *Journal of Agriculture of Food Chemistry*, 50, 2308-2312.
- Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellán, P., y García-Viguera, C. (2004). «Influence of packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds, during storage». *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 639-44.
- Perkins-Veazie, P., Thomas, L. A., Finn, E. C., y Byers, L. P. (2013). «Fruit composition of edelberry (*Sambucus canadensis*

- and *Sambucus nigra*) genotypes grown in Oregon and Missouri, USA (P)». *Symposium Proceedings. The First International Symposium of Elderberry*. Columbia, Missouri, USA: Comité del ISE. En línea. Obtenido desde: <http://www.centerforagroforestry.org/pubs/elderberrysymposiumguide.pdf>
- Rajan, S., Mahalakshmi, S., Deepa, V. M., Sathya, K., Shajitha, S., y Thirunalasundari, T. (2011). «Antioxidant potentials of *Punica granatum* fruit rind extracts». *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3 (3), 82-88.
- Reynoso, R., García, F. A., Morales, D., y González de Mejía, E. (1997). «Stability of betalain pigments from a cactacea fruit». *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45 (8), 2884-2889.
- Rodríguez, D. L. E. (2011). *Determinación de la actividad antioxidante del fruto sin semilla del capulín mexicano (Prunus serotina) e identificación de sus fenoles marcadores mediante CLAR-EM*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Berger, H., Galletti, L., Valladares, C., y Botti, C. (2001). «Minimal processing of pomegranate cv. española: effect of three package material». *Acta Horticulturae*, 553, 711-712.
- Shiban, S. M., Al-Otaibi, M. M., y Al-Zoreky, N. S. (2012). «Antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels». *Food and Nutrition Sciences*, 3, 991-996.
- Schmitzer, V., Veberic, R., Slatnar, A., y Stampar, F. (2010). «Elderberry (*Sambucus nigra* L.) wine: a product rich in health promoting compounds». *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58, 10143-10146.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2014). *Servicio de información estadística agroalimentaria y pesquera*. En línea. Obtenido el 12 de enero de 2016 desde: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., y Lamuela-Raventos, R. M. (1999). «Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of the Folin-Ciocalteu reagent». *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Szalóki-Dorkó, L., Légrádi, F., Abrankó, L., y Stéger-Máté, M. (2014). «Effects of food processing technology on valuable compounds in elderberry (*Sambucus nigra* L.) varieties». *Acta Biologica Szegediensis*, 58 (1), 45-48.
- Tejero del Río, J. (2008). *Caracterización químico-física y toxicológica de las lectinas antinutricionales ebulina f y SELfd de frutos de Sambucus ebulus L.* (tesis doctoral). España: Universidad de Valladolid.
- Topete, V. R. (2006). *Caracterización química y evaluación del efecto hipoglucemiante y antioxidante del fruto de garambullo (Myrtillocactus geometrizans)* (tesis de maestría). México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2009). *National Nutrient Database for Standard Reference*. En línea. Obtenido el 8 de marzo de 2016 desde: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2359?fgcd=&manu=&facet=&format=&count=&max=35&offset=&sort=&qlookup=pomegranate>
- Vázquez-Cruz, M. A., Jiménez-García, S. N., Torres-Pacheco, I., Guzmán-Maldonado, S. H., Guevara-González, R. G., y Miranda-López, R. (2012). «Effect of maturity stage and storage on flavor compounds and sensory description of berrycactus (*Myrtillocactus geometrizans*)». *Journal of Food Science*, 77 (4), C366-373.
- Verberic, R., Jakopic, J., Stampar, F., y Schmitzer, V. (2009). «European elderberry (*Sambucus nigra* L.) rich in sugars, organic acids, anthocyanins and selected polyphenols». *Food Chemistry*, 114, 511-515.
- Villa, D. T. F. (2008). *Frutos del capulín (Prunus serotina) como fuentes potenciales de compuestos bioactivos* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., y Pérez-Álvarez, J. A. (2010). «Pomegranate and its many functional components as related to human health: a review». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 635-654.
- Vulic, J. J., Vracar, O. L., y Sumic, M. Z. (2008). «Chemical characteristics of cultivated elderberry fruit». *Acta Periodica Technologica (APTEFF)*, 39, 85-90.
- Watanabe, T., Yamamoto, A., Nagai, S., y Terabe, S. (1998). «Analysis of elderberry pigments in commercial food samples by micellar electrokinetic chromatography». *Analytical Science*, 14, 839-844.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., y Prior, R. L. (2004). «Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the U.S». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 4026-4037.

Aceites esenciales encapsulados: métodos de formación, eficiencia y estabilidad

Mónica Dávila-Rodríguez y María Teresa Jiménez-Munguía

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla. Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, C.P. 72810, San Andrés Cholula, Puebla, México.

RESUMEN

Los aceites esenciales (AE) poseen diversos componentes con actividad antimicrobiana y antioxidante. La encapsulación ha demostrado ser eficaz para estabilizar dichos componentes, evitando que se degraden por factores del medio ambiente. El objetivo de esta revisión es recopilar información sobre la eficiencia y la estabilidad de aceites esenciales encapsulados (AEE) por diferentes métodos de encapsulación. Entre los métodos para la encapsulación de AE se encuentran: secado por aspersión, encapsulación por emulsión y lecho fluidizado. La actividad antimicrobiana y antioxidante de distintos AEE ha sido evaluada de manera directa o indirecta, dependiendo de sus componentes. Por otro lado, se encontró que la eficiencia y estabilidad de los AEE dependen de diferentes factores como: la naturaleza del aceite, el método de encapsulación, los componentes presentes en cada aceite, la temperatura, el tiempo de almacenamiento, entre otros. No obstante, existe poca información de la estabilidad de los componentes en los AEE.

Palabras clave: actividad antimicrobiana, actividad antioxidante, encapsulación, aceites esenciales, secado por aspersión, encapsulación por emulsión, recubrimiento por lecho fluidizado

ABSTRACT

Essential oils (EO) have several components that possess antimicrobial and antioxidant activity. Encapsulation has proven effectiveness to stabilize these compounds, preventing its degradation by environmental factors. The objective of this review is to gather information of the efficiency and stability of encapsulated essential oils (EEO) by different encapsulation methods. Methods for encapsulation of EO include: spray drying, emulsion technology and fluidized bed coating. The antimicrobial and antioxidant activity have been evaluated in different EEO, directly or indirectly, depending on its components. On the other hand, it has been reported that the efficiency and stability of the encapsulated oils depend on different factors such as the nature of the oil, the encapsulation method, its components, temperature or storage time. However, information on the stability of the components in encapsulated essential oils is scarce.

Keywords: antimicrobial activity, antioxidant activity, essential oils, encapsulation, spray drying, emulsification, fluid bed coating.

* Programa de Doctorado
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Dirección electrónica:
monica.davilarz@udlap.mx
maria.barcenas@udlap.mx

Introducción

Varios investigadores han demostrado que algunos aceites esenciales inhiben el crecimiento de ciertos microorganismos como mohos, levaduras y bacterias. Esta actividad antimicrobiana se les atribuye a los compuestos presentes en ellos, que actúan como agentes antimicrobianos, ya que se insertan en la membrana citoplasmática, seguida de una interrupción de la integridad de la membrana y la fuerza motriz de protones (Gaysinsky, Davidson, Bruce y Weiss, 2005).

Los componentes de los aceites esenciales (AE), con actividad antimicrobiana y/o antioxidantes, pueden estar sujetos a diversos factores del medio ambiente como luz, calor, humedad y oxidación que promueven su degradación; por lo que se han buscado diferentes técnicas para lograr su protección durante el almacenamiento. Esta protección se puede lograr mediante la tecnología de encapsulación, por diferentes métodos como: el secado por aspersión, extrusión, el recubrimiento por lecho fluidizado, la encapsulación por emulsión, entre otros (Parra-Huertas, 2010; Velázquez, 2008).

Es importante que al desarrollar aceites esenciales encapsulados se consideren, por un lado, sus componentes y, por otro, la eficiencia del método de encapsulación, así como la estabilidad de su actividad antioxidante y antimicrobiana. Por ello el propósito de este trabajo es recopilar información sobre la eficiencia y estabilidad de los aceites esenciales encapsulados, mediante diferentes métodos.

Revisión bibliográfica

1. Propiedades de los aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) se definen como mezclas de compuestos orgánicos volátiles obtenidos a partir de plantas. Producen el aroma de muchas de las sustancias vegetales y existen alrededor de 3,000 tipos. Los AE tienen aproximadamente entre 20 y 60 componentes en diferentes concentraciones (Restrepo, Vinasco, Jaramillo y Colmenares 2009).

Los aceites esenciales se encuentran en pequeña concentración en la planta, siendo difíciles de obtener en algunas ocasiones. Normalmente, se encuentran en forma líquida, son incoloros y con cierto carácter volátil; se utilizaron primero como medicamentos en el área farmacéutica y después fue necesaria su industrialización para perfumes y sabores en la industria alimentaria (Ortuño, 2006).

Los aceites esenciales se pueden aislar por destilación por arrastre de vapor a partir de hierbas y especias y se aplican co-

múnmente a los productos alimenticios para añadir un sabor particular, mejorando así el producto. Los aceites esenciales poseen propiedades antimicrobianas que pueden prolongar la vida útil e inocuidad de los alimentos, así como propiedades antioxidantes que pueden sustituir el uso de aditivos sintéticos, debido a la presencia de compuestos altamente activos, tales como fenoles (eugenol y timol) y aldehídos (aldehído cinámico y perilaldehído) (Acevedo, Navarro y Monroy, 2013; Loeffler, Beiser, Suriyarak, Gibis y Weiss, 2014; Olivero-Verbel, González-Cervera, Güette-Fernandez, Jaramillo-Colorado, 2010).

1.1. Compuestos con actividad antioxidante

La actividad antioxidante de un aceite esencial está relacionada con la cantidad de compuestos fenólicos presentes en él. Los polifenoles son compuestos con ciertas propiedades antioxidantes como: estabilización de radicales libres, inhibición de enzimas hidrolíticas y oxidativas, y acción antiinflamatoria (Miguel, 2010). Los aceites esenciales muestran una actividad antioxidante que depende en gran medida de su estabilidad durante el almacenamiento, de la velocidad de oxidación de ciertos componentes, así como las concentraciones y proporción de los componentes más activos.

Moghaddam, Miran, Pirbalouti, Mehdizadeh y Ghaderi (2015) investigaron las propiedades antioxidantes en el aceite esencial (AE) de comino en cuatro etapas de madurez y un antioxidante sintético: butilhidroxitolueno (BHT). Los resultados indicaron que las cantidades de α -pineno, β -pineno, α -felandreno, α -terpineno, y γ -terpineno disminuyeron, mientras que los niveles de p-cimeno, α -terpineol, aldehído comino, y safranal aumentaron durante el proceso de maduración, ya que la capacidad antioxidante de los aceites esenciales de comino inmaduro, intermedio, prematuro y maduro fue de 13.59, 5.61, 7.91 y 9.43 mg Trolox/mL de AE, respectivamente. Además, el aceite esencial mostró menor actividad antioxidante que el BHT (0.50 mg Trolox /mL de BHT). Por otro lado, Arango, Pantoja, Santacruz y Hurtado (2012), también compararon la actividad antioxidante del aceite esencial de orégano (AEO) y un antioxidante sintético (BHT) medida como capacidad de estabilización de radicales libres, los resultados mostraron que la actividad antioxidante del aceite esencial de orégano fue de 0.35 mg Trolox/mL de AEO y la del antioxidante sintético fue de 0.62 mg Trolox/mL de BHT, por lo que a valores menores indica mayor capacidad antioxidante, es decir, el AEO presentó mayor actividad antioxidante, lo que se atribuye a los compuestos fenólicos presentes en él, siendo sus compuestos principa-

les: timol (73%), p-cimeno (10.5%), γ-terpineno (2.9%) y mirceno (3.1%) (Miguel, 2010). De igual forma, el componente principal del aceite esencial de tomillo (AET) es el timol (67.5%), otros compuestos importantes son: carvacrol, geraniol, α-terpineol, linalool y trans-4-ol/terpinen-4-ol. Se estudió la actividad antioxidante del aceite esencial de tomillo de tres diferentes lugares de Italia (Frigento, Salerno y Francesca), utilizando el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil como reactivo. Se reportó que el tomillo procedente de Frigento, Salerno y Francesca tuvo una capacidad antioxidante con valores de 0.064, 0.028, 0.058 mg de Trolox / mL de AET, respectivamente (Mancini *et al.*, 2015).

La actividad antioxidante en aceites esenciales puede evaluarse por medio de la inhibición de la auto-oxidación del aldehído a ácido carboxílico. El aceite esencial de cilantro inhibió casi completamente la oxidación durante 60 días de almacenamiento y fue similar al aceite esencial de limón, sin embargo, la velocidad de oxidación fue menor un 7%, que con la presencia del aceite esencial de cilantro; esto se debe a que el aceite esencial de cilantro utilizado sólo contenía 2% de γ-terpineno, mientras que el contenido de este terpeno en el aceite esencial de limón fue 12.5% (Misharina y Samusenko, 2008).

1.2. Compuestos con actividad antimicrobiana

Los aceites esenciales poseen propiedades antimicrobianas, las cuales han demostrado eficiencia de sus principales componentes contra diversos microorganismos, por lo cual la industria alimentaria, en los últimos años los ha comenzado a utilizar como antimicrobianos naturales (Faleiro *et al.*, 2005). En la Tabla I se presentan algunos de los aceites esenciales más utilizados en la industria de alimentos. Se observan los componentes mayoritarios presentes en cada uno, a los cuales se les atribuye actividad antimicrobiana.

Uno de los aceites esenciales en los que se ha reportado propiedad antimicrobiana es el de orégano (*Origanum vulgare* L.). Los compuestos fenólicos presentes en él son: el timol, γ-terpineno y p-cimeno (D'Antuono, Galleti y Bocchini, 2000). Asimismo, los componentes mayoritarios del aceite esencial de tomillo (*Thymbra capitata* L.) son: el carvacrol, timol, γ-terpineno y p-cimeno. Estos dos aceites esenciales se evaluaron en cepas de *Listeria monocytogenes* para identificar la actividad antimicrobiana contra esta bacteria, encontrando que la concentración mínima inhibitoria del AE de tomillo fue de 0.05-0.20 μL AE/mL de caldo triptica-seína de soya y la del AE de orégano fue 0.05-0.35 μL AE/mL de caldo soya tripticaseína, esto se atribuye a la com-

Tabla I. Componentes mayoritarios con actividad antimicrobiana de algunos aceites esenciales

Aceite esencial (AE)	Nombre científico	Componentes mayoritarios	% aproximado
Cilantro	<i>Coriandum sativum</i>	Linalol	70
Canela	<i>Cinnamomum zeylandicum</i>	Ácido cinámico	5
		Eugenol	75-85
Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Timol	33
		p-cimeno	52
		γ-terpineno	26
		α-pineno	11
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Bornilo acetato	0-17
		Alcanfor	2-14
		1,8-cineol	3-89
		Eugenol	75-85
		Limoneno	3-7
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugenilo acetato	8-15
Tomillo	<i>Thymbra capitata</i> L.	Carvacrol	11-59
		Timol	10-64
		p-cimeno	2-31
		γ-terpineno	10-56

Adaptada de: Burt, 2004; Faleiro *et al.*, 2005; Narvaéz, 2006; Romeu, Botta-Ferret y Díaz-Finalé, 2007.

posición química de cada aceite, ya que el carvacrol era el 59% de los componentes del AE de tomillo, mientras que el AE orégano estaba compuesto en un 33% timol, 26% γ -terpineno y 11% p -cimenol (Faleiro *et al.*, 2005). El aceite esencial de tomillo tiene una actividad inhibitoria eficaz, en algunos estudios se ha reportado que posee actividad inhibitoria en distintas cepas bacterianas (Mancini *et al.*, 2015).

De igual forma, Bozin, Mimica-Dukic, Samojlik y Jovin (2007) estudiaron la actividad antibacteriana y antifúngica de dos aceites esenciales, romero y salvia, en diferentes microorganismos, y reportaron que el AE de romero tenía 38 compuestos químicos de los cuales sus componentes principales son el alcanfor, α -pineno, Z-linalol óxido y borneol. La concentración mínima inhibitoria del AE de salvia en *Candida albicans* fue 0.2 mg AE/mL de caldo extracto de malta, mientras que en el AE de romero fue de 0.032 mg AE/mL de caldo extracto de malta, lo cual demuestra mayor efecto antimicrobiano de sus componentes.

El aceite esencial de canela es otro aceite que posee propiedades antimicrobianas. Se ha reportado que sus principales componentes son el eugenol y el ácido cinámico, los cuales actúan como agentes antimicrobianos. Manso, Nerín y Gómez-Lus (2011) reportaron que este aceite es un antimicrobiano potente, ya que la concentración mínima inhibitoria del AE de canela para inhibir *Aspergillus flavus* es de 100 ppm mientras que la del aceite esencial de orégano es de 400 ppm, esto se debe a la composición química de cada uno.

2. Métodos de encapsulación

La encapsulación ha sido definida como la tecnología mediante la cual se logra retener a los compuestos activos dentro de una matriz polimérica. Esta técnica crea un microambiente en la cápsula capaz de controlar las interacciones entre el interior y el exterior. Los propósitos de aplicar una técnica de encapsulación en la industria de alimentos son: 1) proteger el compuesto activo de la degradación producida por el ambiente (calor, aire, luz, humedad, etcétera), 2) liberar de manera controlada el compuesto activo desde la matriz encapsulante bajo condiciones específicas (pH, temperatura, etcétera), 3) modificar las características físicas del material original y hacer más fácil su manipulación, por ejemplo, reducir la higroscopicidad, modificar su densidad, distribuir el material uniformemente en una muestra, convertir materiales líquidos en polvo, entre otros, 4) enmascarar sabores desagradables y 5) separar componentes con el fin de que éstos no reaccionen (López, 2012).

