



Potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*)

A. I. Gómez – Sánchez* y A. López – Malo

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla.
San Andrés Cholula, Pue., México.

Resumen

Actualmente, el uso de antimicrobianos naturales en alimentos es de especial interés, debido a la creciente demanda de los consumidores por alimentos saludables y libres de aditivos sintéticos. Por ello, el objetivo de esta revisión es mostrar el potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*). Se presentan para las principales variedades de orégano y canela los métodos de obtención de sus aceites esenciales y se reporta su composición química, así como la actividad antimicrobiana y los mecanismos de acción de sus principales componentes. Finalmente, se mencionan algunas aplicaciones de estos antimicrobianos naturales en alimentos. Se concluye que el potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano y canela se debe a la acción individual o sinérgica de sus componentes sobre la integridad celular de los microorganismos; de tal forma, el conocimiento de los mecanismos de acción de sus componentes es de gran importancia y apoyo para su adecuada aplicación como antimicrobianos en las tecnologías de elaboración y conservación de alimentos.

Palabras clave: Aceites esenciales, canela, orégano, antimicrobianos.

Abstract

The use of natural antimicrobials in foods is actually of special concern, due to the increasing demand by consumers for healthy and synthetic additives free foods. Therefore, the focus of this review is to present the antimicrobial potential of the oregano (*Origanum vulgare*) and cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) essential oils. The main varities of oregano and cinnamon spices are cited, and the extraction methods for obtaining them. Furthermore, studies showing chemical composition, antimicrobial activity and the antimicrobial action mechanisms of these are described. Finally, some applications of these essential oils in foods are cited. As a conclusion, it is remarked that the antimicrobial potential of the oregano and cinnamon essential oils is due to the individual or synergistic action of their components on the cell integrity of the microorganisms; thus, the knowledge on composition and antimicrobial activity of the essential oils is important in order to apply them for the processing and preservation of foods.

Keywords: Essential oils, cinnamon, oregano, antimicrobials.

* Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: aid_gom@hotmail.com

Introducción

El uso de agentes antimicrobianos en alimentos ha sido estudiado desde hace varias décadas y se ha demostrado que las hierbas, plantas y especias (o sus componentes y aceites esenciales) tienen propiedades bactericidas y fungicidas, además de actuar como ingredientes tradicionales y saborizantes en los alimentos. Actualmente, los consumidores demandan productos alimenticios más seguros, naturales y saludables, por lo que la investigación de los antimicrobianos naturales cada vez cobra mayor importancia.

Recientes investigaciones científicas indican que especias tales como la canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y el orégano (*Origanum vulgare*) poseen propiedades antimicrobianas, lo cual justifica su adición como conservadores en los alimentos procesados; asimismo, y de manera complementaria, el sabor de estas especias puede contribuir a las características sensoriales de sabor y olor en los alimentos en los cuales se apliquen (Burt, 2004; Coronel, 2004; Cristani *et al.*, 2007; López-Malo *et al.*, 2007).

En este sentido, ha sido ampliamente estudiado y demostrado que los aceites esenciales de orégano y canela así como sus principales componentes, los monoterpenos carvacrol y timol en orégano, y aldehído cinámico (cinamaldehído) y eugenol en canela, poseen propiedades antibacterianas y fungicidas significativas. Por lo anterior, es importante conocer los mecanismos de acción antimicrobiana de los aceites esenciales y sus componentes, ya que de ello depende su adecuada y correcta aplicación en los alimentos.

A pesar de las investigaciones realizadas, poco es conocido acerca de estos mecanismos. En términos generales, se atribuye la acción antimicrobiana al deterioro de la membrana celular de los microorganismos, afectando con ello su permeabilidad, favoreciendo el flujo de protones, la alteración de los sistemas enzimáticos y la producción de energía (Denyer y Hugo, 1991; Helander *et al.*, 1998; Ultee *et al.*, 1999; Tassou *et al.*, 2000).

El uso potencial de los aceites esenciales como antimicrobianos naturales, aunado a la aceptación organoléptica, ha sido reportado en quesos, productos de panadería, carnes, pescados y mariscos, y frutas y verduras. (Smith-Palmer *et al.*, 2001; Quintavalla y Vicini, 2002; Roller y Seedhar, 2002; Guynot *et al.*, 2003).

El objetivo de este trabajo es mostrar el carácter antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano y canela, mediante el estudio de su composición química, de los mecanismos de acción de sus principales componentes y de su actividad antimicrobiana ya reportada, así como su potencial aplicación en productos alimenticios.

