



# Alcances y limitaciones de la **aplicación de aceites esenciales en alimentos**

S. L. Recio-Cázares\*, A. López-Malo y E. Palou

\*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos  
Correo electrónico: [scarlette.reciocs@udlap.mx](mailto:scarlette.reciocs@udlap.mx) • [enrique.palou@udlap.mx](mailto:enrique.palou@udlap.mx)

## RESUMEN

**E**n los últimos años, la creciente demanda de productos más parecidos a los naturales por parte de los consumidores ha promovido el uso de aceites esenciales (AE) en la industria alimentaria como aditivos, suplementos, insecticidas y sanitizantes. Se han estudiado distintos métodos de aplicación de AE en alimentos, sin embargo, un factor importante para su uso industrial es el efecto de estos en los atributos sensoriales, por lo que actualmente, muchas investigaciones están centradas en los métodos que permitan su incorporación en alimentos, buscando la aceptación del consumidor. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es la recopilación de literatura actual donde se mencionen los métodos de aplicación de AE, describiendo sus fundamentos, ventajas y desventajas, y especialmente su efecto en los atributos sensoriales. Además, se abordarán nuevos usos de los AE en industrias relacionadas con la cadena de producción de alimentos.

**Palabras clave:** aceites esenciales, métodos de aplicación, conservadores naturales, atributos sensoriales.

## ABSTRACT

In recent years, a growing demand for more natural-like products by consumers has promoted the use of essential oils (EOs) in the food industry as additives, food supplements, insecticides, and sanitizers. Different methods of applying EOs in food have been studied; however, an important factor for their industrial use is the effect of EOs on sensory attributes. So currently, research is mainly focused on methods that allow the incorporation of EOs in foods, seeking consumer acceptance. Therefore, the objective of this work is to compile current literature reporting several methods of application of EOs, describing their fundamentals, advantages and disadvantages, and especially their effect on sensory attributes. Moreover, new uses of EOs in industries related to the food production chain are considered.

**Keywords:** essential oils, application methods, natural preservatives, sensory attributes.

## INTRODUCCIÓN

La vida útil, las propiedades nutricionales, los atributos sensoriales y la calidad microbiana de los productos alimenticios son aspectos importantes para los consumidores. Debido a esto, las industrias alimentarias buscan hacer uso de sustancias o compuestos que aseguren la inocuidad de sus productos sin comprometer su calidad (Cueva *et al.*, 2011).

Durante la elaboración de alimentos se utilizan distintos conservadores para asegurar la inocuidad y calidad de estos (Prakash y Kiran, 2016). No obstante, la mayoría de los conservadores utilizados son sintéticos y algunos han sido asociados con problemas a la salud a largo plazo, como fallas renales, hipertiroidismo, cirrosis hepática, cáncer, entre otros (Scotter y Castle, 2004; Faleiro, 2011; Manning, 2015; Silano y Silano, 2015; Singh y Ghandi, 2015; Szűcs *et al.*, 2019). Como resultado, existe una demanda creciente de productos naturales que puedan servir como conservadores (Cueva *et al.*, 2011).

Los aceites esenciales (AE) son metabolitos secundarios obtenidos de diferentes plantas, que han sido ampliamente utilizados como conservadores naturales debido a que son, en muchos casos, más seguros que los sintéticos tanto para los seres humanos como el medioambiente (Burt, 2004). Asimismo, se ha demostrado que tienen propiedades biológicas, entre las que destacan las antibacterianas, antiparasitarias, antifúngicas, antioxidantes, desinfectantes e insecticidas (Solórzano-Santos y Miranda-Navales, 2012).

Debido a sus propiedades, los AE han sido utilizados en la industria agroalimentaria. Se han aplicado directamente en los sistemas alimentarios, ya sea en forma de polvo o líquido, por medio de películas o recubrimientos comestibles, en fase vapor, como nanoemulsiones y liposomas (Gyawali e Ibrahim, 2014). Sin embargo, su aplicación en la industria es limitada debido a su impacto en el sabor y olor, especialmente a concentraciones en las que muchos AE presentan un efecto antimicrobiano. Por lo que, la concentración más aceptable en términos tanto de seguridad como de calidad alimentaria estará en función de tipo

de AE, así como de sus compuestos activos, el tipo de alimento al que se incorpora, el método de aplicación y los métodos de producción de alimentos (Goñi *et al.*, 2009).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo es la recopilación de literatura actual donde se mencionen diversos métodos de aplicación de los AE, describiendo sus fundamentos, alcances y limitaciones, especialmente su efecto en los atributos sensoriales. Además, se abordarán nuevos usos de los AE en industrias relacionadas con la cadena de producción de alimentos.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1. Métodos de aplicación de aceites esenciales en alimentos y sus efectos en atributos sensoriales

#### 1.1. Contacto directo

Este método de aplicación consiste en agregar el AE, ya sea en forma de polvo o líquido, directamente en los sistemas alimentarios. Sin embargo, su aplicación es limitada, debido al fuerte olor y sabor que los AE imparten a los productos alimenticios, especialmente a concentraciones en las que son considerados agentes antimicrobianos. Por lo que muy pocos AE cumplen con las características químicas (composición cualitativa y cuantitativa, concentración requerida), físicas (solubilidad, volatilidad) y sensoriales (fuertes sabores o aromas) requeridas para ser aplicados por contacto directo (Ribeiro-Santos *et al.*, 2017).

Estudios *in vitro* e *in vivo*, han reportado que el efecto antimicrobiano de los AE se debe a la presencia de diferentes compuestos activos que actúan de manera sinérgica (Cava *et al.*, 2007; Budka y Khan, 2010; Jahani *et al.*, 2020). No obstante, Fisher y Phillips (2006) mencionaron que las concentraciones obtenidas en condiciones *in vitro* no siempre son eficaces cuando se aplican en un alimento, por lo que la concentración de AE necesaria para observar el mismo efecto podría aumentar y afectar los niveles sensoriales aceptables (Ribeiro-Santos *et al.*, 2017).

### 1.1.1. Aplicación de aceites esenciales en contacto directo y su efecto en diversos atributos sensoriales

La aplicación de AE por contacto directo se ha probado en diferentes alimentos, como productos cárnicos (hamburguesas de carne, carne molida, salchichas, pescado, entre otros) y frutas (piña, mango, guayaba y manzana). En general, los AE de canela (*Cinnamomum verum*), hierbabuena (*Mentha spicata*), toronjil (*Melissa officinalis*), ajedrea (*Satureja montana*) y enebro (*Juniperus communis*) han presentado buenos resultados contra bacterias patógenas como *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella Thypimurium* y *Escherichia coli* (De Sousa Guedes *et al.*, 2016; Ghabraie *et al.*, 2016; Sharma *et al.* 2017; Abdeldaiem *et al.*, 2017; Nikkhah y Hashemi, 2020). Por su parte, los AE de romero (*Salvia rosmarinus*) y canela reducen y previenen el crecimiento de bacterias Gram positivas como *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes* (Ghabraie *et al.*, 2016; Abdeldaiem *et al.*, 2017), las cuales son más sensibles a la presencia de AE (Bhavaniramya *et al.*, 2019).

El efecto sobre los atributos sensoriales de AE aplicados por contacto directo en sistemas alimentarios se muestra en la tabla I. Algunos autores reportan su aplicación en la conservación del pescado, Abdeldaiem *et al.* (2017) adicionaron 4 tipos de AE: hinojo (*Foeniculum vulgare*), cardamomo (*Elettaria cardamomum*), canela o romero en dedos de pescado y evaluaron su aceptabilidad (apariencia, olor y textura) durante el almacenamiento a -4 °C; observándose que, además de alargar la vida útil del producto a un total de 12 días durante el almacenamiento (la de la muestra de control sin AE fue de 4 días), también mejoraron sus características sensoriales. El AE de romero presentó los mejores resultados, ya que fue aceptado en los tres atributos mencionados. Por otro lado, Emir Çoban *et al.* (2014) evaluaron los AE de romero, tomillo (*Thymus vulgaris*), salvia (*Salvia officinalis*) y clavo (*Syzygium aromaticum*), en filetes de trucha ahumada almacenados a 4 °C. A diferencia de los resultados anteriores, los filetes de pescado con AE de romero tuvieron una aceptabilidad sensorial más baja en comparación con los otros AE utilizados (tomillo, salvia y clavo), lo cual podría

deberse a que los filetes de trucha se evaluaron ahumados y no crudos, como los dedos de pescado, afectando la afinidad de los AE con el producto alimenticio. Burt (2004) menciona que el efecto sensorial negativo puede ser minimizado mediante una correcta selección del AE según el tipo de alimento, por ejemplo, la canela tiene mejor afinidad con diversas frutas y sus productos (Pateiro *et al.*, 2018; Perricone *et al.*, 2015).

Un claro ejemplo de lo anterior se observó en *burfi* (un postre de la India) adicionado con AE de clavo y curri (*Murraya koenigii*) (Badola *et al.*, 2018) y en jugos de guayaba, piña, mango y manzana *cashew* con AE de hierbabuena y toronjil (De Sousa Guedes *et al.*, 2016). En ambos estudios se logró la inhibición de microorganismos; sin embargo, las propiedades sensoriales se vieron afectadas negativamente, ya que el sabor del AE disminuía la aceptabilidad sensorial (sabor, olor, resabio o aceptabilidad general).

Uno de los usos más comunes de los AE por contacto directo es en productos cárnicos. Se ha reportado que el AE de canela al 0.25 % y una combinación de canela china (*Cinnamomum cassia*) y corteza de canela al 0.05 % generan una buena aceptabilidad sensorial en carne lista para comer y salchichas de pollo, respectivamente (Ghabraie *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2017). Al igual que la pimienta china en *sashimi*, donde los atributos sensoriales estudiados fueron aceptables (He *et al.*, 2019).

Por otro lado, el AE de ajedrea, el cual es poco común, se aplicó en salchichas de cerdo (Šojić *et al.*, 2019) y carne de res marinada con vino (Vasilijević *et al.*, 2019). En ambos trabajos se hace notar que el sabor del AE afectó negativamente los atributos sensoriales (olor y sabor). Sin embargo, el método de extracción del AE puede modificar su composición. Šojić *et al.* (2019) reportaron que el AE de ajedrea extraído mediante hidrodestilación poseía un olor picante, debido a que la concentración de terpenos volátiles fue más alta, a diferencia del AE extraído mediante fluido supercrítico, esta tecnología disminuyó la cantidad de compuestos volátiles (terpenos) y puede mejorar la aceptabilidad sensorial al reducir los olores/sabores picantes.