De acuerdo a Sandoval-Aldana, Rodríguez-Sandoval y Ayala-Aponte (2004), existen diferentes métodos de encapsu-

lación y la selección de alguno dependerá de los costos, tamaño de partícula, propiedades físicas y químicas de los materiales, aplicación y mecanismo de liberación deseado. En la industria de alimentos, los métodos con mayor aplicación son: secado por aspersión, liofilización, recubrimiento por lecho fluidizado, extrusión y encapsulación por emulsión. En el caso de los aceites esenciales, la encapsulación es una tecnología utilizada en la industria de alimentos para prevenir su volatilización y extender la vida útil de algunos compuestos químicos presentes (Nedovic, Kalusevic, Manojlovic, Levic y Bugarski, 2011; Parra-Huertas, 2010).

2.1. Encapsulación por emulsión

La encapsulación por emulsión es una técnica en la que dos líquidos que son inmiscibles se mezclan íntimamente. Un líquido (fase discontinua o dispersa) se dispersa en forma de pequeñas gotas o glóbulos en el otro (fase continua o dispersante). En la mayoría de las emulsiones los dos líquidos involucrados son el agua y el aceite. La fase acuosa puede consistir en soluciones de sales, azúcares, colorantes y materiales coloidales hidrofílicos. La fase oleosa puede consistir en mezclas de aceites esenciales, hidrocarburos, ceras, resinas y en general de materiales hidrofóbicos. Para formar una emulsión estable y mejorar su formación es necesario adicionar un agente emulsionante y aplicar energía mecánica por la acción de dispositivos como agitador de cizallamiento, homogeneizador por ultrasonido, homogeneizador a alta presión o membranas. Por otro lado, se pueden formar dos tipos de emulsiones: a) si el aceite se dispersa con el agua es una emulsión de aceite en agua, y b) si el agua es la fase dispersa se tiene una emulsión de agua en aceite. Además, las emulsiones son sistemas portadores potenciales de diferentes componentes bioactivos, debido a su alta estabilidad cinética, por su pequeño tamaño de gota (diámetro <100 nm).

Algunas aplicaciones de la encapsulación por emulsión son: aceites esenciales, células vivas probióticas, perfumes, fertilizantes, lípidos, sabores volátiles, vitaminas, entre otros (Sánchez *et al.*, 2001; Pimentel-González, Campos-Montiel, Lobato-Calleros, Pedroza-Islas y Vernon-Carter, 2009; Lupo-Pasin, González-Azón y Maestro-Garriga, 2012; Bringas, Beldarraín y Pino, 2013; Preedy, 2016).

Las emulsiones de aceite en agua (o/w, por sus siglas en inglés) que funcionan como portadores de aceites esenciales encapsulados han demostrado una alta actividad antimicrobiana. En un estudio realizado por Loeffler *et al.* (2014), las emulsiones de aceite en agua formuladas con cinamaldehído, perilaldehído y citral demostraron tener una alta actividad antimicrobiana

frente a levaduras de deterioro en sistemas modelo. La eficiencia antimicrobiana de estos componentes de aceites esenciales podría aumentarse si estos se combinan, lo cual daría lugar a posibles interacciones sinérgicas.

2.2. Secado por aspersión

El secado por aspersión es el método más común utilizado en las industrias alimentarias para convertir un líquido a un producto en polvo, se ha utilizado para deshidratar alimentos ricos en azúcares, productos de frutas, productos lácteos, entre otros. Sin embargo, esta técnica se emplea, principalmente, para encapsular colorantes, saborizantes, probióticos, vitaminas, minerales, aceites esenciales, entre otros. El material que se produce por este método se recupera en forma de polvo dividido finamente, comprendiendo formas bastantes uniformes esféricas o en partes esféricas en un rango estrecho de tamaños de partícula con propiedades físicas y características químicas específicas (Expósito, Bringas y Pino, 2013). Además, existen diferentes ventajas de este método: protección a la oxidación y retención de sustancias bioactivas o compuestos volátiles durante el almacenamiento. Sin embargo, se deben controlar ciertos parámetros durante el proceso como: contenido de sólidos del producto, peso molecular, presión de vapor y concentración de los compuestos activos, viscosidad del material de alimentación, temperatura de entrada y salida del aire de suministro, tamaño de partícula, y el equipo de secado (Adamiec y Kalemba, 2006; Bringas-Lantigua, Valdés y Pino, 2012; Mahdi-Jafari, Assadpoor, He y Bhandari, 2008; Singh y Dixit, 2014).

Por otra parte, la encapsulación mediante secado por aspersión para aceites esenciales, consiste en mezclar el aceite con una solución de encapsulantes o materiales formadores de pared como almidón, maltodextrinas, jarabe de maíz, carboximetilcelulosa, goma arábiga, mezquite, suero de leche, etcétera, para que posteriormente sean atomizados en el equipo obteniendo partículas de tamaño menor a 100 μm , ya que de un fluido inicial se logra un material sólido, el cual se puede almacenar por largos periodos al ser un producto con alta estabilidad a factores ambientales como calor, luz, etcétera (Aguilar, 2007).

2.3. Recubrimiento por lecho fluidizado

El recubrimiento por lecho fluidizado es una técnica utilizada en los procesos de secado por aire, que representa una alternativa al método de secado por aspersión, en la que se aplica un revestimiento a las partículas de polvo en un proceso continuo o por lotes. En este método se coloca un recipiente cilíndrico abierto a la superficie, el cual es llenado con parti-

culas de sólidos, en el cual el fluido (generalmente aire) es inyectado verticalmente a través de un orificio en la base del recipiente. Las partículas de polvo se encuentran suspendidas por una corriente de aire a una temperatura específica de modo que se consigue secar de forma rápida, homogénea y controlada al producto alimenticio, y se cubren gradualmente con un material de revestimiento. En general, el material de recubrimiento se aplica del 5-50% del volumen de muestra que se va a secar, en función del tamaño de las partículas del material de núcleo y la aplicación del encapsulado (De la Fuente, Rodríguez, Riera, Gallego y Mulet, 2004; Velázquez-Contreras, Vital-Jácome, Osorio-Revilla y Gallardo-Velázquez, 2008).

El material de revestimiento debe tener una viscosidad aceptable para permitir el bombeo y fluido del aire, debe ser térmicamente estable y debe ser capaz de formar una película sobre una superficie de la partícula. Además, puede ser una solución acuosa de derivados de celulosa, dextrinas, proteínas, gomas y/o derivados de almidón. Después se controla la evaporación de su contenido de agua por muchos factores tales como: la velocidad del aire, el contenido de agua de la solución de revestimiento, la dirección del flujo de aire, la humedad de la entrada de aire en la cámara, la temperatura de la solución de revestimiento y el material en la cámara (Zuidam y Nedovic, 2009).

La técnica de lecho fluidizado se usa comúnmente en la industria farmacéutica para la granulación de los ingredientes activos, ya que se puede controlar o modificar la liberación del fármaco con una película (Spray Systems Corporation, 2016). Recientemente, esta técnica se comenzó a aplicar en algunos aceites esenciales como naranja, menta, eucalipto, entre otros, para poder comparar la eficiencia y estabilidad de la encapsulación con respecto a otros métodos (Fendoung, Elmafadi, Ngassoum y Poncelet, 2007; Srivastava y Mishra, 2010; Velázquez, 2008).

Existen pocos estudios de encapsulación de aceites esenciales por lecho fluidizado, sin embargo, es una técnica que se está comenzando a utilizar como alternativa al secado por aspersión. La encapsulación del proceso consiste en pulverizar una solución de recubrimiento en un lecho fluidizado de partículas sólidas, en el cual la solución penetra en forma ascendente a un lecho de partículas produciendo con esto una fuente de las mismas en la parte superior del lecho por medio de una columna de aire caliente o frío dentro de una cámara de lecho fluidizado a una temperatura y humedad controlada (Guignon, Duquenoy y Dumoulin, 2002; Ramírez, 2006; Velázquez, 2008).

3. Aceites esenciales encapsulados

Los aceites esenciales son encapsulados con la finalidad de prevenir la volatilización, la oxidación y la interacción química de algunos de sus componentes, por medio de una capa protectora de materiales de revestimiento, donde se utilizan diversos métodos (Bringas *et al.*, 2012a).

3.1. Eficiencia de la encapsulación

La eficiencia de encapsulación (EE) se define como la relación entre la masa inicial de aceite esencial a encapsular y su masa en el producto final (Fendoung *et al.*, 2007).

El aceite esencial de naranja ha sido comparado en cuanto a su eficiencia de encapsulación de los compuestos volátiles, por dos técnicas de encapsulación, secado por aspersión y recubrimiento por lecho fluidizado. Algunos estudios han mostrado que la eficiencia de la encapsulación del aceite esencial de naranja es más eficiente con el método de recubrimiento por lecho fluidizado, respecto al secado por aspersión (Velázquez *et al.*, 2008; Velázquez-Contreras, Osorio-Revilla y Gallardo-Velázquez, 2014). Velázquez *et al.* (2014) observaron que el 94% del aceite esencial de naranja fue encapsulado con el recubrimiento por lecho fluidizado, en comparación de un 70% de EE por el otro método, concluyendo que la formación de partículas con paredes más gruesas de encapsulación proporciona una mejor protección del aceite esencial de naranja que en el secado por aspersión.

Por otra parte, Hernández (2011) realizó un estudio donde evaluó la eficiencia de retención en la encapsulación del aceite esencial de clavo por medio del método de secado por aspersión, en el cual reporta un valor del 92.79% de EE, a una concentración de 25% de aceite esencial.

Asimismo, la EE se evaluó para el aceite esencial de eucalipto encapsulado con goma arábiga por el método de lecho fluidizado. Los resultados mostraron altos porcentajes de EE: 92-98% en un rango de temperatura de 40-50°C con recubrimiento de goma arábiga, presentando tamaños de partículas con diámetros entre 142-144 μm (Fendoung *et al.*, 2007).

Por otra parte, Bringas-Lantigua, Expósito-Molina, Reinneccius, López-Hernández y Pino (2011) sugieren que, para llevar a cabo una óptima encapsulación por secado por aspersión del aceite esencial de mandarina, se debe emplear una temperatura de entrada de 200°C y una temperatura de salida de 80°C para obtener la mayor retención de compuestos volátiles del aceite esencial y una eficiencia de encapsulación entre 90-95%.

En la encapsulación por emulsión, se ha evaluado la EE del aceite esencial de tomillo encapsulado con zeína (proteína del maíz). Las emulsiones se centrifugaron a dos velocidades, 503 y 2012 $\times g$ (aceleración de la gravedad) durante distintos tiempos (5, 10 o 15 minutos). Los resultados mostraron que el valor más alto de EE fue de 97.02% a 503 $\times g$ después de 10 minutos de centrifugación. Por otro lado, cuando se aplicó una mayor fuerza de centrifugación (2012 $\times g$), se redujeron los valores de eficiencia a 34.52, 57.48 y 63.03 después de 5, 10 o 15 minutos de centrifugación, respectivamente (Bilenler, Gokbulut, Sislioglu y Karabulut, 2015).

3.2. Estabilidad de los encapsulados

En la encapsulación por el método de emulsión, algunos factores que afectan la estabilidad de dicha emulsión son: la temperatura, el cambio de las propiedades físicas de la fase aceite con el tiempo, la naturaleza y la concentración del aceite emulsionante, y la adición de agentes químicos a la fase acuosa o aceite. Bringas *et al.* (2012a) realizaron un estudio sobre el aceite esencial de naranja encapsulado por emulsión, en el cual evaluaron la influencia de los materiales de soporte sobre la estabilidad de la emulsión del aceite esencial. El análisis de superficie de respuesta mostró que para obtener una emulsión de aceite esencial de naranja estable debía ser la siguiente formulación: 24.30 % de goma arábiga; 8.65 % de maltodextrina, 57.99 % de agua, 8.06 % de aceite esencial de naranja, 0.8 % de ácido cítrico y 0.2 % de benzoato de sodio. El tamaño del glóbulo de aceite fue de 2.7 μm , la viscosidad de 678 mPa·s y la separación del aceite por centrifugación de 0.028 %, lo que indica que la emulsión obtenida posee una alta estabilidad.

El aceite esencial de cilantro ha sido encapsulado y caracterizado utilizando alginato de sodio. Las emulsiones con mayor estabilidad fueron con la siguiente formulación: 2% de alginato, 1.5% tensoactivo, 30% de aceite esencial y 15 minutos en el equipo de ultrasonido para homogenizar la misma. Por medio de esta técnica se han presentado gotas muy pequeñas de 4.85 μm con una EE del 92.85% (Dima, Gitin, Alexe y Dima, 2013).

Asimismo, se estudió la estabilidad en el aceite esencial de clavo (AEC) encapsulado con proteína de suero de leche y maltodextrina por el método de secado por aspersión en función a diferentes tiempos (0, 2, 4, 10, 20 y 30 semanas) y temperaturas (4, 25 y 40°C) de almacenamiento. En el caso de las muestras a 4°C se observó una pérdida del

28% de aceite esencial de clavo encapsulado en las cuatro primeras semanas y después permaneció constante hasta las 30 semanas. Mientras que las muestras a 25°C mostraron una pérdida del 35% en las 4 primeras semanas y las muestras a 40°C desde la primera semana tuvieron una pérdida del 60% del AEC encapsulado. En cuanto al agente estabilizante, las microcápsulas con maltodextrina fueron más estables al presentar mayor grado de hidrólisis que la proteína de suero de leche (Hernández, 2011).

De igual manera, se ha estudiado la estabilidad en el aceite esencial de eucalipto encapsulado en goma arábiga por el método de lecho fluidizado. Las variables fueron con recubrimiento de goma arábiga y AE, y sin recubrimiento con AE. La estabilidad se midió en base al tiempo de liberación del AE. Por lo tanto, los resultados indicaron que la velocidad de liberación con revestimiento a 70°C se reduce, ya que su valor fue de 55.56 ± 1.52 minutos, mientras que sin revestimiento fue de 48.3 ± 1.04 minutos (Fendoung *et al.*, 2007).

3.3. Estabilidad de los componentes antimicrobianos

El aceite esencial de cilantro posee un amplio espectro de inhibición de bacterias, mohos y levaduras. Este aceite fue encapsulado con β -ciclodextrinas mediante el método de secado por aspersión, y se comparó la actividad antimicrobiana de los componentes del aceite esencial puro y encapsulado. Algunos componentes con actividad antimicrobiana de este aceite esencial puro son el limoneno (2.45%), el linalol (64.37%) y el γ -terpineno (6.28%), la cantidad de estos componentes cuando el aceite es encapsulado es de 2.38%, 63.16% y 6.14% respectivamente, por lo que existe diferencia significativa de su composición ($p < 0.05$). En *Aspergillus niger* el diámetro de inhibición fue de 7.5 mm de aceite esencial puro, mientras que en el aceite esencial encapsulado se reportó un valor de 3.1 mm, por lo que una disminución en la cantidad de componentes impactó en la actividad antimicrobiana del aceite esencial de cilantro encapsulado (Dima *et al.*, 2014).

Como se mencionó anteriormente, otros compuestos también reconocidos con actividad antimicrobiana son el timol y carvacrol. Estos se encuentran presentes en altas concentraciones en el aceite esencial de tomillo. Bilenler *et al.* (2015) evaluaron la actividad antimicrobiana del aceite de tomillo puro (AET) y aceite de tomillo encapsulado (AETE), en el cual reportaron que la concentración mínima inhibitoria (CMI) del aceite puro era más baja que la del aceite encapsulado por nanoemulsiones en zeína (proteína del maíz). La CMI del AET en *Bacillus cereus* fue

de 0.062 mg/mL de caldo infusión de cerebro y corazón, y del AETE fue de 0.125 mg/mL de caldo infusión de cerebro y corazón. Asimismo, la CMI de *Escherichia coli* fue de 0.250 y 0.500 mg/mL de caldo infusión cerebro y corazón con AET y AETE, respectivamente. Por lo tanto, se sugirió evaluar la actividad antimicrobiana del aceite esencial de tomillo encapsulado por nanoemulsiones mediante diferentes técnicas de identificación de microorganismos, para que se observe mayor solubilidad de la zeína. Además, se mostró una mayor inhibición de las bacterias en el aceite de tomillo puro, debido a que con el encapsulado el timol y el carvacrol disminuyeron en un 50%.

De igual manera, estudios han reportado que el aceite esencial de eucalipto (AEE) posee componentes con actividad antimicrobiana, de los cuales los mayoritarios son α -pineno (2.82%), cineol (79.66%), γ -terpineno (4.62%) y α -terpineno (1.42%) (Yañez-Rueda y Cuadro-Mogollón, 2012). En el estudio realizado por Fendoung *et al.*, (2007) del aceite esencial de eucalipto encapsulado por recubrimiento de lecho fluidizado con goma arábiga, se reportó un incremento en las cantidades de los compuestos presentes en el AEE de 9.70%, 85.82%, 5.17%, 1.66% en α -pineno, cineol, γ -terpineno y α -terpineno, respectivamente, lo cual demuestra que el AEE tiene mayor inhibición en microorganismos al presentar mayores valores en sus compuestos.