Revisión bibliográfica

Generalidades

Los aceites esenciales derivados de plantas o especias han sido ampliamente estudiados por sus actividades fungicidas, insecticidas y antimicrobianas, y se ha encontrado que los aceites esenciales de tomillo, orégano, menta, canela, salvia y clavo poseen las más potentes propiedades antimicrobianas de entre muchos probados (Kalemba y Kunicka, 2003). Asimismo, ellos son compuestos GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros) y se usan comúnmente en medicina naturista,

como saborizantes y aromatizantes en alimentos, y en la industria de fragancias.

Se ha reportado en forma general que en el orégano mediterráneo (*Origanum vulgare*) la concentración de aceite esencial es de 1.1% (Belitz *et al.*, 2004), o de alrededor del 2% (Tainter y Grenis, 1993), mientras que Russo *et al.* (1998) y Milos *et al.* (2000) indican que en la subespecie *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* el contenido de aceite esencial extraído a partir de las hojas secas varía entre 2% y 6%. Asimismo, existe otro tipo de orégano de género diferente al mediterráneo, *Lippia graveolens* o *Lippia berlandieri*, denominado orégano mexicano, el cual posee una concentración más alta de aceite esencial, de alrededor al 4% (Tainter y Grenis, 1993).

Respecto a la canela, las especies más comunes son: *Cinnamomum zeylanicum* o “canela verdadera”, *Cinnamomum loureirii* o “casia de Saigón o vietnamita”, *Cinnamomum cassia* o “casia o canela china”, y *Cinnamomum burmannii* o “canela de Batavia”. El reporte del contenido de aceite esencial extraído de la corteza de los árboles de dichas especies es variable entre autores, encontrándose entre 0.5% a 1.0% (López-Malo *et al.*, 2005a), o entre 1.5% a 3.0% (Tainter y Grenis, 1993).

Obtención y composición de los aceites esenciales de orégano y canela

Para la obtención a nivel comercial o en planta piloto de los aceites esenciales de especias y plantas, existen varios métodos, siendo la destilación con arrastre de vapor

y la extracción con disolventes orgánicos los métodos de extracción más comunes (Burt, 2004). Por otra parte, la extracción supercrítica con dióxido de carbono líquido a bajas temperaturas y altas presiones produce aceites esenciales con características sensoriales más aceptables, pero la desventaja de este método es su elevado costo (Simándi *et al.*, 1998). Adicionalmente, Packiyasothy y Kyle (2002) señalan que el tipo de método de extracción influye en la composición de los aceites esenciales, y por consiguiente en sus propiedades antimicrobianas. Por otra parte, con el fin de prevenir cambios en la composición de los aceites esenciales, se recomienda almacenarlos en recipientes sellados y en ausencia de luz (Burt, 2004).

Existen numerosos reportes en los cuales se ha analizado la composición de los aceites esenciales de especias y plantas, lo cual se lleva a cabo mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas (Salzer, 1977; Wilkins y Madsen, 1991; Daferera *et al.*, 2000; Jerkovic *et al.*, 2001). Se ha encontrado que los principales componentes presentes en los aceites esenciales son mono y sesquiterpenos, fenoles y fenol-éteres (Belitz *et al.*, 2004).

Senatore (1996) y Russo *et al.* (1998) indican que puede haber más de 60 componentes individuales en los aceites esenciales. Asimismo, Bauer *et al.* (2001) señalan que los principales componentes constituyen hasta el 85% de la composición total de un aceite esencial, mientras que otros componentes se encuentran simplemente como trazas. A continuación, en la Tabla I, se presentan los principales compuestos en los aceites esenciales de orégano y canela, los cuales exhiben propiedades antimicrobianas.