**Tabla 1.** Efecto de algunos aceites esenciales aplicados por contacto directo sobre los atributos sensoriales de diversos alimentos

Aceite	Concentración	Alimento	Atributo sensorial	Resultados principales	Referencias
Salvia ( <i>Salvia officinalis</i> ), romero ( <i>Salvia rosmarinus</i> ), tomillo ( <i>Thymus vulgaris</i> ) y clavo ( <i>Syzygium aromaticum</i> )	600 ppm	Trucha arcoiris ahumada	Apariencia, sabor y olor	El AE de clavo tuvo mayor aceptación en todos los atributos.	Emir Çoban <i>et al.</i> , 2014
Hisopo ( <i>Hyssopus officinalis</i> ) y cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> )	0.02 %	Carne de res molida	Olor y sabor	AE de cilantro tuvo mayor aceptación en ambos atributos.	Michalczyk <i>et al.</i> , 2012
Hierbabuena ( <i>Mentha spicata</i> ) y toronjil ( <i>Melissa officinalis</i> )	0.625 y 1.25 $\mu\text{L/mL}$ , respectivamente	Jugos de piña, mango, guayaba y nuez de la India	Apariencia, olor, viscosidad, sabor, resabio y aceptabilidad general	Ambos AE tuvieron efectos negativos en el sabor, el resabio y la aceptabilidad general. El AE de hierbabuena tuvo mayor aceptación en los otros atributos estudiados.	De Sousa Guedes <i>et al.</i> , 2016
Combinación de canela china ( <i>Cinnamomun cassia</i> ) y corteza de canela ( <i>Cinnamomum verum</i> )	0.05 %	Carne lista para comer y carne molida magra	Sabor y olor en ambos tipos de carne	El AE tuvo mayor aceptación en ambas carnes, en ambos atributos.	Ghabraie <i>et al.</i> , 2016
Hinojo ( <i>Foeniculum vulgare</i> ), cardamomo ( <i>Elettaria cardamomum</i> ), canela y romero	10 mL/kg	Dedos de pescado	Apariencia, olor y textura	El AE de romero tuvo mayor aceptación en todos los atributos hasta los 12 días de almacenamiento.	Abdeldaiem <i>et al.</i> , 2017
Clavo, albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ), tomillo y canela china	0.25, 0.125, 0.25 y 0.125 %	Salchichas de pollo	Apariencia, sabor, jugosidad, textura y aceptabilidad general	El AE de canela china al 0.25 % tuvo mayor aceptación en todos los atributos.	Sharma <i>et al.</i> , 2017
Clavo y curri ( <i>Murraya koenigii</i> )	0.05, 0.15 y 0.25 %	Burfi	Sabor, cuerpo, textura, color, apariencia y aceptabilidad general	El sabor y aceptabilidad general se vieron afectados conforme se aumentó la concentración del AE. El AE de clavo al 0.15 % tuvo la mayor aceptación.	Badola <i>et al.</i> , 2018
Ajedrea ( <i>Satureja montana</i> )	0.075 y 0.150 $\mu\text{L/g}$	Salchichas de cerdo	Sabor, olor y aceptabilidad general	El AE obtenido por extracción con fluido supercrítico a una concentración de 0.075 $\mu\text{L/g}$ tuvo mayor aceptación en todos los atributos.	Šojić <i>et al.</i> , 2019

**Tabla 1.** Efecto de algunos aceites esenciales aplicados por contacto directo sobre los atributos sensoriales de diversos alimentos (continuación)

Aceite	Concentración	Alimento	Atributo sensorial	Resultados principales	Referencias
Enebro ( <i>Juniperus communis</i> ) y ajedrea	0.0625, 0.125, 0.25 y 0.5 %	Carne de res marinada con vino	Sabor marinado y defectos de olor	El AE de enebro al 0.25 % tuvo mayor aceptación en ambos atributos. Como defectos de sabor y olor, se reporta un sabor picante, agudo y artificial con el AE de ajedrea.	Vasiljević <i>et al.</i> , 2019
Pimienta china ( <i>Zanthoxylum piperitum</i> )	0.3 %	Sashimi	Color, olor, textura y aceptabilidad general	Tuvo buena aceptabilidad en todos los atributos hasta los 15 días de almacenamiento.	He <i>et al.</i> , 2019
Combinación de tomillo, romero y canela	0.078, 0.625 y 0.156 g/L, respectivamente	Jujube	Textura, sabor, aroma y aceptabilidad general	La combinación de AE no generó efectos negativos en los atributos evaluados.	Nikkhah y Hashemi, 2020

AE = aceite esencial/aceites esenciales.

## 1.2. Fase vapor

Este método de aplicación consiste en evaluar el vapor generado por los AE sobre distintos sistemas alimentarios. Se ha reportado que tiene un mayor efecto antimicrobiano en comparación con los AE en forma líquida aplicados por contacto directo, debido a que se requiere más volumen de AE líquido para lograr el mismo efecto biológico que en forma gaseosa (Reyes-Jurado *et al.*, 2019).

La volatilidad de los AE depende de factores como el peso molecular de sus componentes, ya que entre más pequeña sea la molécula, su difusividad es más alta (Saifullah *et al.*, 2019); adicionalmente, al elevar la temperatura del ambiente fomenta la migración de los compuestos volátiles (Ribeiro-Santos *et al.*, 2017). Debido a que no existe un método estándar y a la variación en la composición (determinada tanto cualitativa como cuantitativamente) de los AE, la comparación de los resultados de la actividad antimicrobiana en fase vapor es difícil. Uno de los métodos más prometedores para este propósito parece ser la

prueba de volatilización de disco (Mejía-Garibay *et al.*, 2015), el cual puede ser modificado para la conservación de alimentos generando «empaques activos», que permiten la volatilización y migración de los componentes activos del «disco en el empaque» al alimento (Ribeiro-Santos *et al.*, 2017).

### 1.2.1. Aplicación de aceites esenciales en fase vapor y su efecto en diversos atributos sensoriales

El efecto en distintos atributos sensoriales de una selección de AE aplicados en fase vapor en diferentes sistemas alimentarios se enlista en la tabla II. Se han utilizado AE contra diversos mohos patógenos (*Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium* y *Botrytis*) en frutas como manzanas y uvas. En el caso específico de las uvas, se realizó un análisis sensorial a través de una prueba triangular para observar si el tiempo de exposición del AE afectaba los atributos sensoriales; los resultados indicaron que la exposición a AE de lavanda (*Lavandula*), romero (*Salvia rosmarinus*) y menta (*Mentha piperita*) podían ser percibidos

incluso 24 horas después del tratamiento, debido a la gran cantidad de compuestos aromáticos que contienen (Servili *et al.*, 2017). Por otro lado, Frankova *et al.* (2016) evaluaron la aceptabilidad sensorial de manzanas tratadas con AE de orégano (*Origanum vulgare*), canela (*Cinnamomum verum*) y clavo (*Syzygium aromaticum*) en fase vapor con una escala no estructurada; al aumentarse la concentración de los AE de orégano y canela presentaron aromas diferentes a la manzana. Aunque el AE de orégano mostró mejor actividad antifúngica (CMI: 2  $\mu\text{L}$  de AE/ $L_{\text{aire}}$ ), afectó negativamente los atributos sensoriales

cuando se usaba a esta concentración. Esto puede deberse a que se ha reportado que el AE de orégano proporciona un sabor herbáceo, a diferencia del sabor dulce que imparte el AE de canela (Pateiro *et al.*, 2018; Perricone *et al.*, 2015). Este último también ha sido evaluado y aceptado en vegetales como champiñones (Jiang *et al.*, 2015). Por lo tanto, una solución para minimizar los cambios sensoriales es reducir el tiempo de exposición a los vapores de los aceites o prolongar el tiempo entre el tratamiento y el consumo del producto tratado (Servili *et al.*, 2017).

**Tabla II.** Efecto de algunos aceites esenciales aplicados por fase vapor sobre los atributos sensoriales de diversos alimentos

Aceite	Concentración	Alimento	Atributo sensorial	Resultados principales	Referencias
Canela ( <i>Cinnamomum verum</i> ), tomillo ( <i>Thymus vulgaris</i> ) y clavo ( <i>Syzygium aromaticum</i> )	5 $\mu\text{L}/\text{L}$	Champiñones	Olor y apariencia	El AE de canela tuvo mayor aceptación en ambos atributos durante 20 días de almacenamiento.	Jiang <i>et al.</i> , 2015
Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ), canela y clavo	4 y 16 $\text{mL}/\text{L}$	Manzanas	Sabor y olor	El AE de canela tuvo mayor aceptación en ambos atributos hasta los 14 días de almacenamiento.	Frankova <i>et al.</i> , 2016
Lavanda ( <i>Lavandula</i> ), romero ( <i>Salvia rosmarinus</i> ) y menta ( <i>Mentha piperita</i> )	5 $\text{mL}$	Uvas	Sabor	Los jueces percibieron la diferencia entre el control sin AE y con AE hasta las 24 horas. El AE más percibido fue el de lavanda.	Servili <i>et al.</i> , 2017
Pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> ), romero y tomillo	0.8-11.7 $\text{mL}/\text{Laire}$	Semillas de alfalfa germinadas	Grado de diferencia en general entre las semillas germinadas con y sin AE	Hubo una diferencia moderada en las semillas con AE de pimienta gorda y tomillo, y diferencia ligera con el AE de tomillo. Además, los germinados de las semillas tratadas con AE de pimienta gorda tuvieron mayor aceptación sensorial.	Lorenzo-Leal <i>et al.</i> , 2019
Tomillo, comino, clavo y orégano	125-500 $\mu\text{L}$	Rebanadas de pan	Aceptabilidad general de olor y sabor	Hubo buena aceptabilidad con AE de tomillo y comino hasta los 4 días de almacenamiento.	Císarová <i>et al.</i> (2020)

AE = aceite esencial/aceites esenciales.

De igual forma, Mani López *et al.* (2018) y Císarová *et al.* (2020) evaluaron la exposición de diferentes AE en pan para la inhibición de mohos de los géneros *Penicillium* [AE de zacate limón (*Cymbopogon citratus*)] y *Aspergillus* [AE de tomillo (*Thymus vulgaris*), clavo, comino (*Cuminum cyminum*) y orégano], respectivamente. En ambos trabajos reportan que los atributos sensoriales de olor, sabor y aceptabilidad general fueron aceptables incluso después de 21 días de almacenamiento con el AE de zacate limón y 14 días con los AE de tomillo y comino.