3.4. Estabilidad de los componentes antioxidantes

El aceite esencial de lima y limón se caracteriza por tener un alto contenido de compuestos terpénicos que lo hace susceptible a la oxidación. Esta oxidación se ve influenciada por la temperatura, la radiación UV y metales como catalizadores, ocasionando cambios que afectan el aroma y el sabor durante su almacenamiento (Bringas, Pino y Quijano, 2012b).

La capacidad antioxidante del aceite esencial de tomillo encapsulado (AETE) en zeína (proteína del maíz) por encapsulación por emulsión se ha evaluado con base en sus dos compuestos principales. Los resultados mostraron que el timol posee más capacidad antioxidante, debido a que con 0.1 mg de timol /mL de AETE se presentó más del 50% de inhibición de DPPH y con 0.03 mg de carvacrol/mL de AETE se obtuvo un 50% de inhibición de DPPH, esto se debe posiblemente al mayor obstáculo estérico del grupo fenólico presente en el timol (Wu, Luo y Wang, 2012).

El aceite esencial de lima encapsulado en goma arábiga y maltodextrina con el método de secado por aspersión se ha estudiado en cuanto a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento. Se observó que las muestras del acei-

te esencial de lima microencapsulado, no mostraron pérdidas significativas de sus componentes mayoritarios en un almacenamiento a 4°C durante tres y seis meses, el limoneno se mantuvo entre 47.8-48.2%, el α -pineno 2.6-2.8%, el γ -terpineno 3.7-4.5%, el β -pineno 10.6-10.8% y el terpineno se mantuvo en 2.2%. Por otra parte, a una temperatura de almacenamiento de 50°C por 15 días se presentó un deterioro acelerado, ya que se observó una disminución en los siguientes componentes: limoneno (38.8%), γ -terpineno (2.1%), α -pineno (2-2.2%), β -pineno (10-10.3%) y terpinoleno (1.6-1.8%). Estas condiciones de almacenamiento producen cambios sensoriales que afectan la calidad de producto microencapsulado. Por otro lado, la presencia de oxígeno afectó la estabilidad del producto a los 4 y 15 días de almacenado a 50°C (Bringas *et al.*, 2012b).

En el aceite esencial de naranja (AEN) también está presente el limoneno al cual se le atribuye su actividad antioxidante. Beristain, Azuara y Vernon-Carter (2002) encapsularon este aceite utilizando goma de mezquite como material de barrera por el método de secado por aspersión y evaluaron la actividad oxidante del limoneno en diferentes tiempos de almacenamiento y distintos valores de actividad de agua (a_w) a 35°C. Reportaron que el producto con una a_w de 0.628 fue el más estable, ya que la oxidación del limoneno se mantuvo en menos de 1 mg/g de AEN desde el día cero hasta los 30 días de almacenamiento, mientras que a una a_w de 0.108 a los 30 días de almacenamiento la oxidación del limoneno fue más rápida siendo mayor a 5 mg/g de AEN. Por lo que la oxidación aumentó conforme la a_w de las cápsulas se redujo. La encapsulación de los aceites esenciales mejora la actividad antioxidante, ya que los protege de la degradación térmica, la evaporación y la oxidación que pueden llegar a sufrir algunos de sus compuestos (Bilenler *et al.*, 2015).

Conclusiones y comentarios finales

De acuerdo a la información recopilada, se puede concluir que los aceites esenciales poseen compuestos con actividad antimicrobiana y actividad antioxidante interesantes para la industria alimentaria. Cada aceite esencial está conformado por diferentes compuestos que les confieren dichas propiedades.

Además, existen distintos métodos de encapsulación de los aceites esenciales, siendo el secado por aspersión el método más común para encapsular este tipo de compuestos. Se encontró que la eficiencia y la estabilidad de los aceites

encapsulados dependen de diferentes factores como: la naturaleza del aceite, el método de encapsulación, la cantidad y el tipo de componentes presentes en cada aceite.

Por otro lado, existe poca información de la estabilidad de los componentes con actividad antimicrobiana y actividad antioxidante de aceites esenciales encapsulados, por lo que se considera un tema actual y amplio para explorar.

Agradecimientos

M. Dávila-Rodríguez agradece a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), por el apoyo y financiamiento para estudiar el Doctorado en Ciencia de Alimentos.

Referencias

- Acevedo, D., Navarro, M., y Monroy. (2013). «Composición química del aceite esencial de hojas de orégano (*Origanum vulgare*)». *Información Tecnológica*, 24 (4), 43-48.
- Adamiec, J. y Kalembe, D. (2006). «Analysis of microencapsulation ability of essential oils during spray drying». *Drying Technology*, 24, 127-132.
- Aguilar, C. (2007). *Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz ceroso por extrusión y el uso de mezcla de almidones modificados con mucílago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado por aspersión* (tesis de licenciatura). México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
- Arango, O., Pantoja, D., Santacruz, L., y Hurtado, A.M. (2012). «Actividad antioxidante de aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides* H.B.K.) del Alto Patia». *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (2), 79-86.
- Beristain, C.I., Azuara, E., y Vernon-Carter, E.J. (2002). «Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material». *Journal of Food Science*, 67 (1), 206-211.
- Bilenler, T., Gokbulut, I., Sislioglu K., y Karabulut, I. (2015). «Antioxidant and antimicrobial properties of thyme essential oil encapsulated in zein particles». *Flavour and Fragrance Journal*, 30, 392-398.
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., y Jovin, E. (2007).

- «Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) essential oils». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (19), 7879-7885.
- Bringas, M., Beldarraín, T. y Pino J. (2013). «Microencapsulación de cepas lácticas». *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23 (3), 68-77.
- Bringas, M., Gutiérrez, S., De Hombre, R., Núñez, M., Rondón, M., y Valdés, D. (2012a). «Influencia de los soportes sobre la estabilidad de una emulsión de aceite esencial de naranja». *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22 (2), 16-21.
- Bringas, M., Pino, J., y Quijano, C. (2012b). «Deterioro oxidativo en el aroma del aceite esencial de lima microencapsulado». *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22 (2), 40-44.
- Bringas-Lantigua, M., Expósito-Molina, I., Reineccius, G.A., López-Hernández, O., y Pino, J.A. (2011). «Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated mandarin oil». *Drying Technology*, 29, 520-526.
- Bringas-Lantigua, M., Valdés, D., y Pino, J.A. (2012). «Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated lime essential oil». *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 1511-1517.
- Burt, S. (2004). «Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods». *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-253.
- D'Antuono, L.F. Galletti, G.C., y Bocchini, P. (2000). «Variability of essential oil content and composition of *Origanum vulgare* L». *Annals of Botany*, 86 (3), 471-478.
- De la Fuente, S., Rodríguez, G., Riera, E., Gallego, J.A., y Mulet, A. (2004). *Desarrollo de un sistema de secado mediante fluido asistido por ultrasonidos de potencia* (tesis de maestría). España: Universidad Politécnica de Valencia
- Dima, C., Cotarlet, M., Tiberius, B. Bahrim, G., Alexe, P., y Dima, S. (2014). «Encapsulation of coriander essential oil in β -cyclodextrin: antioxidant and antimicrobial properties evaluation». *Romanian Biotechnology Letters*, 19 (2), 9128-9140.
- Dima, C., Gitin, L., Alexe, P., y Dima, S. (2013). «Encapsulation of coriander essential oil in alginate and alginate/chitosan microspheres by emulsification external gelation method». *Inside Food Symposium*. Lovaina, Bélgica: Universidad Duranea de Galati, Facultad de Ciencia en Alimentos e Ingeniería.
- Expósito, I., Bringas, M., y Pino, J. (2013). «Microencapsulación de aceite esencial de mandarina: selección del contenido de aceite esencial». *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23 (1), 45-48.
- Faleiro, L., Miguel, G., Gomes, S., Costa, L., Venancio, F., Teixeira, A., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., y Pedro, L.G. (2005). «Antibacterial and antioxidant activities of essential oils isolated from *Thymbra capitata* L. and *Origanum vulgare* L». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 8162-8168.
- Fendoung, G.H.D., Elmafadi, S., Ngassoum, M.B., y Poncellet, D. (2007). «Encapsulation of essential oil of *Eucalyptus globulus* by adsorption and coating in fluidized bed». Cartel. *XV International Workshop on Bioencapsulation*, Viena, Austria: Universidad de Ngaoundéré.
- Gaysinsky, S., Davidson, M., Bruce, B., y Weiss, J. (2005). «Stability and antimicrobial efficiency of eugenol encapsulated in surfactant micelles as affected by temperature and pH». *Journal of Food Protection*, 68 (7), 1359-1366.
- Guignon, B., Duquenoy, A., y Dumoulin, E.D. (2002). «Fluid bed encapsulation of particles: principles and practice». *Drying Technology*, 20 (2), 419-447.
- Hernández, P. (2011). *Encapsulación de aceite esencial de clavo para su aplicación en la industria alimentaria* (tesis de licenciatura). España: Universidad Católica San Antonio.
- Loeffler, M., Beiser, S., Suriyarak, S., Gibis, M., y Weiss, J. (2014). «Antimicrobial efficacy of emulsified oil components against weak acid-adapted spoilage yeasts in clear and cloudy apple juice». *Journal of Food Protection*, 77 (8), 1325-1335.
- López, A. (2012). *Desarrollo de sistemas de encapsulación de compuestos para la protección de extractos antioxidantes de yerba mate* (tesis de maestría). Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Lupo-Pasin, B., González-Azón, C., y Maestro-Garriga, A. (2012). «Microencapsulación con alginato en alimentos: técnicas y aplicaciones». *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3 (1), 130-151.
- Mahdi-Jafari, S., Assadpoor, E., He, Y., y Bhandari, B. (2008). «Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying». *Drying Technology*, 26, 816-835.
- Mancini, E., Senatore, F., Del Monte, D., De Martino, L., Grulova, D., Scognamiglio, M., Snoussi, M., y De Feo, V. (2015). «Studies on chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of five *Thymus*

- vulgaris* essential oils». *Journal of Molecules*, 20, 12016-12028.
- Manso, S., Nerín, C., y Gómez-Lus, R. (2011). «Antifungal activity of essential oil of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*), oregano (*Origanum vulgare*) and lauramide argine ethyl ester (LAE) against the mold *Aspergillus flavus* CECT 2949». *Italian Journal of Food Science*, 151-156.
- Miguel, M.G. (2010). «Antioxidant activity of medicinal and aromatic plants». *Journal of Flavour and Fragrance*, 25, 291-312.
- Misharina, T.A., y Samusenko, A.L. (2008). «Antioxidant properties of essential oils from lemon, grapefruit, coriander, clove and their mixtures». *Applied Biochemistry and Microbiology*, 44 (4), 438-442.
- Moghaddam, M., Miran, S.N.K., Pirbalouti, A.G., Mehdizadeh, L., y Ghaderi, Y. (2015). «Variation in essential oil composition and antioxidant activity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) fruits during stages of maturity». *Industrial Crops and Products*, 70 (7), 163-169.
- Narvaéz, S. (2006). *Evaluación del efecto antifúngico in vitro del aceite esencial de hoja de canela puro y microencapsulado* (tesis de licenciatura). Honduras: Universidad Zamorano.
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., y Bugarski, B. (2011). «An overview of encapsulation technologies for food applications». *Procedia Food Science*, 1, 1806-1815.
- Olivero-Verbel, J., González-Cervera, T., Güette-Fernández, J., y Jaramillo-Colorado, E.S. (2010). «Chemical composition and antioxidant activity of essential oils from Colombian plants». *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20 (4), 568-574.
- Ortuño, M. F. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes*. España: Ediciones AIYANA.
- Parra-Huertas, R. A. (2010). «Microencapsulación de alimentos». *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63 (2), 5669-5684.
- Pimentel-González, D.J., Campos-Montiel, R.G., Lobato-Calleros, C., Pedroza-Islas, R., y Vernon-Carter, E.J. (2009). «Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* in double emulsions formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions». *Food Research International*, 42 (2), 292-297.
- Preedy, V. (2016). *Essential oils in food preservation, flavor and safety*. EE.UU.: Elsevier.
- Ramírez, L. D. (2006). *Propuesta de un método de microencapsulación del aceite esencial de menta para aplicación en la industria alimenticia* (tesis de licenciatura). Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Restrepo, J., Vinasco, L.E., Jaramillo, L.P., y Colmenares, A.J. (2009). «Encapsulamiento de los aceites esenciales de citral (*Cymbopogon citratus*) en β -ciclodextrinas usando CO₂ supercrítico». *Ingeniería y Competitividad*, 11 (2), 9-19.
- Romeu, C.R., Botta-Ferret, E., y Díaz-Finalé, Y. (2007). «Caracterización fitoquímica del aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y evaluación *in vitro* de su actividad acaricida». *Fitosanidad*, 11 (2), 75-78.
- Sánchez, M.C., Berjano, M., Guerrero, A., y Gallegos, C. (2001). «Evolución de la cinética de encapsulación por emulsión y de las propiedades reológicas de emulsiones aceite vegetal en agua preparadas con dos tipos de agitadores». *Grasas y Aceites*, 52 (4), 222-228.
- Sandoval-Aldana, A., Rodríguez-Sandoval, E., y Ayalá-Aponte, A. (2004). «Encapsulación de aditivos para la industria de alimentos». *Revista de Ingeniería y Competitividad*, 5 (2), 73-83.
- Singh, S., y Dixit, D. (2014). «A review on spray drying: emerging technology in food industry». *International Journal of Applied Engineering and Technology*, 4 (1), 1-8.
- Spray Systems Corporation. (14 de marzo de 2016). *Fluid bed processing*. Obtenido de http://www.spray.com/pharmacatalog/pdf/c12_fluid_bed_processing.pdf
- Srivastava, S., y Mishra, G. (2010). «Fluid bed technology: overview and parameters for process selection». *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 2 (4), 236-246.
- Velázquez, C. (2008). *Encapsulación de aceite esencial de naranja en un secador de lecho por fuente fluidizado con sólidos inertes* (tesis de maestría). México: Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos. Instituto Politécnico Nacional.
- Velázquez-Contreras, C., Osorio-Revilla, G., y Gallardo-Velázquez, T. (2014). «Encapsulation of orange essential oil in a spout-fluid bed dryer with a draft tube on a bed of inert solids». *Drying Technology*, 32, 1718-1726.
- Velázquez-Contreras, C., Vital-Jácome, M.A., Osorio-Revilla, G., y Gallardo-Velázquez, T. (2008). «Aceite esencial de naranja en un secador de lecho por fuente

fluidizado con sólidos inertes y secado por aspersión». *Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica*. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Departamento de Ingeniería Bioquímica y Biofísica. Instituto Politécnico Nacional, México.

- Wu, Y., Luo, Y., y Wang, Q. (2012). «Antioxidant and antimicrobial properties of essential oils encapsulated in zein nanoparticles prepared by liquid-liquid dispersion method». *Food Science and Technology*, 48 (2), 283-290.
- Yáñez-Rueda, X., y Cuadro-Mogollón, O.F. (2012). «Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de las especies *Eucalyptus gloubus* y *E. camaldulensis* de tres zonas de Pamplona, Colombia». *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10 (1), 52-61.
- Zuidam, N., y Nedovic, V. (2009). *Encapsulation Technology for active food ingredients and food processing*. EE.UU.: Springer.

Aplicación en alimentos y sistemas modelo de aceites esenciales con potencial antimicrobiano

Ana Cecilia Lorenzo-Leal y Aurelio López-Malo

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, CP. 72810, San Andrés Cholula, Puebla, México.

RESUMEN

Los conservadores sintetizados químicamente se han empleado durante muchos años en la industria de alimentos. Sin embargo, ha aumentado la demanda de productos más naturales por parte de los consumidores, siendo una alternativa los aceites esenciales (AE) obtenidos de hierbas y especias. El objetivo de este trabajo fue recopilar información sobre la aplicación de los AE con propiedades antimicrobianas en alimentos, comparándola con estudios en los que se aplican éstos en sistemas modelo. Como resultado de esta comparación, se encontró que el efecto de un mismo AE sobre un mismo microorganismo, en muchos casos es igual, independientemente de si la prueba se realiza en un sistema modelo o en un alimento; sin embargo, en otros casos el efecto es diferente, algunas veces menor y otras, mayor. Esto puede deberse a una serie de factores que hacen que los AE tengan diferente efecto antimicrobiano, dependiendo de las condiciones y del sistema en el que sean probados.

Palabras clave: aceites esenciales, actividad antimicrobiana, aplicación en sistemas modelo y aplicación en alimentos.

ABSTRACT

Chemically synthesized preservatives have been used for many years in the food industry. However, the demand for more natural products by consumers has increased, being an alternative, essential oils (EO's) obtained from herbs and spices. The aim of this study is to gather information of the implementation of EO's with antimicrobial properties in food, compared with its application in culture mediums. As a result of this comparison, it was found that the effect of the same EO's on the same microorganism in many cases is the same, whether the implementation is performed in a culture medium or in food; however, in many other cases the effect is different, either higher or lower. There are several studies on the application of EO's in culture medium, where antimicrobial activity against different microbial strains is shown. This may be due to several factors that influence the antimicrobial effect of EO, depending on the conditions and the system in which it is tested.

Key words: essential oils, antimicrobial activity, model systems applications and in food systems applications.