Tabla I. Principales compuestos con actividad antimicrobiana en los aceites esenciales de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y orégano (*Origanum vulgare*)

Nombre común	Nombre científico	Compuesto	Concentración (%)	Referencia
Canela	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Trans-cinamaldehído	50 - 80	Belitz <i>et al.</i> , 2004; Burt, 2004
		Eugenol	10	
		Safrol	0 - 11	
		Linalol	10 - 15	
Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Carvacrol	0 - 80	Baratta <i>et al.</i> , 1998; Russo <i>et al.</i> , 1998; Belitz <i>et al.</i> , 2004; Burt, 2004
		Timol	0 - 64	
		γ-Terpineno	2 - 52	
		p-Cimeno	0 - 52	

Como se observa, los componentes del aceite esencial de orégano son los fenoles carvacrol y timol y los monoterpenos hidrocarburos γ-terpineno y p-cimeno, los cuales son precursores biológicos del carvacrol y el timol; estos cuatro compuestos constituyen entre el 80% y 90% de la composición total del aceite esencial (Kokkini *et al.*, 1997). Asimismo, el aceite esencial de canela está compuesto principalmente de trans-cinamaldehído o aldehído cinámico, y en menor grado de eugenol (Bullerman *et al.*, 1977; Juglal *et al.*, 2002).

Distintos estudios indican que la composición de los aceites esenciales de una especie particular de planta es afectada por diversos factores, entre ellos el origen geográfico de la planta, la estación del año de cosecha e incluso la parte de la planta de donde proviene el aceite (Arras y Grella, 1992; Marroti *et al.*, 1994; Russo *et al.*, 1998; Faleiro *et al.*, 2002). De igual forma, ha sido reportado que especies del género *Origanum* se caracterizan por tener diferencias tanto en el contenido de aceite esencial como en su composición química, y se ha observado que los contenidos de timol y carvacrol varían aún entre plantas de la misma especie (Kokkini y Vokou, 1989; Vokou *et al.*, 1993; Kokkini *et al.*, 1997).

Actividad antimicrobiana de los aceites esenciales

Una medida de la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales que es reportada por la mayoría de los investigadores es la concentración mínima inhibitoria (CMI). Sin embargo, aún existen diferencias en la definición de este término entre los diversos autores; así, las definiciones más usadas se presentan en la Tabla II.

Algunas CMI reportadas para el aceite esencial de orégano, en unidades de $\mu\text{L}/\text{mL}$, obtenidas de pruebas *in vitro* contra bacterias patógenas son: 2.1 para *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Candida albicans* y *Klebsiella pneumoniae*, de 2.5 para *Enterococcus faecalis*, y de 20.0 para *Pseudomonas aeruginosa* (Prudent *et al.*, 1995; Hammer *et al.*, 1999; Burt y Reinders, 2003); asimismo, Caccioni y Guizzardi (1994) reportan para carvacrol un valor de CMI de 250 $\mu\text{g}/\text{mL}$ en *Penicillium digitatum*. Respecto al aceite esencial de canela, aldehído cinámico y eugenol, se han reportado valores de CMI de 200 ppm, 150 ppm y 125 ppm, respectivamente, para *Aspergillus parasiticus* (Bullerman *et al.*, 1977), y valores de CMI en fase gaseosa de 438.6 a 877.19 $\mu\text{L}/\text{L}$ de

aire para los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* (Coronel, 2004).

citoplásmica de los microorganismos, la cual de esta forma pierde su impermeabilidad a los protones y a iones de tamaño superior,

Tabla II. Diversas definiciones de Concentración Mínima Inhibitoria (CMI)^a

Definición	Referencia
Mínima concentración para mantener o reducir la viabilidad del inóculo	Carson <i>et al.</i> (1995)
Mínima concentración requerida para la inhibición completa del organismo de prueba en 48 horas de incubación	Wan <i>et al.</i> (1998); Canillac y Mourey (2001)
Mínima concentración para inhibir el crecimiento visible del organismo de prueba	Karapinar y Aktug (1987); Onawunmi (1989)
Mínima concentración para lograr una disminución significativa (mayor al 90%) en la viabilidad del inóculo	Hammer <i>et al.</i> (1999); Delaquis <i>et al.</i> (2002)
	Consentino <i>et al.</i> (1999)

^aAdaptado de Burt (2004)

Debido al interés por el potencial uso de los aceites esenciales de especias y plantas como antimicrobianos naturales en alimentos, Lambert *et al.* (2001) señalan que existe actualmente una demanda creciente por obtener en forma precisa los valores de CMI de los diversos aceites esenciales, con la finalidad de establecer un balance entre la aceptación sensorial y la eficacia antimicrobiana, lo cual puede lograrse realizando estudios *in vitro* e *in vivo*, y considerando las limitaciones que existen en los métodos de determinación.

Mecanismos de acción de los principales componentes de los aceites esenciales

A pesar de que los posibles modos de acción de los compuestos presentes en los aceites esenciales han sido reportados en diversas investigaciones (Wilkins y Board, 1989; Beuchat, 1994; Nychas, 1995; Sofos *et al.*, 1998; Davidson, 2001), estos mecanismos aún no están completamente claros.