Por otra parte, Lorenzo-Leal, Palou y López-Malo (2019) evaluaron la actividad antimicrobiana en fase de vapor de AE de pimienta gorda (*Pimenta dioica*), tomillo y romero, contra *Listeria monocytogenes* y *Salmonella Typhimurium* en semillas de alfalfa. Además, realizaron un análisis sensorial a través de una prueba triangular con la que encontraron que la diferencia entre las muestras fue moderada entre AE de pimienta gorda y tomillo, y ligeramente para las semillas germinadas tratadas con AE de romero. Estos autores destacan que la mayoría de los panelistas prefirieron los brotes de las semillas tratadas con AE de pimienta gorda y de romero a las muestras de control que no contenían AE. Esto comprueba que algunos AE en fase vapor a una concentración adecuada pueden tener un impacto positivo en los atributos sensoriales de diversos productos alimenticios.

### 1.3. Nanoemulsiones

Otra alternativa para la aplicación de AE es la encapsulación; esta se define como una tecnología que permite atrapar componentes sensibles en una matriz homogénea o heterogénea, lo cual le brinda protección e incrementa su estabilidad a condiciones adversas, además, ayuda a controlar su liberación (García-Ceja y López-Malo, 2012). Existen diferentes métodos de encapsulación, entre ellos se encuentra la coacervación simple o compleja, el secado por aspersión, el recubrimiento por lecho fluidizado, y las emulsiones/nanoemulsiones (Velázquez-Contreras *et al.*, 2014).

Las emulsiones han demostrado ser buenas portadoras para la entrega de sustancias lipídicas como lo son los AE. Las emulsiones se componen de dos fases, la oleosa (O) y la acuosa (W). La emulsión aceite en agua (O/W) consiste en pequeñas gotas de aceite como fase dispersa contenidas en el agua como fase continua; y en la emulsión de agua en aceite (W/O) las gotas de

la fase dispersa son de agua y la fase continua es aceite. En la industria de alimentos, las emulsiones más comunes son del tipo O/W, así como las micro- o nano-emulsiones.

La característica primordial de las nanoemulsiones es su tamaño de gota (entre 20 y 1000 nm) y se puede preparar utilizando diferentes métodos, como la homogenización a alta presión, la microfluidización, la homogenización mecánica a alta velocidad, ultrasonidos, emulsión espontánea y la inversión de fase, entre otros (Jin *et al.*, 2016; Walker *et al.*, 2015). Su importancia radica en que el tamaño de partícula nanométrica permite aumentar la biodisponibilidad, bioeficiencia y estabilidad (McClements, 2011).

#### 1.3.1. Aplicación de aceites esenciales por nanoemulsiones en alimentos y su efecto en diversos atributos sensoriales

El uso e incorporación de las nanoemulsiones de AE en alimentos es una técnica que ha ganado relevancia, debido a que el incremento de la superficie de contacto mejora la actividad antimicrobiana, ya que los componentes activos están más disponibles (Otoni *et al.*, 2014). Aunque las nanoemulsiones han tenido mayor aplicación en alimentos que otros métodos, el enfoque sensorial aún es escaso, puesto que pocos reportes han estudiado el efecto de las nanoemulsiones en las propiedades sensoriales de los alimentos.

La aplicación de nanoemulsiones en alimentos se ha probado principalmente en la conservación de pescados (tabla III). Ozogul *et al.* (2017) evaluaron el efecto antimicrobiano de nanoemulsiones con AE de romero (*Salvia rosmarinus*), laurel (*Laurus nobilis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y sábila (*Aloe vera*) sobre la calidad de trucha arcoíris. Los resultados del análisis microbiológico indicaron que los AE redujeron hasta 3 Log UFC/g el recuento de bacterias anaerobias mesofílicas, bacterias psicrótrofas (principales microorganismos responsables del deterioro de pescado fresco) y enterobacterias; además incrementó 3 días más la vida útil del pescado tratado con los AE, llegando a un total de 17 días (la de la muestra de control sin AE fue de 14 días). Del mismo modo, Alfonzo *et al.* (2017) evaluaron el efecto antimicrobiano del AE de limón (*Citrus × limon*) contra las mismas bacterias, teniendo como resultado la reducción de solo 2 Log UFC/g. En cuanto a la evaluación sensorial, ambos estudios

utilizaron una escala hedónica de 9 y 10 puntos, respectivamente, para la evaluación del sabor, olor y textura en los pescados. Los AE probados en ambos pescados tuvieron una buena aceptabilidad en todos los atributos, con excepción del AE de romero, el cual obtuvo la calificación más baja debido a que le daba un sabor amargo a la trucha.

Del mismo modo, se han evaluado nanoemulsiones con AE de orégano (*Origanum vulgare*), tomillo y anís estrellado (*Illicium verum*) en carpa china (Huang *et al.*, 2018), así como orégano, tomillo y ajo en salmón y bacalao (Pedrós-Garrido *et al.*,

2020). En ambos estudios se determinó que el AE de orégano, además de presentar la mejor actividad antimicrobiana contra *Pseudomonas* (reducción de 1 Log UFC/g) y *Listeria* (CMI 0.02 %), también mostraba la mejor aceptabilidad sensorial en cuanto a olor, color y textura y podía alargar la vida útil en carpa china por 2 días, logrando un total de 4 días (la de la muestra de control sin AE fue de 2 días). Sin embargo, los AE probados en bacalao enmascaraban el sabor característico de este pescado, por lo que no todos los AE tienen un efecto positivo en las propiedades sensoriales de los pescados.

**Tabla III.** Efecto de algunos aceites esenciales aplicados por nanoemulsiones sobre los atributos sensoriales de diversos alimentos

Aceite	Concentración	Alimento	Atributo sensorial	Resultados principales	Referencias
Limón ( <i>Citrus × limon</i> )	0.3 y 1 %	Sardinas saladas	Olor, textura y sabor	Hubo buena aceptación en todos los atributos con ambas concentraciones de AE.	Alfonzo <i>et al.</i> , 2017
Romero ( <i>Salvia rosmarinus</i> ), laurel, tomillo ( <i>Thymus vulgaris</i> ) y sábila ( <i>Aloe vera</i> )	4 %	Trucha arcoiris	Sabor, olor, color y aceptabilidad general	Los AE de tomillo y laurel tuvieron mayor aceptación en todos los atributos.	Ozogul <i>et al.</i> , 2017
Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ), tomillo y anís estrellado	0.1 %	Carpa china	Color, olor, textura y aceptabilidad general	El AE de orégano tuvo mayor aceptación en todos los atributos hasta los 10 días de almacenamiento.	Huang <i>et al.</i> , 2018
Canela ( <i>Cinnamomum verum</i> ), romero y orégano	10 %	Apio	Olor, color, textura, apariencia, sabor y aceptabilidad general	El AE de canela tuvo mayor aceptación en todos los atributos.	Dávila <i>et al.</i> , 2019
Orégano y romero	40 y 80 µL/mL, respectivamente	Queso fresco	Olor, apariencia, sabor y textura	Ambos AE tuvieron un efecto positivo en aroma y sabor hasta los 21 días de almacenamiento.	Diniz-Silva <i>et al.</i> , 2019
Zacate limón ( <i>Cymbopogon citratus</i> ), ajo ( <i>Allium sativum</i> ), orégano y tomillo	0.2, 0.4 y 0.8 %	Salmón y bacalao	Generar los atributos sensoriales para cada uno	El AE de orégano al 0.2 % tuvo la mayor aceptación para el salmón. Mientras que todos los AE probados enmascararon el sabor propio del bacalao.	Pedrós-Garrido <i>et al.</i> , 2020

AE = aceite esencial/aceites esenciales.

Por su parte, Dávila-Rodríguez, López-Malo, Palou, Ramírez-Corona y Jiménez-Munguía (2019) evaluaron la actividad antimicrobiana contra *E. coli* y *Listeria monocytogenes* de los AE de canela (*Cinnamomum verum*), romero y orégano encapsulados por nanoemulsiones (o/w), comparando con los mismos aceites no encapsulados. Estos últimos fueron menos eficaces que las nanoemulsiones. Para inhibir la misma carga microbiana (5 Log UFC/g) se requirió 50 % menos AE cuando se aplicó en nanoemulsión. Al mismo tiempo, realizaron el análisis sensorial utilizando una escala hedónica de 9 puntos, evaluando los atributos de olor, color, textura, apariencia, sabor y aceptabilidad general, aplicando las nanoemulsiones de los AE en apio fresco. Como resultado encontraron que el apio con las nanoemulsiones del AE de canela fue el mejor aceptado, ya que enmascaraba el sabor típico del apio, el cual no suele ser tan aceptado por algunos consumidores. Al igual que Ozogul *et al.* (2017), encontraron que el AE de romero era el menos aceptado debido al aroma herbáceo y sabor amargo que imparte, por lo que este AE no es aceptado en varios tipos de alimentos.

#### 1.4. Películas comestibles

El uso de materiales biodegradables puede ser un medio importante para la incorporación de AE. Debido a esto y con la finalidad de reducir el consumo de empaques plásticos, se han generado empaques biodegradables, así como películas y recubrimientos comestibles para el almacenamiento de alimentos frescos o procesados.

Una película comestible (PC) es una capa preformada de materiales comestibles, elaborada a base de biopolímeros como carbohidratos, proteínas y lípidos (Sánchez Aldana *et al.*, 2014), que puede aplicarse sobre los alimentos para prolongar su vida útil. Estudios previos han demostrado que las películas elaboradas a partir de carbohidratos son ampliamente utilizadas debido a que presentan buenas propiedades mecánicas y actúan como barrera contra compuestos de baja polaridad; sin embargo, pueden presentar alta permeabilidad contra la humedad (Parra *et al.*, 2004). Por otro lado, las películas comestibles elaboradas a base de proteína, como la gelatina, son excelentes barreras al oxígeno, dióxido de carbono y algunos compuestos aromáticos; no obstante, sus propiedades mecánicas no son tan eficientes (Jang *et al.*, 2011).

Además de la matriz polimérica principal, es necesaria la incorporación de algunos aditivos como agentes plastificantes. Los cuales son sustancias no volátiles de bajo peso molecular que, al adicionarse a un material polimérico, modifican las propiedades físicas y mecánicas, por ejemplo, su flexibilidad, manejabilidad y habilidad de extensión (Osés *et al.*, 2009).

##### 1.4.1. Aplicación de aceites esenciales por películas en alimentos y su efecto en diversos atributos sensoriales

La aplicación de empaques comestibles como coadyuvantes en la conservación (almacenamiento, calidad y seguridad) de alimentos, es una de las soluciones más eficaces para asegurar la inocuidad de estos (Gómez-Estaca *et al.*, 2014).