* Programa de Doctorado
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Dirección electrónica:
ana.lorenzoll@udlap.mx
maria.barcenas@udlap.mx

Introducción

Los agentes antimicrobianos sintetizados químicamente se han empleado desde hace mucho tiempo como conservadores en la industria de alimentos para alargar la vida útil de los productos. Sin embargo, en los últimos años ha aumentado la demanda de productos más naturales por parte de los consumidores, por lo que surge la necesidad de encontrar diferentes fuentes de antimicrobianos naturales. Una alternativa de estos antimicrobianos naturales pueden ser los extractos y aceites esenciales obtenidos de hierbas y especias, ya que aparte de conferir sabor y aroma, pueden ser efectivos contra patógenos que atacan a plantas y humanos (Rosas-Gallo y López-Malo, 2011; Gálvez, Grande Burgos, Lucas Lopez y Perez Pulido, 2014). Estos antimicrobianos han sido reconocidos y empleados a lo largo del tiempo por diferentes culturas como la egipcia, china e hindú, y su estudio se ha incrementado desde 1990 para su uso en alimentos (Tajkarimi, Ibrahim y Cliver, 2010).

Tajkarimi *et al.*, (2010) mencionan que existen más de 1340 plantas con propiedades antimicrobianas, de las que se han identificado más de 30000 componentes activos. Entre estos componentes se encuentran saponinas, glucósidos, taninos, alcaloides y ácidos orgánicos, y su principal función es la protección de las plantas contra microorganismos presentes en el medio ambiente. Actualmente, los antimicrobianos naturales son empleados en la industria de alimentos, farmacéutica, cosméticos y fragancias (Oussalah *et al.*, 2007).

Los antimicrobianos naturales pueden ser clasificados en tres grupos de acuerdo a su origen: animal, vegetal o microbiano. En el primer grupo se encuentran algunas proteínas, enzimas (lipasas y proteasas) y polisacáridos (quitosano). Los compuestos fenólicos obtenidos de plantas conforman el segundo grupo; y el tercer grupo incluye compuestos producidos por microorganismos (bacteriocinas) (Dorman y Deans, 2000; Lambert, Skandais, Coote y Nychas, 2001; Gálvez *et al.*, 2014).

El estudio del espectro de inhibición microbiana de los aceites esenciales ha sido realizado ampliamente en sistemas modelo, por lo que sería interesante revisar la aplicación de dichos estudios en alimentos. Dicho lo cual, el objetivo de este trabajo es recopilar información sobre el uso de los aceites esenciales con propiedades antimicrobianas en alimentos, y compararla con estudios en los que éstos se aplican en sistemas modelo.

Revisión bibliográfica

1. Aceites esenciales como antimicrobianos naturales

Los aceites esenciales (AE) son sustancias extraídas de diferentes partes de plantas aromáticas (flores, semillas, hojas, hierbas, frutas, raíces, rizomas, entre otras), y tienen propiedades antivirales, antibacterianas, antimicóticas e insecticidas (Burt, 2004). Los AE contienen diferentes componentes, de los cuales, los principales representan el 85-95% del volumen total, mientras que los demás son conocidos como componentes minoritarios. Los componentes minoritarios tienen un papel importante en la actividad biológica de los AE, pudiendo, en algunos casos, tener un efecto sinérgico con otros de los compuestos; mientras que, en otros casos, todos los componentes pueden ser los responsables de la actividad antimicrobiana (Adelakun, Oyelade y Olanipekun, 2016). Algunos de los principales componentes en diferentes especias y sus correspondientes aceites esenciales son: eugenol en el clavo, timol en el tomillo y orégano, carvacrol en el orégano, vainillina en la vainilla, alicina en el ajo, aldehído cinámico en la canela, alil isotiocianato en la mostaza, entre otros (López-Malo, Barreto-Valdivieso, Palou y San Martín, 2006).

Existe una gran variedad de fuentes de AE, pero no todos se comportan de la misma manera, ya que presentan variaciones en cuanto a sus propiedades físicas y en la composición de compuestos volátiles, las cuales determinan su actividad antimicrobiana (Olivares-Cruz y López-Malo, 2013; Hamed, Razavi-Rohani, y Gandomi, 2014). Una manera de cuantificar la actividad antimicrobiana de los AE, es por medio de la concentración mínima inhibitoria (CMI), que se define como la mínima concentración necesaria para inhibir el crecimiento visible del organismo de prueba (Gómez-Sánchez y López-Malo, 2009).

Cuando los AE son mezclados, se puede presentar sinergia, antagonismo y/o aditividad, que son conceptos directamente relacionados con las propiedades antimicrobianas. La sinergia ocurre cuando el efecto de las sustancias de los AE combinados es mayor que la suma de los efectos individuales. El antagonismo se presenta cuando el efecto de la mezcla es menor que cuando los AE se aplican de manera individual. La aditividad tiene lugar cuando el efecto de la mezcla es igual a la suma de los efectos individuales. Por lo que la combinación de los AE con otros AE, o con otros aditivos, puede suponer diferentes formas de interacción que son importantes en la industria de alimentos (Olivares-Cruz y López-Malo, 2013).

2. Estudios recientes sobre la aplicación de aceites esenciales en sistemas modelo

Los sistemas modelo, generalmente, son elaborados con base de agares o caldos de cultivo que varían de acuerdo al tipo de microorganismo que se va a estudiar y tratan de simular las condiciones de los alimentos (Olivares-Cruz y López-Malo, 2013). Diversos autores han estudiado la aplicación de aceites esenciales en sistemas modelo, y han demostrado que tienen actividad antimicrobiana contra diferentes cepas microbianas (Burt, 2004; Callaway *et al.*, 2011; Rasool, 2013; Rivera Calo, Crandall, O'Bryan y Ricke, 2015). Algunos estudios más recientes sobre la actividad antimicrobiana de los AE en sistemas modelo se presentan en la tabla I, donde se puede observar que en los últimos años los AE de laurel, jengibre y menta han sido los más estudiados en cuanto a sus propiedades antimicrobianas, y que la base de los sistemas modelo que más aparece es agar papa dextrosa. Entre los microorganismos más estudiados, en relación con la actividad antimicrobiana de los AE, se encuentran *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Rhizoctonia solani* y *Aspergillus niger*.

La efectividad antimicrobiana de los AE de jengibre, laurel y mirto contra la cepa *E. coli* en sistemas modelo elaborados con agar nutritivo, fue evaluada, demostrando que el AE más efectivo fue el de laurel con una CMI de 14 $\mu\text{L/L}$ (Lochan Barman y Kumar Jha 2013 ;Cherrat, Mohammed, García-Gonzalo, Pagán y Laglaouia, 2013). Otros estudios que evalúan la actividad antibacteriana de los AE de clavo, laurel, tomillo, mirto y romero contra la cepa de *L. monocytogenes* en sistemas modelo de agar nutritivo, también demuestran que el AE más efectivo fue el de laurel (con una CMI de 1 $\mu\text{L/L}$); y cuando el sistema modelo era a base de agar de soya tripticasina, el AE con mayor efecto antibacteriano fue el de tomillo (con una CMI de 0.25%) (Mattos De Olivera, Florisvaldo Brugnera y Hilsdorf Piccoli, 2013; Cherrat *et al.*, 2013).

Por otro lado, los AE de alcaravea, comino y menta fueron probados contra *Rhizoctonia solani* en sistemas modelo de agar papa dextrosa y el que mostró mayor actividad antifúngica contra dicha cepa fue el AE de comino (con una CMI de 850 ppm), a diferencia del AE de alcaravea (con una CMI de 1200 ppm) (Lochan Barman y Kumar Jha, 2013; Khaledi, Taheri y Tarighi, 2015). Finalmente, cuando Mejía-Garibay, Palou y López-Malo (2015) y Lochan Barman y Kumar Jha (2013) evaluaron la actividad antifúngica de los AE de mostaza y jengibre contra *Aspergillus niger*, se determinó que ambos AE tenían el mismo efecto de inhibición (CMI 4 $\mu\text{L/L}$).

Un aspecto importante a considerar, es que la mayoría de los AE tienen mayor actividad antibacteriana contra los mi-

croorganismos Gram positivos que contra los Gram negativos, tal y como se puede observar con el AE de mirto (Tabla I), que tiene mayor efecto antimicrobiano contra *L. monocytogenes* (Gram positivo), con una CMI de 4 $\mu\text{L/L}$, que contra *E. coli* (Gram negativo), con una CMI de 56 $\mu\text{L/L}$, en sistemas de agar nutritivo (Cherrat *et al.*, 2013; Zaidi y Dahiya, 2015).

3. Aplicación de aceites esenciales en alimentos

A pesar de que la actividad antimicrobiana de algunos aceites esenciales en sistemas modelo ha sido comprobada, cuando éstos son empleados en alimentos se requiere del 1 al 3% más AE para lograr el mismo efecto, e incluso puede ser más de lo que es aceptado sensorialmente (Rivera Calo *et al.*, 2015). A continuación, se presentan algunos estudios sobre la aplicación de AE en diferentes grupos de alimentos.

3.1. Productos cárnicos

Se han realizado algunos estudios en los que se ha evaluado la efectividad de los AE como antimicrobianos en productos cárnicos, y se ha observado que algunos aceites esenciales presentan mayor actividad antimicrobiana en estos productos, que otros. Por ejemplo, los AE de clavo, orégano y tomillo en concentraciones de 5- 20 $\mu\text{L/g}$, fueron muy efectivos en la inhibición contra cepas de *L. monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* y contra microorganismos deterioradores, cuando fueron aplicados en carne de res y almacenados en atmósferas modificadas; mientras que los AE de mostaza, cilantro, menta y salvia fueron mucho menos efectivos (Marija *et al.*, 2013).

Listeria monocytogenes es una de las bacterias patógenas más estudiadas en alimentos, por lo que diferentes autores han probado la actividad antibacteriana de los AE de clavo, tomillo, canela y romero contra esta bacteria en productos cárnicos (Singha, Singha, Bhunia y Singh, 2003; Hoque, Bari, Juneja y Kawamoto, 2008; Mattos de Oliveira *et al.*, 2013). También se ha probado el uso de AE de clavo y canela en diferentes concentraciones (10% y 5% respectivamente), para inactivar *L. monocytogenes* en carne de pollo (Hoque *et al.*, 2008). Después de un día de exposición con el AE de clavo, las células viables de *L. monocytogenes* se redujeron hasta un nivel indetectable en la carne. Mientras que el AE de canela no presentó resultados tan favorables, ya que no causó una reducción importante en el recuento de *L. monocytogenes* (2 Log UFC/g en un día, sin tener una mayor reducción después de 15 días). De igual manera, Singha *et al.* (2003) estudiaron la eficiencia de diferentes AE (tomillo y clavo) como agentes antimicrobianos contra *L. monocytogenes* en salchichas. Se hicieron estudios en salchichas con diferentes contenidos de grasa (cero grasa,

bajo contenido de grasa y con grasa), donde se observó que el AE de tomillo (en una concentración de 1 mL/L) redujo la población bacteriana en las salchichas con cero y bajas en grasa, pero no en las que tenían grasa. Por su parte, el AE de clavo también presentó actividad antimicrobiana en una concentración de 1 mL/L en todos los tipos de salchichas. Sin embargo, al aumentar la concentración de los AE a 10 mL/L, no se presentó una diferencia importante en la reducción bacteriana, comparada con la obtenida al emplear 1 mL/L de los AE.

Singha *et al.* (2003) observaron que al incrementar el contenido de grasa en salchichas se mostraba un decremento en la actividad antibacteriana del AE de tomillo. Marija *et al.* (2013) también mencionan que en diferentes estudios se ha probado que mientras mayores sean los niveles de grasa o proteínas en la carne y alimentos en general, aparentemente se reduce la actividad antibacteriana de los AE. Se piensa que esto se debe a que los AE se disuelven en la fase lipídica de los alimentos, haciéndolos poco disponibles para actuar sobre las bacterias que se encuentran en la fase acuosa. Por ejemplo, los AE de menta y cilantro no presentaron actividad antibacteriana en productos como paté y jamón, probablemente debido a su alto contenido de grasa (Burt, 2004).

Por otro lado, Skandamis y Nychas (2002) evaluaron diferentes atributos en la carne fresca almacenada a bajas temperaturas (5-15 °C), combinando los efectos de los volátiles del AE de orégano y el empaque en atmósferas modificadas. Se encontró que el producto tuvo una mayor vida de anaquel cuando se emplearon atmósferas modificadas en combinación con AE de orégano, que cuando únicamente se empacó en atmósfera modificada, lo cual fue atribuido a un efecto sinérgico entre los compuestos volátiles del aceite esencial y la atmósfera modificada.

Finalmente, Mattos de Oliveira *et al.* (2013) también evaluaron el control de *L. monocytogenes* al utilizar los AE de tomillo y romero en carne de res cruda, empleando dos métodos. Uno de los métodos consistió en aplicar películas de gelatina comestible formuladas con 2% (v/v) de ambos AE, y el otro en exponer la carne a los vapores de ambos AE en una concentración de 0.74 µL/cm³. Para la aplicación de las películas comestibles, los trozos de carne fueron sumergidos en las soluciones de dichas películas (con diferentes concentraciones de polvo para gelatina, agua destilada estéril, Tween 80 al 25%, AE de tomillo y AE de romero) durante 10 segundos, e inmediatamente después se secaron con aire durante 10 minutos. Para la muestra expuesta a los vapores de los AE, la carne fue cortada y colocada en cajas Petri que contenían un papel filtro (en la tapa) impregnado con los AE. La carne fue inoculada con la

bacteria y, posteriormente, se almacenó a 7 °C, determinando la efectividad de los aceites haciendo un conteo a la hora, a las 48 horas y a las 96 horas. Los autores obtuvieron resultados más efectivos en la carne recubierta con la película comestible de ambos AE, ya que después de 48 horas de almacenamiento hubo una reducción bacteriana entre 1.09 y 1.25 Log UFC/g. El AE de tomillo aplicado en fase vapor resultó ser más efectivo que el AE de romero, a las 96 horas de almacenamiento (causando una reducción bacteriana de 0.40 Log UFC/g).

3.2. Pescados y mariscos

La aplicación de los AE como agentes antimicrobianos en pescados y mariscos aún es escasa. Algunos de estos productos tienen un alto contenido de grasa, al igual que la carne, por lo que también puede verse afectada la actividad antimicrobiana de los AE. En un estudio del AE de orégano, cuando éste se empleó en una concentración de 0.5 µL/g, se observó que fue más efectivo contra *Photobacterium phosphoreum* cuando fue aplicado en filetes de bacalao, que cuando se aplicó en filetes de salmón, debido a que éstos tienen mayor contenido de grasa (Burt, 2004).

Por otro lado, los AE de clavo, comino y menta en concentraciones de 1, 4 o 8 µL/L, fueron probados contra diferentes microorganismos (*Shewanella putrefaciens*, Enterobacteriaceae, *Pseudomonas* y bacterias ácido lácticas) en filetes de rodaballo almacenados a 2 °C durante 20 días. Los tres AE presentaron un efecto inhibitorio contra los microorganismos probados, siendo el más efectivo el AE de menta. Cuando la concentración de AE de menta fue de 4 µL/L o menor, las características de color y textura no se vieron afectadas, pero cuando la concentración fue mayor, dichas características sí fueron afectadas. Se encontró que los filetes control (sin AE) tuvieron una vida útil de 10 días bajo condiciones de refrigeración, mientras que los filetes adicionados con los AE tuvieron una vida útil de 20 días (Cai *et al.*, 2014). Finalmente, los AE de tomillo y romero en diferentes concentraciones, también presentaron propiedades antimicrobianas en filetes de tilapia del Nilo (Albarracín, Alfonso y Sánchez, 2012) y el AE de tomillo en trucha arcoíris fresca, cuando se almacenaron a temperaturas de refrigeración (Angiş y Oğuzhan, 2013).

3.3. Productos lácteos

Los AE también han sido probados como agentes antimicrobianos en productos lácteos. Un ejemplo es el AE de albahaca, el cual demostró tener actividad antibacteriana en un producto lácteo fermentado y adicionado con diferentes cereales, sin inhibir el desarrollo de bacterias ácido lácticas (Kostova *et al.*, 2016).