La actividad antimicrobiana de los aceites esenciales es debida al carácter hidrofóbico y lipofílico de los monoterpenos y compuestos fenólicos que contienen. Estos actúan rompiendo los lípidos de la membrana

favoreciendo el flujo de electrones y de otros contenidos celulares. La pérdida prolongada de estas partículas y compuestos conduce a la muerte de los microorganismos (Denyer y Hugo, 1991; Davidson, 1993; Sikkema *et al.*, 1994; Helander *et al.*, 1998).

Los componentes de los aceites esenciales parecen actuar también en las proteínas celulares de la membrana citoplásmica y afectar a enzimas del ATP, las cuales se encuentran rodeadas de moléculas lipídicas. Los mecanismos sugeridos indican que las moléculas de monoterpenos se acumulan en la bicapa lipídica, lo que hace posible la interacción directa de estos compuestos lipofílicos con las partes hidrofóbicas de las proteínas (Sikkema *et al.*, 1995; Gill y Holley, 2006; Turina *et al.*, 2006).

Carvacrol, timol y *p*-cimeno. Los principales componentes a los cuales se atribuye la acción antimicrobiana del aceite esencial de orégano son los monoterpenos carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno (Baratta *et al.*, 1998; Russo *et al.*, 1998; Belitz *et al.*, 2004; Burt, 2004). En la Fig.1 se muestran las estructuras químicas de estos compuestos.

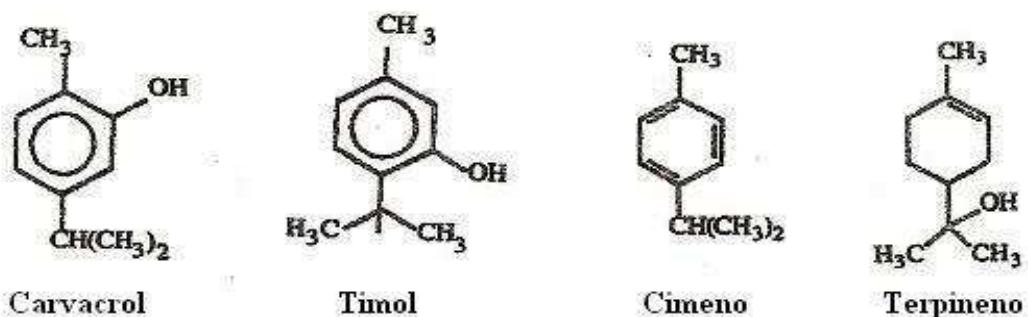


Fig. 1. Estructuras químicas de carvacrol, timol, cimeno y terpineno (Adaptado de López-Malo *et al.*, 2000)

Es sabido que la estructura química de los componentes de los aceites esenciales afecta su modo de acción y su actividad antimicrobiana, por lo que se confirma la importancia de la presencia del grupo hidroxilo en los compuestos fenólicos carvacrol y timol (Dorman y Deans, 2000; Ultee *et al.*, 2002; Veldhuizen *et al.*, 2006). El timol es estructuralmente similar al carvacrol, ya que difiere en la localización del grupo hidroxilo en el anillo fenólico; ambas sustancias parecen afectar la permeabilidad de la membrana celular (Lambert *et al.*, 2001).

Dorman y Deans (2000) y Veldhuizen *et al.* (2006) al trabajar con carvacrol en la inhibición de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* y otras bacterias patógenas, sugieren que las principales características antimicrobianas del carvacrol se deben a la presencia del grupo hidroxilo y los electrones deslocalizados del anillo bencénico.

Estudios realizados por Ultee *et al.* (1999, 2000, 2002) referentes a la inhibición de *Bacillus cereus* por carvacrol muestran que este compuesto interactúa con la membrana celular, en la que se disuelve en la bicapa de los fosfolípidos y se alinea entre las cadenas de los ácidos grasos; esta distorsión de la estructura física de la membrana celular ocasiona su

expansión e inestabilidad, incrementando el flujo de iones y la permeabilidad pasiva. Asimismo, se observó que los niveles de ATP intracelular disminuyeron, lo cual indicó una disminución en la síntesis del ATP, o incremento en su velocidad de hidrólisis. Por otra parte, el gradiente de pH a través de la membrana celular se debilitó, y los niveles intracelulares de iones potasio disminuyeron. Aunado a esto, Ultee y Smid (2001) determinaron que el carvacrol inhibe la producción de su toxina, atribuyendo el modo de acción a dos teorías: 1) la excreción de toxinas es un proceso activo, y la cantidad de ATP presente puede ser insuficiente para su liberación al exterior de la célula, y 2) la disminución en la velocidad de crecimiento de la bacteria implica que las células usan toda la energía disponible para permanecer con vida, dejando muy poca cantidad para la producción de toxinas.