Las películas comestibles pueden aplicarse como envoltura, método de embalaje, o separación entre capas (Ribeiro-Santos *et al.*, 2017). No obstante, cuando la película recubre directamente al producto, al ser ingerida puede modificar las características sensoriales del producto. Por otro lado, la migración de los compuestos presentes en la película puede ocurrir, similar al fenómeno de transferencia de masa en la fase vapor, dando el mismo resultado en la alteración del aroma y sabor. A pesar de esto, muy pocos estudios han realizado el análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad de los diferentes alimentos que han utilizado películas comestibles a base de AE como método de conservación.

En la tabla IV se presentan diversos estudios donde se han aplicado películas comestibles con AE y su efecto en las características sensoriales de diversos productos cárnicos y pescados. En general, los AE modificaron los atributos sensoriales estudiados. Se han evaluado PC de alginato de sodio con AE de orégano (*Origanum vulgare*) y romero (*Salvia rosmarinus*) en filetes de carne de res (Vital, Guerrero, Kempinski *et al.*, 2018), y con AE de jengibre (*Zingiber officinale*) y orégano en filetes de tilapia (Vital, Guerrero, Ornaghi *et al.*, 2018). Los resultados indicaron que las PC con AE de orégano afectaban negativamente las propiedades sensoriales (olor, sabor y aceptabilidad general) en ambos productos y los evaluadores preferían los filetes de res y tilapia con AE de romero y jengibre, respectivamente. No obstante, se ha reportado que el AE de orégano aplicado en PC de quitosano en pargo rojo, mantiene buenos atributos sensoriales (olor y sabor) incluso después de 20 días de almacenamiento (Vatavali *et al.*, 2013).

Un AE menos común es el de zataria (*Zataria multiflora*), cuyo componente principal es el timol (sabor a especias y madera), el cual fue incorporado a una PC de almidón y confirió buenas propiedades sensoriales a empanadas de carne molida (Amiri *et al.*, 2019). Este mismo compuesto se encuentra presente en el AE de tomillo (*Thymus vulgaris*), el cual ha sido evaluado por Agrimonti

*et al.* (2019) en las afectaciones al color, olor y sabor de carne molida; Yemiş y Candoğan (2017), por su parte, analizaron la apariencia, color, olor, sabor y aceptabilidad general en carne de res; mientras que Soncu *et al.* (2018) estudiaron el olor, color, sabor y aceptabilidad general en salchichas. Todos estos autores destacan que el uso del AE de tomillo generó buenos atributos sensoriales.

**Tabla IV.** Efecto de algunos aceites esenciales aplicados por películas comestibles (PC) sobre los atributos sensoriales de diversos alimentos

PC	Aceite	Concentración	Alimento	Atributo sensorial	Resultados principales	Referencias
Quitosano	Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> )	0.1	Pargo rojo	Olor y sabor	Hubo buena aceptabilidad para ambos atributos durante 20 días de almacenamiento.	Vatavali <i>et al.</i> , 2013
Quitosano	Anís ( <i>Pimpinella anisum</i> )	1.5 y 2	Hamburguesas de pollo	Olor y sabor	Hubo buena aceptabilidad en todos los atributos durante 12 días de almacenamiento.	Mahdavi <i>et al.</i> , 2017
Soya	Tomillo ( <i>Thymus vulgaris</i> ) y orégano	1, 2 y 3	Carne de res	Apariencia, color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general de la carne cocida	No hubo diferencia significativa en apariencia, color, olor y textura. El AE de tomillo al 1 % tuvo mayor aceptación en sabor y aceptabilidad general.	Yemiş y Candoğan, 2017
Goma farsí	Clavo ( <i>Syzygium aromaticum</i> ) y tomillo	1 y 2	Trucha arcoíris	Textura, color, olor y aceptabilidad general	La combinación de los AE al 2 % mostró mejores resultados en todos los atributos hasta el día 12 de almacenamiento.	Dehghani <i>et al.</i> , 2018
Quitosano	Romero ( <i>Salvia rosmarinus</i> ) y tomillo	0.2-0.1	Sucuk	Olor, color, sabor y aceptabilidad general de las salchichas crudas y cocidas	El AE de tomillo al 1 % tuvo mayor aceptación en todos los atributos en ambas salchichas.	Soncu <i>et al.</i> , 2018
Alginato de sodio	Orégano y romero	0.1	Filetes de carne de res	Sabor, olor y aceptabilidad general	La PC con AE de romero tuvo mayor aceptación en todos los atributos.	Vital, Guerrero, Kempinski <i>et al.</i> , 2018
Alginato de sodio	Jengibre ( <i>Zingiber officinale</i> ) y orégano	0.1	Filetes de tilapia	Olor, sabor, textura y aceptabilidad general	El olor fue el único atributo que mostró diferencias; el AE de jengibre tuvo mayor aceptación.	Vital, Guerrero, Ornaghi <i>et al.</i> , 2018

**Tabla IV.** Efecto de algunos aceites esenciales aplicados por películas comestibles (PC) sobre los atributos sensoriales de diversos alimentos (continuación)

PC	Aceite	Concentración	Alimento	Atributo sensorial	Resultados principales	Referencias
Celulosa	Orégano, tomillo y canela ( <i>Cinnamomum verum</i> )	1	Carne de res picada	Color, olor y sabor en la carne cocida	Los AE de orégano y tomillo tuvieron mayor aceptación en todos los atributos, en relación con el AE de canela, hasta los 15 días de almacenamiento.	Agrimonti <i>et al.</i> , 2019
Almidón	Zataria ( <i>Zataria multiflora</i> )	6	Empanadas de carne molida	Sabor, color y olor de la carne cocida.	Hubo buena aceptación en todos los atributos evaluados.	Amiri <i>et al.</i> , 2019

AE = aceite esencial/aceites esenciales.

## 1.5. Liposomas

Los liposomas son otro método de encapsulación y se definen como vesículas con una estructura esférica, constituidas por una bicapa fosfolípida (o dos o más de esas bicapas, separadas por regiones líquidas) que encierran material acuoso o soluble en lípidos. Los liposomas, cuyo tamaño puede variar desde unos pocos nanómetros hasta 1  $\mu\text{m}$  de diámetro, suelen emplearse como sistemas de suministro de una amplia variedad de compuestos bioactivos como los AE (Khorasani *et al.*, 2018).

El proceso convencional de fabricación de liposomas se basa en el uso de solventes orgánicos para disolver las unidades de construcción de los liposomas, la eliminación del disolvente para formar la bicapa lipídica y la subsiguiente dispersión de alta energía de la bicapa en agua para formar los liposomas. Sin embargo, su baja capacidad de carga, el alto costo de los materiales y la necesidad de procedimientos de preparación complejos, limitan su aplicación en producciones a gran escala (Fathi *et al.*, 2019).

### 1.5.1. Aplicación de aceites esenciales por liposomas en alimentos y su efecto en diversos atributos sensoriales

Para superar la volatilidad e inestabilidad de los AE, se han estudiado las ventajas de los liposomas para encapsular los AE y

protegerlos contra entornos externos que podrían acelerar su volatilidad (Lin *et al.*, 2018). Shidhaye *et al.* (2008) informaron que los liposomas podrían mejorar la estabilidad química y la biodisponibilidad de los antimicrobianos hidrofóbicos como los AE y sus compuestos bioactivos. Se ha estudiado el efecto antimicrobiano de los liposomas con distintos AE, tales como curry, eucalipto, canela, romero y nuez moscada (Valencia-Sullca *et al.*, 2016; Cui *et al.*, 2017; Tang y Ge, 2017; Maccioni *et al.*, 2019; Zhu, Li, Cui y Lin, 2020); sin embargo, la aplicación y el estudio en alimentos aún es escaso.

En general, los pocos estudios de liposomas con AE aplicados en alimentos se han evaluado en distintos tipos de carne. Lin *et al.* (2019) evaluaron el efecto antimicrobiano del AE de crisantemo (*Chrysanthemum*) en diferentes concentraciones en liposomas (de triple capa) de quitosano y pectina, contra *Campylobacter jejuni* en pollo fresco. Se demostró que los liposomas presentan una alta actividad antimicrobiana contra *C. jejuni* en el pollo, logrando reducir 3.2 Log UFC/mL. Además, realizaron un análisis sensorial a través de una escala hedónica de 7 puntos, en donde evaluaron diferentes atributos como el color, olor, sabor y aceptación general del pollo. Los resultados indicaron que los liposomas de triple capa con el AE de crisantemo no solo podían minimizar el deterioro del pollo, sino también mantener su calidad sensorial.

Por otra parte, Wu *et al.* (2019) realizaron liposomas para encapsular AE de laurel (*Laurus nobilis*) (50  $\mu$ L) y nanopartículas de plata, mezclados con quitosano con el fin de recubrir películas de polietileno para empacar carne de cerdo. Se demostró una buena actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, manteniendo la calidad de la carne de cerdo a 4 °C durante 15 d. De forma paralela, se realizó el análisis sensorial a través del método descriptivo; los parámetros del análisis sensorial de la carne incluyeron color, viscosidad, elasticidad y sabor, evaluados y calificados con una escala de 1 a 10. La evaluación sensorial mostró que los liposomas tienen un efecto positivo en la conservación de la calidad de la carne de cerdo (color, sabor, viscosidad y elasticidad) y podrían utilizarse para prolongar la vida útil de la carne de cerdo fresca almacenada a 4 °C.

## 2. Ventajas y desventajas de los métodos de aplicación de AE en alimentos

En la tabla V se enlistan las ventajas y desventajas de los métodos de aplicación de AE mencionados en esta revisión. Dentro de estas se destaca que el uso de nanoemulsiones o aplicados en fase vapor requieren una menor cantidad de AE para lograr los mismos efectos que los generados por contacto directo (Tongnuanchan y Benjakul, 2014), debido primordialmente a que se incrementa el área de exposición (Císarová *et al.*, 2016; Artiga-Artigas *et al.*, 2018). Sin embargo, un aspecto negativo es que no hay métodos estandarizados para la aplicación de AE en fase vapor y la inestabilidad de las nanoemulsiones puede generar separación de las fases y no lograr una correcta incorporación del AE en el alimento (Císarová *et al.*, 2016; Artiga-Artigas *et al.*, 2018).

En el caso de las películas comestibles, se requieren métodos de dispersión previos para su preparación; sin embargo, son efectivas y reemplazan el uso de materiales como el plástico (Umaraw *et al.*, 2020), el cual es muy utilizado en el área alimentaria. Por otra parte, el uso de liposomas parece ser un método

prometedor; sin embargo, su aplicación en alimentos todavía es escasa. Esto representa una oportunidad de investigación para su posible empleo en la conservación de alimentos.