Tabla I. Estudios recientes sobre la aplicación de aceites esenciales como antimicrobianos en sistemas modelo

Planta de origen del AE	Microorganismos inhibidos	Sistema modelo (CMI reportada)	Referencia
Alcaravea (<i>Bunium persicum</i>)	<i>Rhizoctonia solani</i>	Agar papa dextrosa (1200 ppm)	Khaledi et al., 2015
	<i>Macrophomia phaseolina</i>	Agar papa dextrosa (950 ppm)	
Mostaza negra (<i>Brassica nigra</i>)	<i>Aspergillus niger</i>	Agar papa dextrosa (4 µL/mL)	Mejia-Garibay et al., 2015
	<i>Aspergillus ochraceus</i>	Agar papa dextrosa (2 µL/mL)	
	<i>Penicillium citrinum</i>	Agar papa dextrosa (2 µL/mL)	
Canela (<i>Cinnamomum cassia</i>)	<i>E. coli</i> O26:H11	Agar Luria (0.025%)	Sheng y Zhu, 2014
	<i>E. coli</i> O45:NM		
	<i>E. coli</i> O103:H2		
	<i>E. coli</i> O121:H19		
	<i>E. coli</i> O145:NT		
Canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Agar papa dextrosa (0.15%)	Sefu, Satheesh y Berecha, 2015
	<i>E. coli</i>	Agar Muller Hilton	Rasool, 2013
Clavo (<i>Sygium aromaticus</i>)	<i>Listeria monocytogenes</i>	Agar soya tripticaseína (1%)	Mattos De Olivera et al., 2013
	<i>Rhizoctonia solani</i>	Agar papa dextrosa (NR*)	Khaledi et al., 2015
Comino (<i>Bunium persicum</i>)	<i>Macrophomia phaseolina</i>		
Comino (<i>Cuminum cyminum</i>)	<i>E. coli</i>	Agar Muller Hilton (NR*)	Rasool, 2013
Jengibre (<i>Zingiber officinale</i>)	<i>Bacillus subtilis</i>	Agar nutritivo (12 µg/mL)	Lochan Barman y Kumar Jha, 2013
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Agar nutritivo (2 µg/mL)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	Agar nutritivo (<2 µg/mL)	
	<i>E. coli</i>	Agar nutritivo (3 µg/mL)	
	<i>Klebsiella pneumonia</i>	Agar nutritivo (8 µg/mL)	
	<i>Shigella flexner</i>	Agar nutritivo (20 µg/mL)	
	<i>Candida albicans</i>	Agar Sabouraud (< 2 µg/mL)	
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Agar Sabouraud (3 µg/mL)	
	<i>Aspergillus niger</i>	Agar Sabouraud (4 µg/mL)	
	<i>Penicillium sp</i>	Agar Sabouraud (13 µg/mL)	
	<i>E. coli</i>	Agar Muller Hilton	
	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Agar papa dextrosa (0.025%)	
			Sefu et al., 2015

Tabla I. Estudios recientes sobre la aplicación de aceites esenciales como antimicrobianos en sistemas modelo (continuación)

Planta de origen del AE	Microorganismos inhibidos	Sistema modelo (CMI reportada)	Referencia
Laurel (<i>Laurus nobilis</i>)	<i>Salmonella enterica</i> subsp. <i>enterica</i> serovar Senftenberg	Agar nutritivo (4 µL/L)	Cherrat <i>et al.</i> , 2013
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	Agar nutritivo (4 µL/L)	
	<i>Escherichia coli</i>	Agar nutritivo (14 µL/L)	
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Agar nutritivo (8 µL/L)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	Agar nutritivo (4 µL/L)	
	<i>Enterococcus faecium</i>	Agar nutritivo (14 µL/L)	
	<i>Listeria monocytogenes</i> EGD-e	Agar nutritivo (0.5 µL/L)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Agar nutritivo (1 µL/L)	
	<i>Bacillus subtilis</i>	Agar nutritivo (4 µL/L)	
Menta (<i>Mentha piperita</i>)	<i>Rhizoctonia solani</i>	Agar papa dextrosa (850 ppm)	Khaledi <i>et al.</i> , 2015
	<i>Macrophomia phaseolina</i>	Agar papa dextrosa (975 ppm)	
	<i>Escherichia coli</i> ,	Agar nutritivo (NR*)	Zaidi y Dahiya, 2015
	<i>Salmonella typhi</i>		
	<i>Salmonella paratyphi</i>		
	<i>Staphylococcus aureus</i>		
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Agar nutritivo (NR*)	
	<i>Acinetobacter</i> spp.		
	<i>Aspergillus niger</i>		
	<i>Aspergillus</i> spp.		
	<i>Candida albicans</i>		
	<i>Rihzopus nigricans</i>	Agar papa dextrosa (NR*)	
	<i>Escherichia coli</i>		
	<i>Salmonella typhi</i>		
<i>Salmonella paratyphi</i>			
Menta (<i>Mentha spicata</i>)	<i>Staphylococcus aureus</i>	Agar nutritivo (NR*)	
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
	<i>Acinetobacter</i> spp.		
	<i>Aspergillus niger</i>		
	<i>Aspergillus</i> spp.	Agar papa dextrosa (NR*)	
	<i>Candida albicans</i>		
	<i>Rihzopus nigricans</i>		

Tabla I. Estudios recientes sobre la aplicación de aceites esenciales como antimicrobianos en sistemas modelo (continuación)

Planta de origen del AE	Microorganismos inhibidos	Sistema modelo (CMI reportada)	Referencia
Mirto (<i>Myrtus communis</i>)	<i>Salmonella enterica</i> subsp. <i>enterica</i> serovar Senftenberg	Agar nutritivo (56 µL/L)	Cherrat <i>et al.</i> , 2013
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	Agar nutritivo (56 µL/L)	
	<i>Escherichia coli</i>	Agar nutritivo (56 µL/L)	
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Agar nutritivo (56 µL/L)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	Agar nutritivo (8 µL/L)	
	<i>Enterococcus faecium</i>	Agar nutritivo (2 µL/L)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Agar nutritivo (1 µL/L)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Agar nutritivo (4 µL/L)	
	<i>Bacillus subtilis</i>	Agar nutritivo (14 µL/L)	
Cáscara de toronja	<i>Streptococcus iniae</i>	Agar de soya tripcaseína (2.63 mg/mL)	Lan-Phi y Vy, 2015
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Agar de soya tripcaseína (2.63 mg/mL)	
Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	<i>E. coli</i>	Agar Muller Hilton	Rasool, 2013
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Agar soya tripticaseína (1%)	Mattos De Olivera <i>et al.</i> , 2013
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	<i>Rhizoctonia solani</i>	Agar papa dextrosa (1100 ppm)	Khaledi <i>et al.</i> , 2015
	<i>Macrophomia phaseolina</i>	Agar papa dextrosa (1150 ppm)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Agar soya tripticaseína (0.25%)	Mattos De Olivera <i>et al.</i> , 2013

*No reportada

Otro caso es un estudio en el que se evaluó el efecto de los AE de eneldo y alcaravea contra cinco cepas bacterianas Gram positivas y Gram negativas en yogur griego. Los resultados obtenidos indicaron que *L. monocytogenes* fue la cepa más sensitiva mientras que *E. coli* O157:H7 fue la más resistente, comprobando que las bacterias Gram positivas son más susceptibles que las Gram negativas. Es importante mencionar que la adición de los AE de eneldo y alcaravea, tampoco afectó el crecimiento de los cultivos iniciadores del yogur, como en el caso del AE de albahaca (Mohamed *et al.*, 2013).

La actividad antibacteriana de los AE de estragón, poleo y menta, contra *L. monocytogenes*, se evaluó de manera individual y en combinación con monolaurina en queso blanco. En-

tre los AE probados, el de menta fue el más efectivo presentando una CMI de 0.2% (v/v). La combinación de AE de estragón y monolaurina generó la mayor actividad inhibitoria contra *L. monocytogenes*, por tener un efecto aditivo (0.6% AE de estragón y 400 ppm de monolaurina). La combinación de los AE con monolaurina disminuyó la CMI de ambos agentes, en comparación con la requerida cuando éstos se emplearon de manera individual (Hamed *et al.*, 2014). Noriega Trajano, De Olivera Lima, Leite de Souza y Resende Travassos (2010), también estudiaron el efecto de AE como antimicrobianos en quesos, específicamente en queso *coalho* que es un queso producido en Brasil, el cual ha presentado muchos problemas microbiológicos. Se evaluó el efecto del AE de clavo, contra bacterias meso-

filicas y hongos. Cuando las concentraciones fueron de 5-20 µg/g, se encontró una reducción importante de bacterias mesofílicas, y cuando la concentración fue de 2.5-10 µg/g, disminuyeron los hongos presentes en el queso.

Por otro lado, la actividad antifúngica de los AE de salvia, enebro, limón y mejorana, solos y combinados, fue estudiada por Tserennadmid *et al.* (2011) contra levaduras (*Geotrichum candidum*, *Pichia anomala*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Schizosaccharomyces pombe*), en leche descremada. Primero se hizo una determinación de la CMI y la CFI (concentración fraccional inhibitoria) contra las diferentes cepas, observando que la levadura más sensible fue *S. pombe* y la menos sensible fue *G. candidum*. También se observó que, en la leche descremada, la combinación de los AE de salvia y limón fue efectiva contra las cepas de *S. cerevisiae* y *G. candidum*, mientras que las demás combinaciones no mostraron ningún efecto sinérgico. De manera individual, el aceite que más actividad antifúngica tuvo fue el de limón cuando se probó contra la cepa *G. candidum*. Otro estudio relacionado con la leche, descremada y entera, probó la actividad antibacteriana contra *E. coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes* del AE de vainilla y la combinación de los AE de canela y clavo. Los resultados mostraron que el AE de vainilla inhibió el crecimiento de *L. monocytogenes* de manera similar que la mezcla del AE de canela y clavo, y que dicha mezcla presentó un efecto sinérgico contra *E. coli* O157:H7 (Cava-Roda, Taiboadá-Rodríguez, Valverde-Franco y Marín-Iniesta, 2010).

3.4. Frutas y hortalizas

Algunos de los AE con actividad antimicrobiana que han sido evaluados en frutas y hortalizas son provenientes de romero, clavo, limoncillo, tomillo y menta. Por mencionar algunos ejemplos, Vesaltalaba, Gholamia y Zafarib (2012) determinaron la efectividad de los AE de romero y clavo aplicados en fase vapor contra las esporas de *Botrytis cinerea* inoculadas en bayas. El AE de romero fue más efectivo inhibiendo el crecimiento micelar en una concentración de 300 ppm, mientras que el AE de clavo requirió una concentración mayor (450 ppm). Alla, Kader, Kareem y Mohamedy (2011) evaluaron la efectividad de los AE de limoncillo y tomillo en fase líquida y vapor, contra *Botrytis cinerea* en fresas. La completa inhibición de este microorganismo se logró empleando concentraciones de 100 µL/L de ambos aceites en fase vapor.

A pesar de que el AE de limoncillo presentó resultados efectivos contra el crecimiento de hongos, no sucedió lo mismo cuando se probó su efecto antibacteriano. Hadjilouka, Polychronopoulou, Paramithiotis, Tzamalís y Drosinos (2015)

evaluaron la actividad antibacteriana del aceite esencial de limoncillo aplicado en fase vapor contra *L. monocytogenes* en melón. La fruta inoculada con la bacteria se almacenó durante cuatro días a diferentes temperaturas (0, 5, 10 y 15 °C) y se añadió el AE en diferentes concentraciones. Después de tres días de almacenamiento, no se presentó ninguna actividad antibacteriana en las diferentes condiciones probadas. Sin embargo, el AE de orégano (en concentraciones de 7-21 µL/g) sí tuvo efecto antibacteriano contra la cepa *E. coli* O157:H7, en ensalada de berenjena (Skandamis y Nychas, 2000).

La actividad antifúngica de los AE de salvia, enebro, limón y mejorana, solos y combinados, contra diferentes cepas de levaduras (*Geotrichum candidum*, *Pichia anomala*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Schizosaccharomyces pombe*), probados en jugo de manzana, fue estudiada por Tserennadmid *et al.* (2011), teniendo como resultados que los AE de mejorana y salvia fueron los más efectivos individualmente (ambos con una CMI de 0.5 µL/mL) contra *S. cerevisiae* y *S. pombe*. Cuando se hicieron combinaciones, la más efectiva fue la de enebro con salvia contra *S. cerevisiae* y *P. anomala*, con CFI de 0.62 y 0.75 µL/mL, respectivamente.

3.5. Cereales

Entre los estudios realizados sobre el efecto de los AE sobre la proliferación de microorganismos en cereales, se encuentra el de Sumalan, Alexa y Poiana (2013). Estos investigadores observaron que los AE de bálsamo de limón, salvia, cilantro, tomillo, canela y menta tienen efectos antifúngicos en semillas de trigo, específicamente contra *Fusarium* y *Aspergillus*. Sin embargo, encontraron que cuando los AE tienen características antioxidantes elevadas, su efecto antimicrobiano no disminuye. Por otro lado, el aceite esencial de menta fue probado contra el crecimiento *Aspergillus flavus* y su producción de aflatoxinas en maíz. Este aceite presentó un efecto fungistático en todas las concentraciones probadas (50, 100, 200, 300, 500 o 700 µL/100 g de maíz); y cuando las concentraciones fueron de 300, 500 o 700 µL/100 g, los efectos fueron fungicidas (Gabriel, Hamza, Gabriel y Mohsen, 2011).

4. Comparación de las aplicaciones en sistemas modelo y en alimentos de diferentes aceites esenciales

Algunos de los estudios más recientes relacionados con la aplicación de diferentes aceites esenciales en sistemas modelo y en alimentos, se presentan en la Tabla II. Se observa que los AE más estudiados en relación con la conservación de alimentos son los de menta, alcaravea, eneldo y salvia. Mientras que los microor-

Tabla II. Comparación de las aplicaciones de diferentes aceites esenciales en sistemas modelo y en alimentos

Planta de origen del AE	Microorganismos inhibidos	Sistema modelo (CMI reportada)	Alimento (CMI reportada)	Referencia
Alcaravea (<i>Carum carvi</i>)	<i>L. monocytogenes</i>	Agar soya tripticaseína (0.003 mL/mL)	Yogur griego (0.003 mL/mL)	Mohamed <i>et al.</i> , 2013
	<i>Staphylococcus aureus</i>			
	<i>Bacillus cereus</i>			
	<i>E. coli</i> O157:H7			
	<i>Salmonella</i> Typhimurium			
	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>			
	<i>Streptococcus thermophilus</i>			
Clavo (<i>Eugenia caryophyllata</i>)	<i>Bortrytis cinerea</i>	Agar papa dextrosa (300 ppm)	Bayas (450 ppm)	Vesaltalaba <i>et al.</i> , 2012
Clavo	<i>Pseudomonas</i> ,	Agar nutritivo (4 µL/L)	Trucha (4 µL/L)	Cai <i>et al.</i> , 2014
	<i>Shewanella putrefaciens</i>			
	Enterobacteriaceae			
	Bacterias ácido lácticas			
Comino	<i>Pseudomonas</i> ,	Agar nutritivo (4 µL/L)	Trucha (4 µL/L)	Cai <i>et al.</i> , 2014
	<i>Shewanella putrefaciens</i>			
	Enterobacteriaceae			
	Bacterias ácido lácticas			
Eneldo (<i>Anethum graveolens</i>)	<i>L. monocytogenes</i>	Agar soya tripticaseína (0.003 mL/ mL)	Yogur griego (0.005 mL/mL)	Mohamed <i>et al.</i> , 2013
	<i>Staphylococcus aureus</i>			
	<i>Bacillus cereus</i>			
	<i>E. coli</i> O157:H7			
	<i>Salmonella</i> Typhimurium			
	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>			
	<i>Streptococcus thermophilus</i>			
Enebro (<i>Juniperus communis</i>)	<i>Pichia anomala</i>	Agar extracto de malta (0.25 µL/mL)	Jugo de manzana (2 µL/mL)	Tserennadmid <i>et al.</i> , 2011
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Agar extracto de malta (2 µL/mL)	Jugo de manzana (1 µL/mL)	
	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Agar extracto de malta (0.5 µL/mL)	Jugo de manzana (1 µL/mL)	
Estragón (<i>Artemisia dracunculus</i>)	<i>L. monocytogenes</i>	Agar Mueller Hinton (2%)	Queso blanco (2%)	Hamedi <i>et al.</i> , 2014

Tabla II. Comparación de las aplicaciones de diferentes aceites esenciales en sistemas modelo y en alimentos (continuación)

Planta de origen del AE	Microorganismos inhibidos	Sistema modelo (CMI reportada)	Alimento (CMI reportada)	Referencia
Limón (<i>Citrus lemon</i>)	<i>Pichia anomala</i>	(CMI reportada)	Jugo de manzana (0.5 µL/mL)	Tserennadmid <i>et al.</i> , 2011
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Agar extracto de malta (0.75 µL/mL)	Jugo de manzana (0.5 µL/mL)	
	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Agar extracto de malta (0.62 µL/mL)	Jugo de manzana (1 µL/mL)	
	<i>Pichia anomala</i>	Agar extracto de malta (0.06 µL/mL)	Jugo de manzana (0.5 µL/mL)	
Mejorana (<i>Origanum majorana</i>)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Agar extracto de malta (0.5 µL/mL)	Jugo de manzana (0.5 µL/mL)	Kumar Tyagi <i>et al.</i> , 2012
	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Agar extracto de malta (0.5 µL/mL)	Jugo de manzana (1 µL/mL)	
Menta (<i>Mentha piperita</i>)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> SPA	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (1.13 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (1.13 mg/mL)	
	<i>Zygosaccharomyces bailii</i> 45	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (1.13 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (1.13 mg/mL)	
	<i>Aureobasidium pullulans</i> L6F	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (1.13 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (1.13 mg/mL)	
	<i>Candida diversa</i> T6D	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (0.56 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (0.56 mg/mL)	
	<i>Pichia fermentans</i> T2A1	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (2.25 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (2.25 mg/mL)	
	<i>Pichia kluyveri</i> T1A	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (0.28 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (0.28 mg/mL)	
	<i>Pichia anómala</i>	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (0.56 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (0.56 mg/mL)	
	<i>Hansenula polymorpha</i> CBS 4732	Agar extracto de levadura peptona dextrosa (2.25 mg/mL)	Jugo de frutas mixtas (2.25 mg/mL)	
	<i>L. monocytogenes</i>	Agar Mueller Hinton (0.2%)	Queso blanco (2%)	
				Hamedi <i>et al.</i> , 2014

Tabla II. Comparación de las aplicaciones de diferentes aceites esenciales en sistemas modelo y en alimentos (continuación)

Planta de origen del AE	Microorganismos inhibidos	Sistema modelo (CMI reportada)	Alimento (CMI reportada)	Referencia
Menta	<i>Pseudomonas</i>	Agar nutritivo (4 µL/L)	Trucha (4 µL/L)	Cai <i>et al.</i> , 2014
	<i>Shewanella putrefaciens</i>	Agar nutritivo (4 µL/L)	Trucha (4 µL/L)	
	Enterobacteriaceae	Agar nutritivo (4 µL/L)	Trucha (4 µL/L)	
	Bacterias ácido lácticas	Agar nutritivo (4 µL/L)	Trucha (4 µL/L)	
Poleo (<i>M. pulegium</i>)	<i>L. monocytogenes</i>	Agar Mueller Hinton (0.25%)	Queso blanco (2%)	Hamedi <i>et al.</i> , 2014
Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	<i>L. monocytogenes</i>	Agar soya tripticaseína (0.72 µL/mL)	Carne de res cruda (2%)	Mattos de Oliveira <i>et al.</i> , 2013
Salvia (<i>Salvia sclarea</i>)	<i>Pichia anomala</i>	Agar extracto de malta (0.62 µL/mL)	Jugo de manzana (2 µL/mL)	Tserennadmid <i>et al.</i> , 2011
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Agar extracto de malta (1 µL/mL)	Jugo de manzana (0.5 µL/mL)	
	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Agar extracto de malta (0.75 µL/mL)	Jugo de manzana (1 µL/mL)	
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	<i>L. monocytogenes</i>	Agar soya tripticaseína (0.72 µL/mL)	Carne de res cruda (20 µL/mL)	Mattos de Oliveira <i>et al.</i> , 2013

*No reportada

ganismos más estudiados son *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Pseudomonas* y *Saccharomyces cerevisiae*, entre otros.