Debido a las diferencias inherentes en los métodos de aplicación, no puede realizarse una adecuada comparación entre ellos, ya que tanto las concentraciones de los AE como su liberación controlada o la migración de algunos de sus compuestos, pueden alterar las propiedades sensoriales de los alimentos tratados. Con base en los diferentes estudios, el método de aplicación influirá en las características sensoriales de los productos alimenticios, por lo que la selección del método dependerá del AE y de la matriz alimenticia. En general, se busca que el uso de AE en alimentos proporcione atributos sensoriales favorables. Es importante enfatizar que, de acuerdo con los compuestos activos de cada AE, estos brindarán características sensoriales diferentes en cada grupo alimenticio, por lo que es fundamental conocer qué compuestos son responsables del aroma y/o sabor.

## 3. Nuevas tendencias de aceites esenciales en la industria agroalimentaria

### 3.1. Sanitización de superficies

La inocuidad de los productos alimenticios es una preocupación fundamental tanto para los consumidores como para la industria alimentaria. La presencia de microorganismos patógenos puede reducirse al aumentar las medidas de higiene a lo largo de toda la cadena alimentaria, implementando prácticas seguras durante la preparación y almacenamiento de alimentos. Sin embargo, no siempre es suficiente; en ocasiones las superficies contaminadas por bacterias, como *Salmonella* y *Escherichia coli*, pueden comprometer la seguridad alimentaria (Chia *et al.*, 2009; Duffy *et al.*, 2009).

Para reducir la propagación de bacterias a través de superficies contaminadas, se utilizan rutinariamente productos químicos para sanitizar y desinfectar las superficies que están en contacto con alimentos (Phillips, 2016). Sin embargo,

**Tabla V.** Ventajas y desventajas de diversos métodos de aplicación de aceites esenciales en alimentos

Alimento	Atributo sensorial	Resultados principales	Referencias
Contacto directo	La aplicación es fácil y rápida. La actividad antimicrobiana contra distintos microorganismos patógenos es buena.	Se requiere de mayor cantidad de AE, lo que afecta las propiedades sensoriales de los alimentos. Proporcionan un olor y sabor fuerte a los alimentos. Tienen una alta hidrofobicidad y volatilidad.	Tongnuanchan y Benjakul, 2014
Fase vapor	Se requiere menor cantidad de AE para lograr la inactivación microbiana. Pueden no afectar las propiedades sensoriales.	Es necesario crear empaques o sistemas modelo para su aplicación. El componente activo de los aceites puede migrar por difusión a la superficie del alimento, afectando sus características sensoriales. La composición del alimento puede interactuar con los AE, reteniendo algunos compuestos.	Cisarová <i>et al.</i> , 2016; Ribeiro-Santos <i>et al.</i> , 2017
Nanoemulsiones	Presentan una mayor relación superficie activa/volumen debido a su tamaño de gota, lo que mejora el transporte de compuestos activos a través de membranas biológicas. Hay una reducción de la concentración de AE para la inactivación microbiana. Mejora la aceptación sensorial debido a la baja concentración de AE.	Se requiere el uso de surfactantes y estabilizantes. Su estabilidad no ha sido probada en algunos sistemas alimenticios.	Artiga-Artigas <i>et al.</i> , 2018
Películas comestibles	Son biodegradables, previenen la pérdida de humedad, el desvanecimiento del color, la oxidación de lípidos y la formación de olores desagradables. Pueden mejorar la vida útil de algunos alimentos.	El costo de inversión para nuevos equipos de producción es alto. En muchos casos hacen falta materiales con las funcionalidades deseadas y hay una falta de regulaciones. Su aplicación se dificulta en algunos tipos de alimentos.	Umaraw <i>et al.</i> , 2020
Liposomas	Tienen buena dispersabilidad en agua, buena biocompatibilidad, baja difusión, liberación lenta y actividad residual prolongada.	Su efectividad durante el almacenamiento es poca y no alarga la vida útil. Su aplicación en alimentos es escasa.	Chen <i>et al.</i> , 2019

---

AE = aceite esencial/aceites esenciales.

---

la presencia de productos como cloro, peróxido y peroxiacido, pueden generar subproductos, por ejemplo, trihalometanos, ácidos haloacéticos y otros compuestos potencialmente cancerígenos; por otro lado, algunos sanitizantes pueden contribuir al desarrollo de resistencia en las bacterias (Coroneo *et al.*, 2017; Halden, 2014; Xue *et al.*, 2017).

Los AE han demostrado ser una alternativa al uso de agentes químicos sintéticos, puesto que son seguros para el consumo humano y amigables con el medioambiente (Sánchez y Aznar, 2015). Falcó, Verdeguer, Aznar, Sánchez y Randazzo (2018) evaluaron nueve AE para desarrollar una solución desinfectante natural para tratar superficies de contacto con alimentos. Entre los AE probados, el AE de tomillo andaluz (*Thymbra capitata*), que contiene hasta un 93,31 % de monoterpenos oxigenados (principalmente carvacrol), mostró la mayor actividad antimicrobiana. La solución desinfectante se evaluó en superficies de acero inoxidable, vidrio y polipropileno. Los resultados mostraron que concentraciones de 25 % del AE de *T. capitata* aplicadas durante 10 minutos reducen los niveles de *Escherichia coli* y *Salmonella enterica* en 3 y 1 Log UFC/g, respectivamente, en las tres superficies probadas.

Por otra parte, los AE se han probado solo en superficies de acero inoxidable como en los trabajos de Valeriano *et al.* 2012, donde evaluaron soluciones desinfectantes de AE de menta (*Menta piperita*) y zacate limón (*Cymbopogon citratus*) al 0,8 % contra la biopelícula de *Salmonella enterica*; los resultados demostraron que, después de 20 y 40 minutos de contacto, ambos AE inhibían por completo el crecimiento bacteriano. De igual manera, Pereira *et al.* (2019) encontraron una reducción de 5,8 Log UFC/g en la biopelícula producida por *Pseudomonas aeruginosa* al aplicar una solución desinfectante que contenía 0,4 % de AE de canela.

Estos estudios confirman que el uso de AE es una alternativa fácil para preparar soluciones desinfectantes que pueden reducir la colonización microbiana de las superficies de procesamiento de alimentos. Asimismo, los AE podrían proporcio-

nar métodos alternativos o complementarios para la desinfección eficiente de superficies industriales poco contaminadas. Sin embargo, es importante enfatizar que algunos parámetros, como el tiempo de contacto y la temperatura, requieren ajustes para la aplicación de agentes antimicrobianos a escala industrial. De acuerdo con De Oliveira, Brugnera, Nascimento, Batista y Piccoli (2012), no se produce un olor residual a concentraciones bajas de soluciones con AE; una ventaja más para su aplicación.

### 3.2. Insecticidas

Las plagas de insectos representan una pérdida económica considerable para la industria agroalimentaria. El uso excesivo de insecticidas sintéticos como organofosforados y piretroides para controlar las plagas ha provocado problemas graves como la resistencia de plagas y la contaminación de ambientes terrestres y acuáticos (Campos *et al.*, 2018; Pourya *et al.*, 2018). El desarrollo de estrategias ecológicas se ha considerado alrededor del mundo para reemplazar estas pesticidas convencionales.

En consecuencia, los bioinsecticidas basados en AE parecen ser un método adecuado para el control de plagas de insectos (Campolo *et al.*, 2017; Mossa, 2016; Yeom *et al.*, 2018). Los AE y sus componentes activos son selectivos, biodegradables y disminuyen los efectos negativos sobre los animales y el medio ambiente de los insecticidas sintéticos (Bedini *et al.*, 2018; Hashem *et al.*, 2018; Karan *et al.*, 2018).

Yeguerman *et al.* (2020) evaluaron los AE de menta (*Menta piperita*), palmarosa (*Cymbopogon martinii*), geranio (*Geranium*), lavanda (*Lavandula*) y romero (*Salvia rosmarinus*) contra la cucaracha alemana (*Blattella germanica* L). Los AE de menta y palmarosa fueron los más eficaces, con una concentración letal de  $LC_{50}$  de 245,95 y 246  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , respectivamente; y se incluyeron en una matriz de polietilenglicol para obtener nanopartículas poliméricas cargadas con AE. Las nanopartículas potenciaron los efectos letales y subletales de los AE

de menta y palmarosa contra *B. germanica*. Las nanopartículas se diseñaron debido a que algunos factores de los AE, como su baja solubilidad en agua, alta volatilidad y rápida oxidación de sus componentes, limitan su uso en aplicaciones a gran escala (Campos *et al.*, 2018; Werdin González *et al.*, 2017). Por lo que estos resultados sugieren que los nanoinsecticidas podrían utilizarse con éxito para controlar distintas plagas. De la misma manera, el AE de menta fue evaluado por Pang *et al.* (2020) contra el gorgojo de harina (*Tribolium castaneum*), el gorgojo de tabaco (*Lasioderma serricornis*) y *Liposcelis bostrychophila*, obteniendo concentraciones letales  $LC_{50}$  que fueron de 18.1, 68.4 y 0.6 mg/L<sub>aire</sub>, respectivamente.

En la misma línea, Matos *et al.* (2020) evaluaron los AE de anís estrella (*Illicium verum*) y clavo (*Eugenia caryophyllus*) contra el gorgojo (*Callosobruchus maculatus*) del caupí (*Vigna unguiculata*), que es una legumbre comestible en Asia y América (Lopes *et al.*, 2018). Los valores de las concentraciones letales  $LC_{50}$  y  $LC_{95}$  en la prueba de contacto se estimaron en 9.62 y 32.78, así como 1.27 y 11.95  $\mu$ L/20 g, para los AE de anís estrella y clavo, respectivamente. En las pruebas de repelencia, ambos AE redujeron la cantidad de huevos e insectos. Cabe señalar que el gorgojo es un insecto de importancia en la industria agroalimentaria, ya que es muy común que aparezca en distintos cereales, por lo que esta aplicación podría extenderse a la conservación de otros productos como el sorgo, arroz, trigo y cebada, entre otros.

### 3.3. Efecto de los aceites esenciales sobre la microbiota de animales

El uso dietético de los antibióticos se ha aprovechado durante décadas en la producción animal; sin embargo, la creciente preocupación pública por los posibles riesgos para la salud y las repercusiones ambientales del uso excesivo de antibióticos como promotores del crecimiento en la producción animal ha dado lugar a la prohibición de su aplicación dietética en algunos países. Por lo cual, las industrias que intervienen en la cadena

de producción animal, incluidos los productores primarios, los procesadores, los distribuidores y los minoristas, buscan constantemente sustancias eficaces, seguras y rentables con propiedades similares (Simitzis, 2017).