Al comparar el comportamiento de los AE en sistemas modelo y en sistemas alimenticios, se encuentra que muchas veces la CMI de los AE es igual cuando se prueban en alimentos que cuando son probados en sistemas modelo. Aunque en algunos casos la CMI de los aceites puede ser mayor en alimentos que en sistemas modelo (como en los AE de clavo, eneldo, enebro y limón) o menor (como en los AE de enebro, limón y salvia), tal y como se puede observar en la Tabla II. En general, la actividad antimicrobiana de los AE va a depender de diferentes factores como el origen del AE, la concentración en la que se emplea, las condiciones del sistema modelo (como pH, a_w , tipo de agar) y/o la composición del alimento en el que es probado, la forma de aplicación (fase líquida o fase vapor) y el microorganismo contra el que es usado (Gram positivo o Gram negativo), entre otros factores. En relación a la composición de los alimentos, se pudo observar que el comportamiento de

los AE depende del alimento que se esté estudiando, ya que existen algunos componentes como las grasas que pueden interferir con la actividad antimicrobiana de los AE (Cherrat *et al.*, 2013; Hamedi *et al.*, 2014; Zaidi y Dahiya, 2015).

Conclusiones

Al comparar la efectividad de diferentes AE sobre la proliferación de distintos microorganismos en sistemas modelo, con la que presentan sobre los mismos microorganismos inoculados en alimentos o productos alimenticios, se encuentra que no hay tendencia general, ya que en muchos casos la efectividad del aceite es la misma en uno y otro medio, pero en muchos otros es diferente, siendo algunas veces mayor y otras, menor. Esto puede atribuirse a que los factores que determinan la efectividad de los aceites como agentes antimicrobianos son muchos y diversos, están relacionados con las propieda-

des del aceite, las características del alimento o sistema modelo, y la naturaleza del microorganismo, entre otros. De aquí que la evaluación de la efectividad de un determinado AE, sobre cierto microorganismo, en un alimento específico, sea de gran importancia.

Agradecimientos

La autora A.C. Lorenzo-Leal agradece a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por el financiamiento para sus estudios de posgrado.

Referencias

- Adelakun, O.E., Oyelade, O.J. y Olanipekun, B. (2016). «Use of essential oils in food preservation». En V. Preedy, *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. (pág. 71). EE.UU.: Elsevier.
- Albarracín H., W., Alfonso, A.C y Sánchez, I.C. (2012). «Application of essential oils as a preservative to improve the shelf life of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)». *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 19(1), 34-40.
- Alla, M.A., Kader, E., Kareem, F. y Mohamedy R.S.R. (2011). «Evaluation of lemongrass, thyme and peracetic acid against gray mold of strawberry fruits». *Journal of Agricultural Technology*, 7(6), 1775-1787.
- Angiş, S. y Oğuzhan, P. (2013). «Effect of thyme essential oil and packaging treatments on chemical and microbiological properties of fresh rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during storage at refrigerator temperatures». *African Journal of Microbiology Research*, 7(13), 1136-1143.
- Burt, S. (2004). «Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods». *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-243.
- Cai, L., Cao, A., Li, T., Wu, X., Xu, Y. y Li, J. (2014). «Effect of the fumigating with essential oils on the microbiological characteristics and quality changes of refrigerated turbot (*Scophthalmus maximus*) fillets». *Food Bioprocess Technology*, 8, 844-853.
- Callaway, T. R., Carroll, J. A., Arthington, J. D., Edrington, T. S., Anderson, R. C., Ricke, S. C., Crandall, P., Collier, C. y Nisbet, D.J. (2011). «Citrus products and their use against bacteria: potential health and cost benefits». En R. Watson, J. L. Gerald y V. R. Preedy, *Nutrients, dietary supplements, and nutraceuticals: Cost analysis versus clinical benefits* (págs. 277-286). Nueva York: Humana Press.
- Cava-Roda, R.M., Taboada-Rodríguez, A. Valverde-Franco, M.T. y Marín-Iniesta, F. (2010). «Antimicrobial activity of vanillin and mixtures with cinnamon and clove essential oils in controlling *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 in milk». *Food Bioprocess Technology*, 5(6), 2120-2131.
- Cherrat, L.E., Mohammed, B., García-Gonzalo, D., Pagán, R. y Laglaoui, A. (2013). «Chemical composition and antioxidant properties of *Laurus nobilis* L. and *Myrtus communis* L. essential oils from Morocco and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes for food preservation». *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1197-1204.
- Dorman, H.J.D. y Deans, S.G. (2000). «Antimicrobials agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils». *Journal of Applied Microbiology*, 88, 308-316.
- Gabriel, Y.A.Y., Hamza, S.A., Gabriel, A.Y. y Mohsen, S.M. (2011). «In vivo effect of mint (*Mentha viridis*) essential oil on growth and aflatoxin production by *Aspergillus flavus* isolated from stored corn». *Journal of Food Safety*, 31, 445-451.
- Gálvez, A.M., Grande Burgos, M.J. Lucas Lopez, R. y Perez Pulido, R. (2014). «Natural Antimicrobials for food biopreservation». En *Food Biopreservation* (pág. 3). EE.UU.: Springer.
- Gómez-Sánchez, A.I. y López-Malo, A. (2009). «Potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*)». *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 3(1), 33-45.
- Hadjilouka, A., Polychronopoulou, M., Paramithiotis, S., Tzamalís, P. y Drosinos, E.H. (2015). «Effect of lemongrass essential oil vapors on microbial dynamics and *Listeria monocytogenes* survival on rocket and melon stored under different packaging conditions and temperatures». *Microorganisms*, 3, 535-550.
- Hamedí, H., Razavi-Rohani, S.M. y Gandomi, H. (2014). «Combination effect of essential oils of some herbs with monolaurin on growth and survival of *Listeria monocytogenes* in culture media and cheese». *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 304-310.
- Hoque, M., Bari, M.L., Juneja, V.K. y Kawamoto, S. (2008). «Antimicrobial activity of cloves and cinnamon extracts against food borne pathogens and spoilage bacteria,

- and inactivation of *Listeria monocytogenes* in ground chicken meat with their essential oils». *National Food Research Institute*, 72, 9-21.
- Khaledi, N., Taheri, P. y Tarighi, S. (2015). «Antifungal activity of various essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* as major bean pathogens». *Journal of Applied Microbiology*, 118 (3), 704-717.
- Kostova, I., Damyanova, S., Ivanova, N., Stoyanova, A., Ivanova, M. y Vlaseva, R. (2016). «Use of essential oils in dairy products. Essential oil of basil (*Ocimum basilicum* L.)». *Dairy Technology*, 6(1), 211-213.
- Kumar Tyagi, A. K., Gottardi, D., Malik, A. y Guerzoni, M.A. (2012). «Anti-yeast activity of mentha oil and vapours through *in vitro* and *in vivo* (real fruit juices) assays». *Journal of Food Chemistry*, 137, 108-114.
- Lambert, R.J., Skandais P.N., Coote, P.J. y Nychas, G. (2001). «A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol». *Journal of Applied Microbiology*, 91, 435-462.
- Lan-Phi, N. T. y Vy, T. T. (2015). «Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of peels' essential oils of different pomelo varieties in the south of Vietnam». *International Food Research Journal*, 22 (6), 2426-2431.
- Lochan Barman, K. y Kumar Jha, D. (2013). «Comparative chemical constituents and antimicrobial activity of normal and organic ginger oils (*Zingiber officinale roseoe*)». *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 4 (1), 259-266.
- López-Malo, A., Barreto-Valdivieso, J. Palou, E. y San Martín, F.S. (2006). «*Aspergillus flavus* growth response to cinnamon extract and sodium benzoate mixtures». *Food Control*, 18, 1358-1362.
- Marija, B., Milan, B.Ž., Jelena, I., Jelena, Đ., Jasna, L., Marija, D. y Radmila, M. (2013). «Use of essential oils in order to prevent foodborne illnesses caused by pathogens in meat». *Tehnologija Mesa*, 54 (1), 14-20.
- Mattos De Oliveira, M.M., Florisvaldo Brugnera, D. y Hilsdorf Piccoli, R. (2013). «Essential oils of thyme and rosemary in the control of *Listeria monocytogenes* in raw beef». *Brazilian Journal of Microbiology*, 44 (4), 1181-1188.
- Mejía-Garibay, B., Palou, E., y López-Malo, A. (2015). «Composition, diffusion, and antifungal activity of black mustard (*Brassica nigra*) essential oil when applied by direct addition or vapor phase contact». *Journal of Food Protection*, 78 (4), 843-848.
- Mohamed, S.H.S, Zaky, W.M., Kassem, J.M., Abbas, H.M., Salem, M.M.E. y Said-Al Ahl, H.A.H. (2013). «Impact of antimicrobial properties of some essential oils on cheese yoghurt quality». *World Applied Sciences Journal*, 27 (4), 497-507.
- Noriega Trajano, V., De Oliverira Lima, E., Leite de Souza, E. y Resende Travassos, A.E. (2010). «Inhibitory effect of the essential oil from *Eugenia caryophyllata* Thumb leaves on *coalho* cheese contaminating microorganism». *Food Science and Technology (Campinas)*, 30 (4), 1001-1006.
- Olivares-Cruz, M.A. y López-Malo, A. (2013). «Potencial antimicrobiano de mezclas que incluyen aceites esenciales o sus componentes en fase vapor». *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7 (1), 78-86.
- Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L. y Lacroix, M. (2007). «Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*». *Journal of Food Control*, 18, 424-420.
- Rasool, M.H. (2013). «Antimicrobial activity of plant essential oils against the growth of *Escherichia coli*». *Journal of Pharmacy*, 3 (6), 01-06.
- Rivera Calo, J., Crandall, P.G., O'Bryan, C.A. y Ricke, S.C. (2015). «Essential oils as antimicrobials in food systems- a review». *Food Control*, 54, 111-119.
- Rosas-Gallo, A. y López-Malo, A. (2011). «Actividad antimicrobiana de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*)». *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5 (1), 41-50.
- Sefu, G., Satheesh, N. y Berecha, G. (2015). «Antifungal activity of ginger and cinnamon leaf essential oils on antheracnose disease causing fungi (*C. gloesporioides*)». *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 7 (2), 26-34.
- Sheng, L. y Zhu, M.J. (2014). «Inhibitory effect of *Cinnamomum cassia* oil on non O157 *Shiga* toxin-producing *Escherichia coli*». *Food Control*, 46, 374-381.
- Singha, A., Singha, R.K., Bhunia, A.K. y Singh, N. (2003). «Efficacy of plant essential oils as antimicrobial agents against *Listeria monocytogenes* in hotdogs». *Swiss Society of Food Science and Technology*, 36, 787-794.
- Skandamis, P.N. y Nychas, G.J.E. (2000). «Development and evaluation of a model predicting the survival of *Escherichia coli* O157:H7 NCTC 12900 in homemade eggplant

salad at various temperatures, pHs and oregano essential oil concentrations». *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (4), 1646-1653.

- Skandamis, P.N. y Nychas, G.J.E. (2002). «Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere conditions». *International Journal of Food Microbiology*, 79, 35-45.
- Sumalan, R.M., Alexa, E. y Poiana, M.A. (2013). «Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and Fusarium mycotoxins production in wheat». *Chemistry Central Journal*, 7 (32), 1-12.
- Tajkarimi, M.M., Ibrahim, S.A. y Cliver, D.O. (2010). «Herbs and spices, Natural preservatives, Food-borne pathogens». *Food Control*, (21), 1199-1218.
- Tserennadmid, R., Takó, M., Galgóczy, L., Papp, T., Pesti, M., Vágvölgyi, C., Almássy, K. y Krisch, J. (2011). «Antiyeast activities of some essential oils in growth medium, fruit juices and milk». *International Journal of Food Microbiology*, 144, 480-486.
- Vesaltalaba Z., Gholamia, M. y Zafarib, D. (2012). «Clove buds (*Eugenia caryophyllata*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oils effects on control of grapes gray mold in-vitro». *Scholars Research Library*, 3 (5), 2447-2453.
- Zaidi, S. y Dahiya, P. (2015). «In vitro antimicrobial activity, phytochemical analysis and total phenolic content of essential oil from *Mentha spicata* and *Mentha piperita*». *International Food Research Journal*, 22 (6), 2440-2445.

Factores que afectan la vida de anaquel de botanas fritas

Fernando Díaz-Sánchez*², Eva María Santos-López¹ y Aurelio López-Malo²

¹ Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca Tulancingo, Km. 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C.P. 42184. México.

² Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, CP. 72810, San Andrés Cholula, Puebla, México.

RESUMEN

Las botanas son de amplio consumo en México; entre las más consumidas están las papas, totopos y *pellets* de trigo, siendo éstas botanas fritas. Durante su fabricación en sistemas de freído industrial, es importante conocer y controlar los procesos de degradación del aceite, los cuales dan origen a sabores y aromas desagradables conocidos como rancidez, que limitan la vida de anaquel de este tipo de botanas. El propósito de esta revisión es conocer el proceso de fabricación de diferentes botanas, los factores de deterioro del aceite de freído, así como explorar otras herramientas, como agentes antioxidantes y empaques que se pueden aplicar para preservar la vida de anaquel de botanas fritas.

Palabras clave: botanas, freído, aceites, oxidación, empaques, vida de anaquel

ABSTRACT

The snacks are widely consumed in Mexico, potato chips, tortilla chips and pellets, are the most consumed, and all of them are fried snacks. During the industrial frying is very important to know and control de oil degradation process, in order to avoid the apparition of undesirable odor and flavor known as rancidity and that could reduce the shelf life of the fried snacks. The objective of this review is to know the snacks production process, the oil fried degradation process, as well as others tools as antioxidants and packaging that can be used to improve the shelf life of the snacks.

Keywords: snacks, fry, oils, oxidation, packaging, shelf life

* Programa de Doctorado
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 779 796 9220
Dirección electrónica:
fernando.diazsz@udlap.mx
maria.barcenas@udlap.mx

Introducción

El término botana es muy amplio y abarca gran variedad de productos a base de nueces, tubérculos, cereales, semillas, entre muchos otros. Sin embargo, la mayoría de las botanas a nivel mundial son fabricadas a partir de papa, maíz o trigo, existiendo después, en menor volumen, muchas otras que se elaboran a base de otros cereales, semillas o tubérculos. Las botanas son vistas como relativamente nuevas porque su comercialización ha ocurrido y expandido en el último siglo, siempre acompañadas de nuevos sabores y estilos. Las botanas saborizadas son alimentos que pueden ser consumidos acompañados del alimento principal, o de manera conveniente entre alimentos.

El origen de las botanas es muy diverso. Por ejemplo, los *pretzel* tienen su origen en el sur de Francia; los totopos en Mesoamérica, donde la masa de maíz ha sido usada para elaborar tortillas y botanas; en el caso de las papas fritas, éstas se inventaron en Nueva York en 1853.

Por otra parte, la industria de las botanas está constantemente en la búsqueda de productos y procesos que satisfagan las necesidades de los consumidores, entre las que se encuentran las propiedades nutricionales, por lo que en los últimos años se ha impulsado el desarrollo de botanas reducidas en sal, en grasa, o en calorías.

En la fabricación de botanas, los procesos más usados son el freído, la extrusión y el horneado, con los cuales se consigue obtener texturas crujientes que son características de las botanas. La humedad de estos productos es baja, así como también su actividad de agua. Un factor importante en la estructura de estas botanas es su contenido de aceite, el cual proporciona textura y sabor, y varía dependiendo del tipo de botana. Debido a su composición, la vida de anaquel de las botanas está definida normalmente por dos factores. Uno de ellos es su humedad, la cual al alcanzar ciertos niveles ocasiona la pérdida de consistencia y textura característica. El otro factor es la degradación o descomposición de las grasas, la cual ocasiona olores y sabores indeseables, conocidos como rancidez.

El presente artículo tiene como objetivo proporcionar información general acerca de los procesos de fabricación de botanas, los mecanismos de degradación que afectan la calidad y determinan la vida de anaquel de las botanas fritas, así como de los parámetros y herramientas a considerar, y utilizar, para la conservación de las mismas.

Revisión bibliográfica

1. Botanas fritas

De acuerdo a Lusas y Rooney (2001), la definición más aceptada de botana es la de alimento que se consume entre comidas regulares. Así, las botanas son un tipo de alimento generalmente utilizado para satisfacer temporalmente el hambre, proporcionar una mínima cantidad de energía al cuerpo, o simplemente por placer.

Una muestra clara de la importancia de las botanas son las ventas de éstas y el hecho de que son ampliamente consumidas en el mundo, siendo muy diversas las fuentes o materias primas a partir de las cuales se fabrican. El consumo de botanas está ampliamente extendido; como ejemplo, en Estados Unidos el consumo per cápita es de 10 kg por año. En México, las botanas de mayor consumo que involucran procesos de freído en aceite caliente, son las siguientes: papas fritas, totopos de maíz, y *pellets* de trigo (Mintel, 2014), estas, además, son las de mayor consumo general.

1.1. Papas fritas

Son elaboradas a partir del tubérculo de papa maduro; si éste va a ser utilizado para botana, son dos los aspectos importantes a considerar; el primero es su contenido de azúcares reductores, el cual debe ser menor a 0.15%, y debe permanecer en este nivel o inferior durante el almacenamiento de las papas, para evitar el oscurecimiento de la papa al freírla, el cual se da por la reacción química entre los azúcares reductores y los aminoácidos contenidos en la papa (Rady y Guyer, 2015); el segundo es su rendimiento, que está determinado por su contenido de agua, el cual se encuentra entre un 63 y un 87%, por lo que su concentración de sólidos aprovechables está entre 13 y 37%, siendo las de mayor contenido de sólidos las que tendrán un mayor rendimiento (Lusas y Rooney, 2001).

Después de recibida y almacenada, la papa se procesa pasando primeramente por una etapa de remoción de piedras que proceden de los campos de cultivo y que pueden causar serios daños a los equipos; esto se realiza normalmente por flotación de las papas en agua y en la que las piedras se irán al fondo. Posteriormente, las papas son peladas en peladores continuos, pudiendo perder en este paso hasta un 20% de peso. Después, las papas son lavadas y seguidamente rebanadas. El rebanado es uno de los pasos más importantes; a nivel industrial se realiza en cor-

tadoras centrífugas en las que la papa es forzada contra una superficie con una cuchilla de corte, por acción de la fuerza centrífuga, en cortes que normalmente van de los 0.75 mm a los 2.5 mm; las hojuelas son lavadas antes de entrar al proceso de freído y son freídas por inmersión en aceite caliente a temperaturas de entre 160 y 180 °C, hasta una humedad final de 1.8% (Pedreschi, 2012; Krokida, Oreopoulou, Maroulis y Marinos-Kouris, 2001). Generalmente, saliendo del freído, las papas son saladas o condimentadas para aprovechar el aceite caliente superficial y promover la adherencia de los cristales de sal, normalmente entre 1.5 y 2%, o la adición de un condimento o saborizante. Finalmente, las papas son empacadas, almacenadas y distribuidas.

1.2. Totopos de maíz

Son elaborados a partir de maíz blanco o amarillo. El maíz es el tercer grano más importante a nivel mundial. Alrededor del 41% de la producción total se cosecha en los Estados Unidos; los otros mayores productores son China, Brasil, México, Argentina, América Central y algunos países de África. El maíz está compuesto de pericarpio o piel, germen, y endospermo, en proporciones de 12%, 6 a 8% y 82%, respectivamente. Su composición es, de manera general, de 8 a 10% de proteína, 3.5 a 4.5 % de grasa, 1.5 a 2.0% de cenizas, 1.5 a 2.1 de fibra cruda, 1.4 a 2.0% de azúcar, 10 a 15% de agua y 65 a 70% de almidón. El endospermo contiene todo el almidón y 70% o más de la proteína; la fibra y cenizas están concentradas en el pericarpio y el germen contiene altos niveles de grasa y proteína. La proporción de endospermo suave y endospermo duro afecta significativamente sus propiedades, al usarlo para la elaboración de botanas (Lusas y Rooney, 2001). Endospermos con mayores cantidades de almidón son los preferidos para la producción de botanas de maíz.

En la fabricación de totopos, el maíz sufre un cocimiento alcalino o nixtamalización usando hidróxido de calcio. Normalmente, el cocimiento se realiza a 150-170 °C, con un reposo de aproximadamente 12 horas, para posteriormente lavar el maíz con el objeto de remover el pericarpio y el exceso de hidróxido de calcio. Después de ser lavado, el maíz es molido y usado para producir masa. Harina de maíz también puede ser mezclada con agua para producir masa. La masa es laminada formando una cortina delgada, la cual es cortada en piezas pequeñas, comúnmente de forma triangular o circular. Estas piezas son parcialmente horneadas, pasándolas por un horno que generalmente es de tres niveles, con temperatura de entre 315

y 400 °C para la banda superior, 200 a 290 °C en la banda intermedia y 120 a 180 °C en la banda inferior. Posteriormente, las piezas son enfriadas y finalmente freídas en aceite caliente entre 150 y 200 °C (Sun y Moreira, 1994). Por último, son saladas o condimentadas para ser empacadas y distribuidas.

1.3. Pellets de trigo

Normalmente, éstos son a base de trigo, aunque pueden ser de mezclas de trigo con otros ingredientes como papa o maíz. Son fabricados mediante procesos de extrusión, cocimiento y formado, para obtener *pellets* densos, los cuales son secados y estabilizados a un contenido de humedad que permita su almacenamiento.

Normalmente, la formación y cocimiento se realiza a 100-150 °C, con un 25 a 30% de contenido de humedad. El secado puede requerir entre 1 y 3 horas a una temperatura de 70-80 °C, hasta obtener pellets con una humedad entre 10 y 13% (Moscicki, 2011), los cuales pueden almacenarse para posteriormente ser procesados.

La expansión del *pellet* se realiza mediante su inmersión o freído en aceite caliente, normalmente a una temperatura entre 150 y 200 °C (Moscicki, 2011). Después de su proceso de expansión, se les aplica sabor de manera externa, y finalmente son empacados, almacenados y distribuidos.

2. Procesos de freído

El freído es un método universalmente conocido y usado para el cocinado de alimentos y botanas en varias culturas alrededor del mundo. A pesar de que el procedimiento no es complicado, la química de este proceso es compleja e involucra diversos cambios tanto en el aceite como en las botanas que son freídas. Un esquema de los fenómenos ocurridos durante el freído es presentado en la Fig. 1. En él se muestran las dos principales reacciones causantes de la degradación del aceite. Una de ellas es la oxidación por reacción de los dobles enlaces del aceite, con el oxígeno presente en el aire; y la otra es la hidrólisis, que ocurre por reacción de los triglicéridos con el agua que se evapora del alimento, al ser sometido a calentamiento. Se muestran también los principales compuestos formados derivados de la oxidación y la hidrólisis, así como los fenómenos de absorción de aceite por el alimento y la vaporización de los compuestos volátiles presentes en el alimento, entre ellos los antioxidantes.

En la producción de botanas fritas, el freidor es el equipo crítico y, por lo tanto, el principal de la operación. Los equipos de freído industrial consisten de una fuente de calentamiento para el aceite, varias bandas transportadoras para mover el

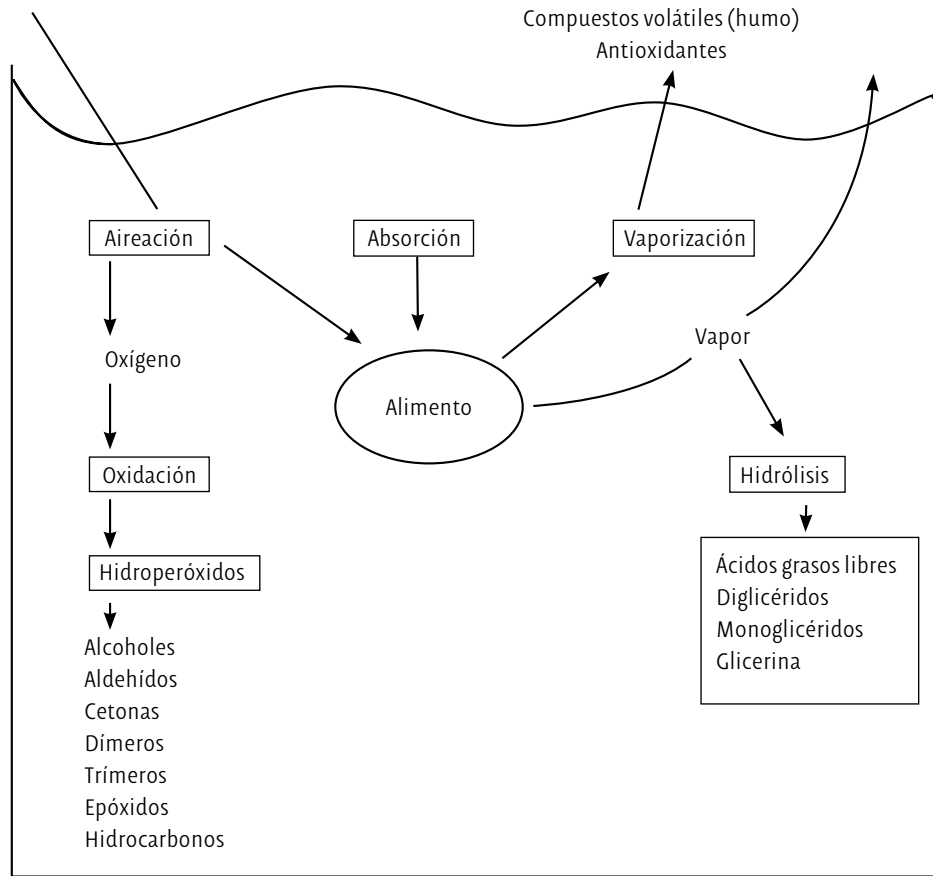


Fig. 1. Cambios durante el freído (Adaptado de Fritsch, 1981)

producto a través del aceite y del freidor, y una campana para la extracción de los vapores. El producto a freír normalmente se hunde al fondo del aceite y después emerge a la superficie del mismo, mientras que la humedad interna se transforma en vapor. Paletas y bandas usadas para sumergir de varios tipos, son utilizadas para asegurar que el producto no flote a la superficie del aceite de freído. Algunos productos son moldeados durante el freído, usando moldes con la forma deseada del producto (Moreira, Castell-Pérez y Barrufet, 1999).

Los freidores que usan quemadores de gas directo para el calentamiento de la paila del freidor no son tan eficientes y son llamados freidores de calentamiento directo. Los freidores con intercambiadores de calor para el calentamiento del aceite son más eficientes, pero son más caros. Algunos freidores industriales pequeños utilizan tubos en el aceite, por los que circula una flama de gas, fluido térmico o vapor. Los freidores industriales de mayor tamaño y capacidad usan sistemas remotos de calentamiento, en los cuales el aceite se hace circular mediante una bomba a través de tuberías a un intercambiador de calor de calentamiento directo, de fluido térmico, o de cámara de vapor a presión y posteriormente regresan al freidor

justo antes de la alimentación del producto; este sistema tiene la ventaja de un mejor control de la temperatura de freído (Dueik y Bouchon, 2011). Por otra parte, existen freidores a vacío que se usan para productos sensibles al calor; este sistema permite una rápida reducción de humedad y freír a baja temperatura, los productos resultantes presentan menos color que aquellos procesados en freidores atmosféricos (Dueik, Robert y Bouchon, 2010).

3. Procesos de deterioro en aceites y afectación a la vida de anaquel

Las temperaturas a las que se realiza el freído de botanas propician reacciones químicas que suceden rápidamente y deterioran el aceite y a su vez el producto; sin embargo, la alta temperatura y humedad dentro del freidor actúan también de manera benéfica al evaporar algunos de los compuestos de degradación volátiles que se forman durante el freído. El aceite es usado en el freído de botanas como agente de transferencia de calor; sus funciones son cocinar, expandir ciertos productos, deshidratar para promover la crujencia, y generar la formación de colores

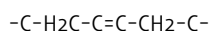
y sabores deseables (Saguy y Dana, 2003). Una vez que el aceite ha sido calentado, el freído es la manera más rápida de cocinar alimentos y proporcionar texturas y sabor únicos y diferentes de los obtenidos al utilizar otros procesos. Adicionalmente, el aceite remanente en la superficie de las botanas después del freído, o la aplicación de una aspersión de aceite, actúa como agente de fijación para la sal, condimento o sabor que se les aplique.

El aceite usado para freír pasa finalmente a ser parte de la botana, convirtiéndose en un componente más. Por lo tanto, el cuidado del aceite desde su recepción hasta su uso final, para evitar su degradación, es la consideración más importante, junto con la humedad, para la conservación de las botanas (Matthaus, 2006).

3.1. Oxidación

Los aceites son una mezcla de triglicéridos que son líquidos a temperatura ambiente. Las grasas a su vez, son una mezcla de triglicéridos líquidos y cristalizados que son sólidos o semi-sólidos a temperatura ambiente. Los aceites usados para freír son generalmente triglicéridos líquidos, algunos de los cuales pueden haber sido sometidos a un proceso de hidrogenación para mejorar su estabilidad, y algunas veces contienen aditivos solubles en aceite. En los alimentos, la oxidación está relacionada con una diversidad de cambios durante su procesamiento, distribución y almacenamiento (Farhoosch, Kenari y Poorazrang, 2009).

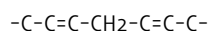
Los ácidos grasos con más de una doble ligadura tienen un gran número de hidrógenos alílicos, que son los hidrógenos del carbono adyacente a un carbono con doble enlace; un ácido con un doble enlace tiene cuatro hidrógenos alílicos.



Los hidrógenos alílicos tienen una relativamente baja energía de disociación de su enlace, por lo que pueden ser fácilmente abstraídos por un radical libre. Dicha abstracción es el paso inicial en la secuencia de reacción de auto-oxidación; el radical alilo resultante reacciona con peróxido y forma un radical peróxido. Este radical peróxido puede abstraer un hidrógeno disponible formando otro radical libre, así como hidroperóxido.

Los ácidos grasos libres con más de una doble ligadura tienen un número incremental de hidrógenos alílicos. Adicionalmente a los hidrógenos alílicos regulares, el ácido linoleico, linolenico y otros ácidos grasos poliinsaturados contienen hidrógenos metileno, los cuales son alílicos respecto a dos doble

ligaduras, lo que los hace particularmente susceptibles a ser abstraídos por radicales libres.



A su vez, los hidroperóxidos son moderadamente estables, y rápidamente se descomponen en presencia de calor, luz y trazas de metales. La descomposición de los hidroperóxidos de los ácidos grasos insaturados da como resultado una rotura en ambos lados de la cadena del doble enlace, para formar una amplia variedad de compuestos de oxidación (alcanos, alquenos, aldehídos, cetonas, ácidos grasos de cadena corta, compuestos carbonilo, y otros). La acumulación de los productos de oxidación produce aromas y sabores característicos de la rancidez (Su y White, 2004).

La energía luminosa, particularmente en el rango de ultravioleta cercano, puede acelerar significativamente la oxidación de grasas y aceites insaturados. Los fotones de energía luminosa son absorbidos por un sensibilizador como la clorofila o la riboflavina y transferidos al sustrato para generar radicales libres (tipo I), o pueden ser transferidos al oxígeno permitiendo la formación de un oxígeno libre (tipo II). El mecanismo tipo I involucra los mismos mecanismos de radicales libres asociados con la oxidación, pero incluye además la descomposición directa de hidroperóxidos, lo que acelera significativamente la velocidad de oxidación. En el mecanismo tipo II, el oxígeno molecular es energizado hasta un estado electrofílico fuerte y reacciona directamente con cualquiera de los dos carbonos de un doble enlace $-C=C-$, para formar hidroperóxidos los cuales, como ya se mencionó, se descomponen en una amplia variedad de compuestos que causan la rancidez en el aceite (Choe y Min, 2007).

3.2. Hidrólisis

La hidrólisis o lipólisis es el rompimiento de las cadenas de éster de los triglicéridos para producir ácidos grasos libres. La hidrólisis es acelerada por la presencia de humedad, calor, álcalis, iones metálicos y componentes parcialmente degradados como los monoglicéridos, los cuales incrementan la reactividad de los triglicéridos (Lusas y Rooney, 2001).

La hidrólisis es una de las reacciones más importantes en el freído de botanas; el agua contenida en las botanas a freír participa en el rompimiento de los triglicéridos para formar ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, así como glicerina. En presencia de calor, la glicerina se degrada a acroleína, la cual tiene un punto de fusión de 52.7 °C, por lo que rápidamente se volatiza.

tiliza; es el compuesto más irritante en el humo del aceite. Éste es sólo uno de los compuestos que se condensan y polimerizan dentro de la campana de extracción del freidor. Por su parte, los ácidos grasos libres son más susceptibles a la oxidación y también son catalizadores que contribuyen a la hidrólisis. El punto de humeo de los aceites se ve reducido por el incremento de ácidos grasos libres, poliinsaturación, y tiempo de uso del aceite. Los ácidos grasos libres, mono y diglicéridos también son surfactantes, los cuales reducen la tensión superficial del aceite e incrementan la capacidad de adherirse al aceite (Moreira et al., 1999).

3.3. Incremento del contenido de humedad

Las botanas tienen una vida de anaquel larga, en parte por la baja humedad que contienen, la cual suele ser de 1 a 2% para mantener una consistencia crujiente en el producto. Durante el almacenamiento, conservarla es de gran importancia. El aumento de la humedad puede dar lugar a una botana con pérdida de firmeza, que la vuelve indeseable para el consumidor y, por lo tanto, limita su vida de anaquel. La humedad a la que esta consistencia crujiente se pierde varía dependiendo del tipo de botana; sin embargo, de manera general, no debe exceder el 8% para que la botana conserve sus propiedades y textura (Saguy y Dana, 2003).