Debido a esto, los AE tienen el potencial de convertirse en una nueva generación de productos para la nutrición y la salud animal, debido a sus efectos positivos en la digestión, la comunidad microbiana intestinal, el rendimiento del crecimiento y el bienestar (Bento *et al.*, 2013; Bianchini *et al.*, 2014; Giannenas *et al.*, 2013).

Los efectos de los suplementos dietéticos de los AE en la microbiota intestinal, la morfología y la actividad enzimática y los parámetros de rendimiento del crecimiento han sido estudiados ampliamente, en especial en pollos de engorda (Alp *et al.*, 2012; Abudabos y Alyemni, 2013; Khattak *et al.*, 2014; Bozkurt *et al.*, 2016). En general, los AE parecen suprimir los microorganismos dañinos, estimulan la microbiota benéfica como *Lactobacillus*, regulan la actividad de las enzimas y protegen las vellosidades intestinales, pero no propician el aumento de peso corporal. La disminución del número de bacterias patógenas en el intestino y el mantenimiento de un equilibrio bacteriano adecuado entre el número de bacterias benéficas y las bacterias dañinas en el intestino parecen mejorar la capacidad de las células epiteliales para regenerar las vellosidades y así mejorar la capacidad de absorción intestinal (Bozkurt *et al.*, 2016).

Por otro lado, el efecto de los AE también se ha estudiado en la alimentación de peces. Giannenas *et al.* (2012) evaluaron un producto comercial encapsulado que contenía los principales componentes (carvacrol y timol) del AE de tomillo (*Thymus vulgaris*), en la dieta de la trucha arcoiris. El objetivo de su trabajo fue evaluar el efecto de los diferentes tratamientos dietéticos en las poblaciones de bacterias intestinales; se emplearon técnicas microbiológicas convencionales con medios de agar selectivo. Tanto el carvacrol como el timol modularon las comunidades microbianas intestinales al reducir las bacterias anaeróbicas totales, mientras que las cargas de lactobacilos fueron menores en el grupo tratado con timol en comparación con los

grupos tratados con carvacrol y el de control. De igual forma, Ran *et al.* (2016) evaluaron los efectos de un producto comercial de mezcla de timol y carvacrol en tilapia híbrida (*Oreochromis niloticus*); después de 6 semanas de alimentación observaron un cambio positivo en la microbiota intestinal de la tilapia.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Los compuestos químicos derivados de fuentes naturales, como los aceites esenciales aquí estudiados, han demostrado su eficacia como antimicrobianos. Sin embargo, es importante enfatizar que el método de aplicación de dichos aceites esenciales o sus componentes dependerá de factores como el alimento a tratar y el tipo de microorganismos a eliminar. Asimismo, el reto actual radica en su uso para incrementar la seguridad alimentaria sin afectar la calidad del producto, en especial sus atributos sensoriales. En este contexto, el análisis sensorial de alimentos tratados con aceites esenciales o sus componentes es escaso, y abre un campo de investigación para identificar las preferencias de los consumidores. Por otro lado, el uso de aceites esenciales en las diferentes etapas de la cadena de producción de alimentos es prometedor, lo que podría favorecer la disminución de su costo, a fin de que el empleo de conservadores naturales sea competitivo frente a otros procesos de conservación convencionales.

## AGRADECIMIENTOS

S. L. Recio Cázares agradece a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) —hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)—, por el financiamiento para sus estudios de doctorado.

## REFERENCIAS

- Abdeldaiem, M. H., Ali, H. G. y Ramadan, M. F. (2017). Impact of different essential oils on the characteristics of refrigerated carp (*Cyprinus carpio*) fish fingers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1412-1420.
- Abudabos, A. M. y Alyemni, A. H. (2013). The effect of feeding a commercial essential oil product to broilers challenged with *Clostridium perfringens*. *African Journal of Microbiology Research*, 7(36), 4539-4545.
- Agrimonti, C., White, J., Tonetti, S. y Marmioli, N. (2019). Antimicrobial activity of cellulosic pads amended with emulsions of essential oils of oregano, thyme and cinnamon against microorganisms in minced beef meat. *International Journal of Food Microbiology*, 305, 108246.
- Alfonzo, A., Martorana, A., Guarrasi, V., Barbera, M., Gaglio, R., Santulli, A., Settanni L., Galati A., Moschetti G. y Francesca, N. (2017). Effect of the lemon essential oils on the safety and sensory quality of salted sardines (*Sardina pilchardus* Walbaum 1792). *Food Control*, 73, 1265-1274.
- Alp, M., Midilli, M., Kocabagli, N., Yilmaz, H., Turan, N., Gargili, A. y Acar, N. (2012). The effects of dietary oregano essential oil on live performance, carcass yield, serum immunoglobulin G level, and oocyst count in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 630-636.
- Amiri, E., Aminzare, M., Azar, H. H. y Mehrasbi, M. R. (2019). Combined antioxidant and sensory effects of corn starch films with nanoemulsion of *Zataria multiflora* essential oil fortified with cinnamaldehyde on fresh ground beef patties. *Meat Science*, 153, 66-74.
- Artiga-Artigas, M., Guerra-Rosas, M., Morales-Castro, J., Salvia-Trujillo, L. y Martín-Belloso, O. (2018). Influence of essential oils and pectin on nanoemulsion formulation: a ternary phase experimental approach. *Food Hydrocolloids*, 81, 209-219.
- Badola, R., Panjagari, N. R., Singh, R. R. B., Singh, A. K. y Prasad, W. G. (2018). Effect of clove bud and curry leaf essential oils on the anti-oxidative and anti-microbial activity of burfi, a milk-based confection. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 4802-4810.
- Bedini, S., Flamini, G., Ascrizzi, R., Venturi, F., Ferroni, G., Bader, A., Girardi, J. y Conti, B. (2018). Essential oils sensory quality and their bioactivity against the mosquito *Aedes albopictus*. *Scientific Reports*, 8(1), 17857.
- Bento, M. H. L., Ouwehand, A. C., Tiihonen, K., Lahtinen, S., Nurminen, P., Saarienen, M. T., Schulze, H., Mygind, T. y Fischer, J. (2013). Essential oils and their

- use in animal feeds for monogastric animals – Effects on feed quality, gut microbiota, growth performance and food safety: a review. *Veterinarni Medicina*, 58(9), 449-458.
- Bhavanirama, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., Vijayakumar, R. y Baskaran, D. (2019). Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. *Grain & Oil Science and Technology*, 2(2), 49-55.
- Bianchini, A., Stratton, J., Weier, S., Cano, C. y Garcia, L. M. (2014). Use of essential oils and plant extracts to control microbial contamination in pet food products. *Journal of Food Processing and Technology*, 5, 357.
- Budka, D. y Khan, N. (2010). The effect of *Ocimum basilicum*, *Thymus vulgaris*, *Origanum vulgare* essential oils on *Bacillus cereus* in rice-based foods. *European Journal of Biological Sciences*, 2(1), 17-20.
- Bozkurt, M., Ege, G., Aysul, N., Akşit, H., Tüzün, A. E., Küçükyılmaz, K., Borum, A. E., Uygun, M., Akşit, D., Aypak, S., Şimşek, E., Seyrek, K., Koçer, B., Bintaş, E., y Orojpour, A. (2016). Effect of anticoccidial monensin with oregano essential oil on broilers experimentally challenged with mixed *Eimeria* spp. *Poultry Science*, 95(8), 1858-1868.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
- Campolo, O., Cherif, A., Ricupero, M., Siscaro, G., Grissa-Lebdi, K., Russo, A., Cucci, L. M., Di Pietro, P., Satriano, C., Desneux, N., Biondi, A., Zappalà, L., y Palmeri, V. (2017). Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, chemical properties and biological activity. *Scientific Reports*, 7(1), 13036.
- Campos, E. V. R., Proença, P. L. F., Oliveira, J. L., Bakshi, M., Abhilash, P. C. y Fraceto, L. F. (2018). Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: future perspectives. *Ecological Indicators*, 105, 483-495.
- Cava, R., Nowak, E., Taboada, A. y Marin-Iniesta, F. (2007). Antimicrobial activity of clove and cinnamon essential oils against *Listeria monocytogenes* in pasteurized milk. *Journal of Food Protection*, 70(12), 2757-2763.
- Chen, W., Cheng, F., Swing, C. J., Xia, S. y Zhang, X. (2019). Modulation effect of core-wall ratio on the stability and antibacterial activity of cinnamaldehyde liposomes. *Chemistry and Physics of Lipids*, 223, 104790.
- Chia, T. W. R., Goulter, R. M., McMeekin, T., Dykes, G. A. y Fegan, N. (2009). Attachment of different *Salmonella* serovars to materials commonly used in a poultry processing plant. *Food Microbiology*, 26(8), 853-859.
- Císarová, M., Tančinová, D., Medo, J., y Kačániová, M. (2016). The *in vitro* effect of selected essential oils on the growth and mycotoxin production of *Aspergillus* species. *Journal of Environmental Science and Health, Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 51(10), 668-674.
- Císarová, M., Hleba, L., Medo, J., Tančinová, D., Mašková, Z., Čuboň, J., Kováčik A., Foltinová D., Božik M. y Klouček, P. (2020). The *in vitro* and *in situ* effect of selected essential oils in vapour phase against bread spoilage toxicogenic aspergilli. *Food Control*, 110, 107007.
- Coroneo, V., Carraro, V., Marras, B., Marrucci, A., Succa, S., Meloni, B., Pinna, A., Angioni, A., Sanna, A. y Schintu, M. (2017). Presence of Trihalomethanes in ready-to-eat vegetables disinfected with chlorine. *Food Additives and Contaminants*, 1-7.
- Cueva, C., Moreno-Arribas, M. V., Bartolomé, B., Salazar, Ó., Vicente, M. F. y Bills, G. F. (2011). Antibiosis of vineyard ecosystem fungi against food-borne microorganisms. *Research in Microbiology*, 162(10), 1043-1051.
- Cui, H., Li, W. y Lin, L. (2017). Antibacterial activity of liposome containing curry plant essential oil against *Bacillus cereus* in rice. *Journal of Food Safety*, 37(2), e12302.
- Dávila-Rodríguez, M., López-Malo, A., Palou, E., Ramírez-Corona, N., y Jiménez-Munguía, M. T. (2019). Antimicrobial activity of nanoemulsions of cinnamon, rosemary, and oregano essential oils on fresh celery. *LWT- Food Science and Technology*, 112(7), 108247.
- De Oliveira, M. M. M., Brugnara, D. F., do Nascimento, J. A., Batista, N. N. y Piccoli, R. H. (2012). Cinnamon essential oil and cinnamaldehyde in the control of bacterial biofilms formed on stainless steel surfaces. *European Food Research and Technology*, 234(5), 821-832.
- De Sousa Guedes, J. P., Da Costa Medeiros, J. A., De Souza e Silva, R. S., De Sousa, J. M. B., da Conceição, M. L. y de Souza, E. L. (2016). The efficacy of *Mentha arvensis* L. and *M. piperita* L. essential oils in reducing pathogenic bacteria and maintaining quality characteristics in cashew, guava, mango, and pineapple juices. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 183-192.
- Dehghani, P., Hosseini, S. M. H., Golmakani, M.-T., Majdinasab, M. y Esteghlal, S. (2018). Shelf-life extension of refrigerated rainbow trout fillets using total Farsi gum-based coatings containing clove and thyme essential oils emulsions. *Food Hydrocolloids*, 77, 677-688.
- Diniz-Silva, H. T., Batista de Sousa, J., da Silva Guedes, J., Ramos do Egypto Queiroga, R. de C., Madruga, M. S., Tavares, J. F. y Magnani, M. (2019). A synergistic mixture of *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. essential oils to preserve

- ve overall quality and control *Escherichia coli* O157:H7 in fresh cheese during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 112, 107781.
- Dos Passos Braga, S., Lundgren, G. A., Macedo, S. A., Tavares, J. F., Dos Santos Vieira, W. A., Câmara, M. P. S. y De Souza, E. L. (2019). Application of coatings formed by chitosan and Mentha essential oils to control anthracnose caused by Colletotrichum gloeosporioides and C. brevisporum in papaya (Carica papaya L.) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 631-639.
- Duffy, L. L., O'Callaghan, D., McAuley, C. M., Fegan, N. y Craven, H. M. (2009). Virulence properties of Escherichia coli isolated from Australian dairy powder factory environments. *International Dairy Journal*, 19(3), 178-179.
- Emir Çoban, Ö., Patir, B. y Yılmaz, Ö. (2014). Protective effect of essential oils on the shelf life of smoked and vacuum-packed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.1792) filets. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2741-2747.
- Falcó, I., Verdeguer, M., Aznar, R., Sánchez, G. y Randazzo, W. (2018). Sanitizing food contact surfaces by the use of essential oils. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 220-228.
- Faleiro, M. L. (2011). The mode of antibacterial action of essential oils. En A. Méndez Vilas (Ed.), *Science Against Microbial Pathogens: Communicating Current Research and Technological Advances* (pp. 1143-1156). Brown Walker Press.
- Fathi, M., Vinceković, M., Jurić, S., Viskić, M., Režek Jambrak, A. y Donsi, F. (2019). Food-grade colloidal systems for the delivery of essential oils. *Food Reviews International*, 37(11), 1-45.
- Fisher, K. y Phillips, C. A. (2006). The effect of lemon, orange and bergamot essential oils and their components on the survival of *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* in vitro and in food systems. *Journal of Applied Microbiology*, 101(6), 1232-1240.
- Frankova, A., Smid, J., Bernardos, A., Finkousova, A., Marsik, P., Novotny, D., Legarová, V., Pulkrabek, J. y Kloucek, P. (2016). The antifungal activity of essential oils in combination with warm air flow against postharvest phytopathogenic fungi in apples. *Food Control*, 68(1-2), 62-68.
- García-Ceja, A. y López-Malo, A. (2012). Biopolímeros utilizados en la encapsulación. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(1), 84-97.
- Ghabraie, M., Dang Vu, K., Tata, L., Salmieri, S. y Lacroix, M. (2016). Antimicrobial effect of essential oils in combinations against five bacteria and their effect on sensorial quality of ground meat. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 332-339.
- Giannenas, I., Triantafyllou, E., Stavrakakis, S., Margaroni, M., Mavridis, S., Steiner, T. y Karagouni, E. (2012). Assessment of dietary supplementation with carvacrol or thymol containing feed additives on performance, intestinal microbiota and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 350-353, 26-32.
- Giannenas, I., Bonos, E., Christaki, E. y Florou-Paneri, P. (2013). Essential oils and their applications in animal nutrition. *Medicinal and Aromatic Plants*, 2(6), 1-12.
- Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R. y Gava-ra, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 35(1), 42-51.
- Goñi, P., López, P., Sánchez, C., Gómez-Lus, R., Becerril, R. y Nerín, C. (2009). Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils. *Food Chemistry*, 116(4), 982-989.
- Gyawali, R. e Ibrahim, S. A. (2014). Natural products as antimicrobial agents. *Food Control*, 46, 412-429.
- Halden, R. U. (2014). On the need and speed of regulating triclosan and triclocarban in the United States. *Environmental Science and Technology*, 48(7), 3603-3611.
- Hashem, A. S., Awadalla, S. S., Zayed, G. M., Maggi, F. y Benelli, G. (2018). Pimpinella anisum essential oil nanoemulsions against *Tribolium castaneum*-insecticidal activity and mode of action. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(19), 18802-18812.
- He, Q., Li, Z., Yang, Z., Zhang, Y. y Liu, J. (2019). A superchilling storage-ice glazing (SS-IG) of Atlantic salmon (*Salmo salar*) sashimi filets using coating protective layers of *Zanthoxylum* essential oils (EOs). *Aquaculture*, 514, 734506.
- Huang, Z., Liu, X., Jia, S., Zhang, L. y Luo, Y. (2018). The effect of essential oils on microbial composition and quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) filets during chilled storage. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 52-59.
- Jahani, M., Pira, M. y Aminifard, M. H. (2020). Antifungal effects of essential oils against *Aspergillus niger* in vitro and in vivo on pomegranate (*Punica granatum*) fruits. *Scientia Horticulturae*, 264, 109188.
- Jang, S., Shin, Y. J. y Song, K. B. (2011). Effect of rapeseed protein-gelatin film containing grapefruit seed extract on 'Maehyang' strawberry quality. *In-*

- ternational Journal of Food Science and Technology*, 46(3), 620-625.
- Jiang, T., Luo, Z. y Ying, T. (2015). Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Food Chemistry*, 172, 692-698.
- Jin, W., Xu, W., Liang, H., Li, Y., Liu, S. y Li, B. (2016). Nanoemulsions for food: Properties, production, characterization and applications. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Emulsions. Nanotechnology in the Agri-Food Industry Volume 3* (pp. 1-36). Academic Press.
- Karan, T., Şimşek, S., Yıldız, I. y Erenler, R. (2018). Chemical composition and insecticidal activity of *Origanum syriacum* L. Essential oil against *Sitophilus oryzae* and *Rhizopertha dominica*. *International Journal of Secondary Metabolite*, 5, 87-93.
- Khattak, F., Ronchi, A., Castelli, P. y Sparks, N. (2014). Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, caecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 93(1), 132-137.
- Khorasani, S., Danaei, M. y Mozafari, M. R. (2018). Nanoliposome technology for the food and nutraceutical industries. *Trends in Food Science and Technology*, 79, 106-115.
- Lin, L., Gu, Y., Sun, Y. y Cui, H. (2019). Characterization of chrysanthemum essential oil triple-layer liposomes and its application against *Campylobacter jejuni* on chicken. *LWT - Food Science and Technology*, 107, 16-24.
- Lin, L., Zhu, Y., Thangaraj, B., Abdel-Samie, M. A. y Cui, H. (2018). Improving the stability of thyme essential oil solid liposome by using  $\beta$ -cyclodextrin as a cryoprotectant. *Carbohydrate Polymers*, 188, 243-251.
- Lopes, L. M., Sousa, A. H., Santos, V. B., Silva, G. N. y Abreu, A. O. (2018). Development rates of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: chrysomelidae) in landrace cowpea varieties occurring in southwestern Amazonia. *Journal of Stored Products Research*, 76, 111-115.
- Lorenzo-Leal, A. C., Palou, E. y López-Malo, A. (2019). Evaluation of the efficiency of allspice, thyme and rosemary essential oils on two foodborne pathogens in in-vitro and on alfalfa seeds, and their effect on sensory characteristics of the sprouts. *International Journal of Food Microbiology*, 295, 19-24.
- Maccioni, A., Santo, A., Falconieri, D., Piras, A., Manconi, M., Maxia, A. y Bacchetta, G. (2019). Inhibitory effect of rosemary essential oil, loaded in liposomes, on seed germination of *Acacia saligna*, an invasive species in Mediterranean ecosystems. *Botany*, 97(5), 283-291.
- Mahdavi, V., Hosseini, S. E. y Sharifan, A. (2017). Effect of edible chitosan film enriched with anise (*Pimpinella anisum* L.) essential oil on shelf life and quality of the chicken burger. *Food Science and Nutrition*, 6(2), 269-279.
- Mani López, E., Valle Vargas, G. P., Palou, E. y López-Malo, A. (2018). *Penicillium expansum* inhibition on bread by lemongrass essential oil in vapor phase. *Journal of Food Protection*, 81(3), 467-471.
- Manning, L. (2015). Categorizing food related illness: have we got it right? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(9), 1938-1949.
- Matos, L. F., Barbosa, D. R., Lima, E. D., Dutra, K. D., Navarro, D. M., Alves, J. L. y Silva, G. N. (2020). Chemical composition and insecticidal effect of essential oils from *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllus* on *Callosobruchus maculatus* in cowpea. *Industrial Crops and Products*, 145, 112088.
- McClements, D. J. (2011). Edible nanoemulsions: Fabrication, properties, and functional performance. *Soft Matter*, 7(6), 2297-2316.
- 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.
- Michalczuk, M., Macura, R., Tesarowicz, I. y Banaś, J. (2012). Effect of adding essential oils of coriander (*Coriandrum sativum* L.) and hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) on the shelf life of ground beef. *Meat Science*, 90(3), 842-850.
- Nikkhah, M. y Hashemi, M. (2020). Boosting antifungal effect of essential oils using combination approach as an efficient strategy to control postharvest spoilage and preserving the jujube fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*, 164, 111159.
- Mossa, A.-T. (2016). Green pesticides: essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(5), 354-378.
- Osés, J., Fernández-Pan, I., Mendoza García, E. M. y Maté, J. I. (2009). Stability of the mechanical properties of edible films based on whey protein isolate during storage at different relative humidity. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 125-131.
- Otoni, C. G., de Moura, M. R., Aouada, F. A., Camilloto, G. P., Cruz, R. S., Lorevice, M. V., Soares, N. de F. F. y Mattoso L. H. C. (2014). Antimicrobial and physical-mechanical properties of pectin/papaya puree/cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films. *Food Hydrocolloids*, 41(41), 188-194.
- Ozogul, Y., Yuvka, İ., Ucar, Y., Durmus, M., Kösker, A. R., Öz, M. y Ozogul, F. (2017). Evaluation of effects of nanoemulsion based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of

- rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during ice storage. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 677-684.
- Pang, X., Feng, Y. X., Qi, X. J., Wang, Y., Almaz, B., Xi, C. y Du, S.S. (2020). Toxicity and repellent activity of essential oil from *Mentha piperita* Linn. leaves and its major monoterpenoids against three stored product insects. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 7618-7627.
- Parra, D. F., Tadini, C. C., Ponce, P. y Lugao, A. B. (2004). Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 58(4), 475-481.
- Pateiro, M., Barba, F. J., Domínguez, R., Sant'Ana, A. S., Mousavi Khaneghah, A., Gavahian, M. y Lorenzo, J. M. (2018). Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: a review. *Food Research International*, 113, 156-166.
- Pedros-Garrido, S., Clemente, I., Calanche, J. B., Condón-Abanto, S., Beltrán, J. A., Lyng, J. G., Brunton, N., Bolton D. y Whyte, P. (2020). Antimicrobial activity of natural compounds against *Listeria* spp. and their effects on sensory attributes in salmon (*Salmo salar*) and cod (*Gadus morhua*). *Food Control*, 107, 106768.
- Pereira, L. A. S., Oliveira, M. M. M. de, Martins, H. H. de A., Vale, L. A. do, Isidoro, S. R., Botrel, D. A. y Piccoli, R. H. (2019). Sanitizing cinnamaldehyde solutions against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms formed on stainless steel surfaces. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22(0), 1-8.
- Perricone, M., Arace, E., Corbo, M. R., Sinigaglia, M. y Bevilacqua, A. (2015). Bioactivity of essential oils: a review on their interaction with food components. *Frontiers in Microbiology*, 6(76), 1-5.
- Phillips, C. A. (2016). Bacterial biofilms in food processing environments: a review of recent developments in chemical and biological control. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(8), 1731-1743.
- Pourya, M., Sadeghi, A., Ghobari, H., Taning, C. N. T. y Smaghe, G. (2018). Bioactivity of *Pistacia atlantica* Desf. Subsp. Kurdica (Zohary) Rech. F. and *Pistacia khinjuk* Stocks essential oils against *Callosobruchus maculatus* (F, 1775) (Coleoptera: Bruchidae) under laboratory conditions. *Journal of Stored Products Research*, 77, 96-105.
- Prakash, B., y Kiran, S. (2016). Essential oils: a traditionally realized natural resource for food preservation. *Current Science*, 110(10), 1890-1892.
- Reyes-Jurado, F., Navarro-Cruz, A. R., Ochoa-Velasco, C. E., Palou, E., López-Malo, A. y Ávila-Sosa, R. (2019). Essential oils in vapor phase as alternative antimicrobials: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-10.
- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., de Melo, N. R. y Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 132-140.
- Saifullah, M., Islam Shishir, M. R., Ferdowsi, R., Tanver Rahman, M. R. y Van Vuong, Q. (2019). Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: a critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 230-251.
- Sánchez Aldana, D., Contreras-Esquivel, J. C., Nevárez-Moorillón, G. V. y Aguilar, C. N. (2014). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón mexicano. *CyTA - Journal of Food*, 13(1), 17-25.
- Sánchez, G. y Aznar, R. (2015). Evaluation of natural compounds of plant origin for inactivation of enteric viruses. *Food and Environmental Virology*, 7(2), 183-187.
- Scotter, M. J. y Castle, L. (2004). Chemical interactions between additives in foodstuffs: a review. *Food Additives and Contaminants*, 21(2), 93-124.
- Servili, A., Feliziani, E. y Romanazzi, G. (2017). Exposure to volatiles of essential oils alone or under hypobaric treatment to control postharvest gray mold of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 133, 36-40.
- Sharma, H., Mendiratta, S. K., Agarwal, R. K., Kumar, S. y Soni, A. (2017). Evaluation of antioxidant and anti-microbial activity of various essential oils in fresh chicken sausages. *Journal of Food Science and Technology*, 54(2), 279-292.
- Shidhaye, S. S., Vaidya, R., Sutar, S., Patwardhan, A. y Kadam, V. J. (2008). Solid lipid nanoparticles and nanostructured lipid carriers - Innovative generations of solid lipid carriers. *Current Drug Delivery*, 5(4), 324-331.
- Silano, M. y Silano, V. (2015). Food and feed chemical contaminants in the European Union: regulatory, scientific, and technical issues concerning chemical contaminants occurrence, risk assessment, and risk management in the European Union. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(10), 2162-2217.
- Simitzis, P. (2017). Review. Enrichment of animal diets with essential oils-a great perspective on improving animal performance and quality characteristics of the derived product. *Medicines*, 4(35), 1-21.
- Singh, P. y Gandhi, N. (2015). Milk preservatives and adulterants: processing, regulatory and safety issues. *Food Reviews International*, 31(3), 236-261.
- Šojić, B., Pavlič, B., Tomović, V., Ikončić, P., Zeković, Z., Kocić-Tanackov, S., Đurović S., Škaljac, S., Jokanović, M. e Ivić, M. (2019). Essential oil versus supercritical

- fluid extracts of winter savory (*Satureja montana* L.) - Assessment of the oxidative, microbiological and sensory quality of fresh pork sausages. *Food Chemistry*, 287, 280-286.
- Solórzano-Santos, F. y Miranda-Navales, M. G. (2012). Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 136-141.
- Soncu, E. D., Arslan, B., Ertürk, D., Küçükaya, S., Özdemir, N. y Soyer, A. (2018). Microbiological, physicochemical and sensory characteristics of Turkish fermented sausages (sucuk) coated with chitosan-essential oils. *LWT*, 97, 198-204.
- Szűcs, V., Szabó, E., Guerrero, L., Tarcea, M. y Bánáti, D. (2019). Modelling of avoidance of food additives: a cross country study. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 70, 1020-1032.
- Tongnuanchan, P. y Benjakul, S. (2014). Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79, 1231-1249.
- Umaraw, P., Munekata, P. E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P. y Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 10-24.
- Utami, R., Khasanah, L. U., Manuhara, G. J. y Ayuningrum, Z. K. (2019). Effects of cinnamon bark essential oil (*Cinnamomum burmannii*) on characteristics of edible film and quality of fresh beef. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 42(4), 1173-1184.
- Valencia-Sullca, C., Jiménez, M., Jiménez, A., Atares, L., Vargas, M. y Chiralt, A. (2016). Influence of liposome encapsulated essential oils on properties of chitosan films. *Polymer international*, 65(8), 979-987.
- Valeriano, C., de Oliveira, T. L. C., de Carvalho, S. M., Cardoso, M. das G., Alves, E. y Piccoli, R. H. (2012). The sanitizing action of essential oil-based solutions against *Salmonella enterica* serotype Enteritidis S64 biofilm formation on AISI 304 stainless steel. *Food Control*, 25(2), 673-677.
- Vasilijević, B., Mitić-Čulafić, D., Djekic, I., Marković, T., Knežević-Vukčević, J., Tomasevic, I. y Nikolić, B. (2019). Antibacterial effect of *Juniperus communis* and *Satureja montana* essential oils against *Listeria monocytogenes* in vitro and in wine marinated beef. *Food Control*, 100, 247-256.
- Vatavali, K., Karakosta, L., Nathanailides, C., Georgantelis, D. y Kontominas, M. G. (2013). Combined effect of chitosan and oregano essential oil dip on the microbiological, chemical, and sensory attributes of red porgy (*Pagrus pagrus*) stored in ice. *Food and Bioprocess Technology*, 6(12), 3510-3521.
- Velázquez-Contreras, C., Osorio-Revilla, G. y Gallardo-Velázquez, T. (2014). Encapsulation of orange oil in spout-fluid bed dryer with a draft tube on a bed of inert solids. *Drying Technology*, 32(14), 1718-1726.
- Vital, A. C. P., Guerrero, A., Kempinski, E. M. B. C., Monteschio, J. O., Sary, C., Ramos, T. R. Campo, M. D. M. y do Prado, I. N. (2018). Consumer profile and acceptability of cooked beef steaks with edible and active coating containing oregano and rosemary essential oils. *Meat Science*, 143, 153-158.
- Vital, A. C. P., Guerrero, A., Ornaghi, M. G., Kempinski, E. M. B. C., Sary, C., Monteschio, J. O., Matumoto-Pintro, P. T., Ribeiro, R. P. y do Prado, I. N. (2018). Quality and sensory acceptability of fish fillet (*Oreochromis niloticus*) with alginate-based coating containing essential oils. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 4945-4955.
- Walker, R. M., Decker, E. A. y McClements, D. J. (2015). Physical and oxidative stability of fish oil nanoemulsions produced by spontaneous emulsification: effect of surfactant concentration and particle size. *Journal of Food Engineering*, 164, 10-20.
- Werdirn González, J. O., Jessor, E. N., Yeguerman, C. A., Ferrero, A. A. y Fernández Band, B. (2017). Polymer nanoparticles containing essential oils: new options for mosquito control. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(20), 17006-17015.
- Wu, Z., Zhou, W., Pang, C., Deng, W., Xu, C. y Wang, X. (2019). Multifunctional chitosan-based coating with liposomes containing laurel essential oils and nano-silver for pork preservation. *Food Chemistry*, 295, 16-25.
- Xue, R., Shi, H., Ma, Y., Yang, J., Hua, B., Inniss, E. C., Adams, C. D. y Eichholz, T. (2017). Evaluation of thirteen haloacetic acids and ten trihalomethanes formation by peracetic acid and chlorine drinking water disinfection. *Chemosphere*, 189, 349-356.
- Yeguerman, C., Jessor, E., Massiris, M., Delrieux, C., Murray, A. P. y Werdirn González, J. O. (2020). Insecticidal application of essential oils loaded polymeric nanoparticles to control German cockroach: design, characterization and lethal/sublethal effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 110047.
- Yemiş, G. P. y Candoğan, K. (2017). Antibacterial activity of soy edible coatings incorporated with thyme and oregano essential oils on beef against pathogenic bacteria. *Food Science and Biotechnology*, 26(4), 1113-1121.
- Yeom, H.-J., Lee, H.-Y., Lee, S.-C., Lee, J.-E., Seo, S.-M. y Park, I.-K. (2018). Insecticidal activity of *Lamiaceae* plant essential oils and their constituents against *Blattella germanica* L. Adult. *Journal of Economic Entomology*, 111, 653-661.