El aumento de la humedad del producto depende de las características propias del tipo de botana, como su higroscopicidad, porosidad, humedad inicial y componentes, así como de la protección que el empaque provea del paso de la humedad externa al interior.

4. Herramientas para el control del deterioro y conservación

4.1. Condiciones de proceso

Durante el freído, los compuestos más importantes a considerar y controlar para evitar la degradación del aceite son: 1) oxígeno, que contribuye a la oxidación del aceite, resultando en el desarrollo de compuestos volátiles y de polimerización; 2) agua, que genera la hidrólisis de los aceites y el incremento de ácidos grasos, mono y di-glicéridos, y glicerina, todos más fáciles de degradar que los triglicéridos; 3) metales y compuestos de color remanentes en los aceites, que pueden servir como catalizadores para acelerar las reacciones de degradación; 4) enzimas, las cuales completan algunas reacciones de degradación a pesar de que se inactivan rápidamente. Otras consideraciones importantes que afectan la vida útil de las botanas son la adecuada selección del aceite para el freído, cuidados en su recepción

Tabla I. Influencia del contenido de agua de papas crudas en la absorción de aceite de papas fritas

Contenido de agua en papas crudas (%)	Contenido de aceite en papas fritas (%)
84.01	47.04
82.95	45.71
81.90	44.38
80.85	43.05
79.79	41.72
78.73	40.39
77.67	39.06
76.62	37.73
75.56	36.40
74.41	35.07
73.45	33.74

Adaptado de Lusas y Rooney (2001)

y almacenamiento, la selección y operación de los equipos, y condiciones de freído (Pedreschi, 2012).

El tiempo de recambio del aceite es otro factor importante a considerar; la adición continua de aceite fresco es un factor esencial para conservar la calidad del aceite de freído. Durante el freído de botanas en freidores continuos, aceite fresco es continuamente añadido para reemplazar el aceite absorbido por el producto; tiempos de recambio de 5 a 10 horas son manejados en sistemas industriales de freído continuo. Por ejemplo, para el freído de papa se espera que el recambio sea cada 8 horas. Por ejemplo, un freidor con 1 000 kg de capacidad para aceite, con 33% de contenido de aceite en el producto final, el aceite sería totalmente reemplazado cada 3 000 kg de papas fritas producidas. En la práctica, el aceite se reemplaza gradualmente (Lusas y Rooney, 2001).

El tiempo de recambio de aceite está definido como el número de horas requeridas para que el aceite agregado como repuesto durante el freído, sea igual a la cantidad total de aceite en el freidor; se calcula como se muestra en la Ec.1.

Donde TR es el tiempo de recambio, af es el aceite en el freidor en kg, ap es el aceite en el producto en %, y p es la producción en kg/h.

El producto de mejor calidad es producido cuando los freidores son operados de manera continua y a su máxima capacidad. La operación por encima de su capacidad causa cambios en el perfil de temperatura de freído y afec-

ta de manera negativa el sabor y calidad de las botanas, además, requiere de un exceso de calor para mantener la temperatura. Sin embargo, la operación por debajo de la capacidad del freidor reduce el intercambio de aceite y resulta en una acumulación de compuestos de degradación (Pedreschi, 2012).

La cantidad de aceite que absorban las botanas durante su manufactura es un factor a controlar, dado que éste será susceptible al deterioro, por lo que se deben buscar procesos que promuevan la menor absorción posible en el producto. Por ejemplo, en la fabricación de papas fritas, éstas pueden ser secadas parcialmente antes del freído para promover una menor absorción de aceite (Tabla I), seleccionar variedades con mayores contenidos de sólidos (menor contenido de agua), cortar hojuelas con menor área, o usar temperaturas más altas y menores tiempos de freído. Todo lo anterior ayuda a promover una menor absorción de aceite (Moyano y Pedreschi, 2006; Dueik *et al.*, 2010; Mariscal y Bouchon, 2008).

Además, la selección del aceite para freído es muy importante y tiene un gran impacto en la vida de anaquel de las botanas. Los aceites poliinsaturados son susceptibles a la oxidación continua y esto limita su vida de anaquel. Caso contrario ocurre con los aceites altos en ácido oleico, los cuales son más resistentes a la oxidación y soportan tiempos de freído más largos, así como también las botanas freídas en este tipo de aceites tienen una mayor vida de anaquel (Pambou-Tobi *et al.*, 2010).

4.2. Agentes antioxidantes

Dado que la oxidación de los dobles enlaces de los ácidos grasos libres, es el proceso termodinámico más importante en la degradación de aceites, se han buscado y desarrollado aditivos o procesos que protejan al aceite de la oxidación para prevenir la rancidez en botanas fritas.

Los agentes antioxidantes absorben los radicales libres activos o estabilizan los cuantos de energía que los producen, interrumpiendo así la secuencia de reacciones de auto oxidación. Pueden proveer protección al aceite por largo tiempo, durante condiciones normales, retrasando la oxidación del aceite. Aun así, los agentes antioxidantes son también descompuestos durante los procesos de freído y, después de su agotamiento, el aceite nuevamente se vuelve susceptible al ataque. A pesar de esto, la inclusión de agentes antioxidantes puede proteger al aceite durante la fabricación, a través del transporte, almacenamiento y hasta su uso inicial para freído (Warner y Gehring, 2009).

Los agentes antioxidantes más comúnmente usados son: terbutil-hidroquinona (TBHQ), butil-hidoxianisol (BHA), y terbutil-hidroxitolueno (BHT). El TBHQ es el agente antioxidante más efectivo para aceites vegetales insaturados, ya que tiene las siguientes ventajas: 1) buena estabilidad; 2) efectividad tanto en aceites vegetales, como en grasas animales; 3) no imparte olor o sabor al aceite. El TBHQ puede desarrollar coloración rosa a valores de pH alcalinos y con ciertas proteínas y sales de sodio. El BHA tiene un fuerte olor fenólico que se nota al comenzar a calentar el aceite; éste puede formar un color rosa cuando entra en contacto con iones de metales alcalinos como sodio o potasio, y no es tan efectivo como el TBHQ para proteger al aceite de la oxidación. El BHT es considerado más efectivo que el BHA, pero menos que el TBHQ. La combinación de BHA y BHT es sinérgica. En los Estados Unidos, la cantidad máxima permitida de agente antioxidante agregado es de 0.02% (200 ppm).

Los agentes antioxidantes sintéticos, en comparación con los naturales, reaccionan más rápidamente y forman radicales libres más estables. Sin embargo, en los últimos años han surgido controversias sobre el uso de agentes antioxidantes en los productos de consumo, incluidas las botanas, ya que se buscan «etiquetas limpias». Por esto, se ha intentado el uso de agentes antioxidantes naturales, como los tocoferoles, los cuales en sus formas gamma y delta tienen buenas propiedades de protección al aceite. Los tocoferoles pueden actuar como agentes antioxidantes o pro-oxidantes, dependiendo de la concentración. Una concentración de 400 a 600 ppm de tocoferoles provee la óptima protección para aceite de soya, y los ácidos cítrico y ascórbico actúan con los tocoferoles de manera sinérgica, para proteger al aceite de la oxidación. Hay otros compuestos naturales que también proporcionan protección al aceite, y algunos como el extracto de romero, extracto de salvia, aceite de albahaca, hierbabuena y ácido cítrico, entre otros, actúan de manera sinérgica con TBHQ, para proteger al aceite. Sin embargo, se debe cuidar el desarrollo de sabores y aromas extraños a los que pueden contribuir los extractos de hierbas (Cardoso-Ugarte, Morlán-Palmas y Sosa-Morales, 2013; Nems *et al.*, 2015; Lalas, 2003).

4.3. Empaques

La oxidación del aceite contenido en las botanas, la cual es activada por exposición a la luz, puede ser controlada con el uso de un empaque que provea una adecuada barrera capaz de bloquear la entrada de oxígeno ambiental y luz al

interior del empaque. Aunque también se puede proteger el aceite de la oxidación causada por la luz, reduciendo los fotosensibilizantes que todas las plantas, alimentos, así como saborizantes y colorantes contienen; esto ayudará a la estabilidad del aceite, pero no necesariamente protegerá a los productos ya fritos. El uso de un empaque apropiado es lo que provee la protección más eficiente a las botanas de la oxidación.

Usar el empaque apropiado es importante para la protección y vida de anaquel del producto. La mayoría de las botanas producidas industrialmente, son envasadas en bolsas llenadas y selladas por máquinas automáticas; el correcto sello es importante para evitar la entrada de oxígeno y humedad a la bolsa y al producto. Generalmente, se realiza un sellado vertical y un sellado horizontal; los empaques utilizados son materiales de sellado en caliente o termoplásticos. El polietileno, uno de los materiales termoplásticos usados, debe ser calentado de manera específica mientras las partes a sellar se unen para fundirse; el calor aplicado para fundir el material, seguido de un proceso de enfriamiento, es lo que permite que los materiales sellen.

Los materiales termoplásticos son usados, generalmente, cuando no es necesaria una alta barrera para protección del producto; el polietileno tiene poros y no es ideal para aplicaciones donde el sellado hermético es necesario para prolongar la vida de anaquel. Los empaques de sellado en caliente incluyen papel, celofán y películas metalizadas, debido a que estos materiales no funden a las temperaturas de sellado, normalmente requieren ser laminados o coextruidos para ser sellados en condiciones específicas de temperatura, presión y tiempo.

En la actualidad, la mayoría de las botanas utilizan empaques de polipropileno multilaminado. Comúnmente, se utilizan dos películas o láminas individuales de polipropileno unidas una con la otra, en la primera película o lámina, se imprimen gráficos o textos; éstos se imprimen en la parte que quedará en el medio de las capas. A esta primera capa se le une una segunda mediante un adhesivo normalmente basado en cloruro de polivinilideno, que además provee una barrera contra la humedad y el oxígeno. También se usa un método alternativo de laminación llamado extrusión, en el que una capa de polietileno relativamente delgada (12 a 25 micrones) es vertida en caliente entre las dos capas o películas a unir; este método imparte también una función de barrera. De manera adicional se puede metalizar con aluminio la parte interior del material multilaminado, con lo que se aumenta la barrera a la humedad, al oxígeno y a la luz (De-Meuse, 2011).

Aún con los avances en las barreras de empaque para evitar la entrada de humedad y oxígeno, bajo condiciones normales de empackado, el aire ambiente contiene aproximadamente 20% de oxígeno, el cual va al interior del empaque y puede ser suficiente para producir oxidación del aceite y rancidez. Por esta razón, el empackado en atmósferas modificadas es usado en la industria de las botanas, para proveer de mayor protección al producto.

El empackado en atmósferas modificadas involucra un soplado a la bolsa con gas nitrógeno durante el proceso de llenado y sellado. El nitrógeno es un gas inerte que no reacciona con el aceite o los compuestos responsables del sabor; en este tipo de empackado se busca tener la menor cantidad de oxígeno residual posible dentro de las bolsas, normalmente menos del 2% (Lusas y Rooney, 2001).

La protección del empaque al producto depende de tipo o composición del empaque, del grosor y del tratamiento metalizado que tenga o no. Por ejemplo, un polipropileno de sellado en caliente y de calibre 18 μ , tiene una permeación al vapor de agua de 7.8 g/m²/día a 38 °C y 90% de humedad relativa; mientras que el mismo empaque, pero metalizado, tiene una permeación al vapor de agua de 0.3 g/m²/día, bajo las mismas condiciones. Para el caso de la transmisión de oxígeno, un polipropileno calibre 18 μ tiene una permeación de 1167 g/m²/día a 23 °C; mientras que el material de las mismas características, pero metalizado, tiene una permeación de 100 g/m²/día en las mismas condiciones (Barnes, Sinclair y Watson, 2006).

Conclusión

Los factores que más afectan la vida de anaquel de botanas fritas son la humedad y la oxidación del aceite; este último fenómeno es el responsable de la aparición de aromas y sabores rancios. Para evitar la aparición de rancidez y asegurar una adecuada vida de anaquel, se debe realizar una correcta selección y manejo del aceite para freído, así como poner especial atención y cuidado en las condiciones de proceso para evitar lo más posible el deterioro del aceite. También se pueden usar agentes antioxidantes en el aceite, ya sea sintéticos o naturales, siendo estos últimos los de mayor desarrollo en los últimos años. Por otra parte, para proteger el producto después de freído, es importante usar un empaque adecuado que provea protección y barrera a la luz, oxígeno y humedad, que son los factores a evitar para preservar de manera adecuada a las botanas durante su vida de anaquel.

Agradecimientos

El autor Fernando Díaz agradece a Fritos Totis S.A. de C.V. por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo, y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por la beca otorgada para realizar los estudios de Doctorado.

Referencias

- Barnes, K., Sinclair, R., y Watson, D. (2006). *Chemical Migration and Food Contact Materials*. Londres: Woodhead Publishing Limited.
- Cardoso-Ugarte, G.A., Morlán-Palmas, C.C., y Sosa-Morales, M.E. (2013). «Effect of the addition of basil essential oil on the degradation of palm olein during repeated Deep frying of french fries». *Journal of Food Science*, 78 (7), C979-C984.
- Choe, E., Min, D. (2007). «Chemistry of Deep-fat frying oils». *Journal of Food Science*, 72 (5)-R77-R86.
- DeMeuse, M.T. (2011). *Biaxial Stretching of Film: Principles and Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Dueik, V., Bouchon, P. (2011). «Development of healthy low-fat snacks: Understanding the mechanisms of quality changes during atmospheric and vacuum frying». *Food Reviews International*, 27 (4), 408-432.
- Dueik, V., Robert, P., y Bouchon, P. (2010). «Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters». *Food Chemistry*, 119 (3), 1143-1149.
- Farhoosch, R., Kenari, R.E., y Poorazrang, H. (2009). «Frying stability of canola oil blended with palm oil, olive and corn oils». *Journal of the American Oils Chemist Society*, 86 (1), 71-76.
- Fritsch, C.W. (1981). «Measurements of frying fat deterioration». *Journal of the American oils Chemist Society*, 58 (3), 272-274.
- Krokida, M. K., Oreopoulou, Z.B., Maroulis, D., y Marinou-Kouris, D. (2001). «Deep fat frying of potato Strips-Quality issues». *Drying Technology*, 19 (5), 879-935.
- Lalas, S.D. (2003). «Use of rosemary extract in preventing oxidation during deep-fat frying of potato chips». *Journal of the American Oils Chemist Society*, 80 (6), 579-583.
- Lusas, R.W., y Rooney, L.W. (2001). *Snacks Foods Processing*. Florida: CRS Press.
- Mariscal, M., y Bouchon, P. (2008). «Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices». *Food Chemistry*, 107 (4), 1516-1569.
- Matthaus, B. (2006). «Utilization of high-oleic rapessed oil for deep-fat frying of French fries compared to other commonly used edible oils». *European Journal of Lipid Science Technology*, 108 (3), 200-211.
- Mintel Group Ltd. En línea. Obtenido en octubre de 2014 desde: <http://mintel.com>
- Moreira, R., Castell-Perez, M.E., y Barrufet, M.A. (1999). *Deep-Fat Frying: Fundamentals and Applications*. Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Moscicki, L. (2011). *Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*. Weinheim. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Moyano, P.C., y Pedreschi, F. (2006). «Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments». *LWT - Food Science and Technology*, 39 (3), 285-291.
- Nems, A., Peksa, A., Kucharska, A.Z., Sokol-Letowska, A., Kita, A., Drozd, W., y Hamouz, K. (2015). «Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato». *Food Chemistry*, 172, 175-182.
- Pambou-Tobi, N.P., Nzikou, J.M., Matos, L., Ndangui, C.B., Kimbonguila, A., Abena, A.A., Silou, T., Scher, y J., Desobry, S. (2010). «Comparative Study of Stability Measurements for Two Frying Oils: Soybean oils and Refined Palm Oil». *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2 (1) 22-27.
- Pedreschi, F. (2012). «Frying of potatoes: Physical, chemical, and microstructural changes». *Drying Technology*, 30 (7), 707-725.
- Rady, A.M., y Guyer, D.E. (2015). «Evaluation of sugar content in potatoes using NIR reflectance and wavelength selection techniques». *Postharvest Biology and Technology*, 103, 17-26.
- Saguy, S., y Dana, D. (2003). «Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects». *Journal of Food Engineering*, 56, 143-152.
- Su, C., y White, P. (2004). «Frying stability of high-oleate and regular soybean oil blends». *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 81 (8), 783-788.
- Sun, X., y Moreira, R.G. (1994). «Oil distribution of tortilla chips during deep fat-frying». *American Society of Agricultural Engineers*, 94-6506.
- Warner, K., y Gehring, M.M. (2009). «High temperature natural antioxidant improves soy oil for frying». *Journal of Food Science*, 74 (6), C500-C505.

Artículos de Revisión

Composición y usos en productos alimenticios de granada, capulín, garambullo y saúco

G. Ríos-Corripio y J.A. Guerrero-Beltrán

Aceites esenciales encapsulados: métodos de formación, eficiencia y estabilidad

M. Dávila-Rodríguez y M.T. Jiménez-Munguía

Aplicación en alimentos y sistemas modelo de aceites esenciales con potencial antimicrobiano

A.C. Lorenzo-Leal y A. López-Malo

Factores que afectan la vida de anaquel de botanas fritas

F. Díaz-Sánchez, E. M. Santos-López, A. López-Malo

UDLAP[®]

Departamento de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y Alimentos
Universidad de las Américas Puebla