Juven *et al.* (1994) estudiaron la actividad antimicrobiana del timol contra *Salmonella typhimurium* y *Staphylococcus aureus*, señalando que el timol se enlaza a las proteínas de la membrana celular mediante puentes de hidrógeno, cambiando así la permeabilidad de la membrana. Asimismo, indicaron que el timol es más inhibitorio a pH de 5.5 que a 6.5, ya que a pH de 5.5 la molécula de timol se encuentra no disociada, es más hidrofóbica

y puede enlazarse mejor a las áreas hidrofóbicas de las proteínas y disolverse mejor en la fase lipídica de la membrana celular.

Helander *et al.* (1998) indican que el carvacrol y el timol desintegran la membrana celular de las bacterias gram-negativas, ocasionando la liberación de lipopolisacáridos e incrementando la permeabilidad de la membrana al ATP. Por otra parte, Daferera *et al.* (2000) encontraron que el carvacrol y el timol parecen tener efectos aditivos en la inhibición de mohos, al trabajar con *Penicillium digitatum*, ya que al comparar las actividades fungicidas entre las especies de orégano *Origanum vulgare* con 71% carvacrol-timol del total y *Origanum dictamnus* con 78% de timol del total, y de tomillo con 66% carvacrol-timol del total, la especie *Origanum vulgare* y el tomillo fueron más tóxicos, atribuyendo este efecto a la sinergia de carvacrol-timol.

Respecto al *p*-cimeno, este compuesto tiene las siguientes características: es precursor biológico del carvacrol, es hidrofóbico y causa turgencia en la membrana citoplásmica en mayor grado que el carvacrol (Ultee *et al.*, 2002). Diversas investigaciones (Juven *et al.*, 1994; Dorman y Deans, 2000); Juliano *et al.*, 2000) indican que el *p*-cimeno carece de actividad antimicrobiana cuando se usa solo, pero que al combinarse con carvacrol, presenta sinergismo, facilitando el transporte de este último a través de la membrana citoplásmica. Más aún, Cristani *et al.* (2007) demostraron la eficacia antimicrobiana de los monoterpenos carvacrol, timol, γ -terpineno y *p*-cimeno actuando juntos, contra las bacterias *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*.

Aldehido cinámico (trans-cinamaldehído) y eugenol. La acción

antimicrobiana del aceite esencial de canela es atribuida principalmente al aldehído cinámico y al eugenol (Baratta *et al.*, 1998; Russo *et al.*, 1998; Belitz *et al.*, 2004; Burt, 2004). En la Fig.2 se presentan las estructuras químicas de estos compuestos.

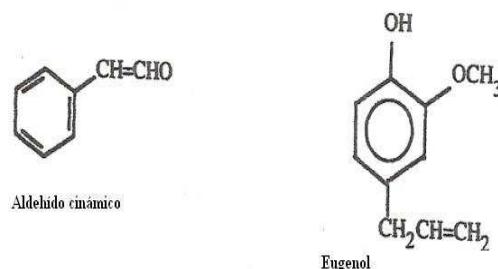


Fig. 2. Estructuras químicas de aldehído cinámico y eugenol (Adaptado de López-Malo *et al.*, 2000)

El modo de acción antimicrobiana del aldehído cinámico fue estudiado en *Enterobacter aerogenes* por Wendakoon y Sakaguchi (1995), y radica en la unión del grupo carbonilo a las proteínas celulares, evitando así la acción de las enzimas amino-ácido-descarboxilasas. De igual forma, en otros estudios Helander *et al.* (1998) determinaron la inhibición de *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium* con aldehído cinámico, y observaron que no hubo desintegración de la membrana celular externa ni agotamiento del ATP intracelular.

Estudios realizados por Thoroski (1989) referentes a la actividad antimicrobiana del eugenol en *Bacillus cereus*, señalan la inhibición de la producción de amilasas y proteasas, así como el deterioro de la pared celular y una elevada ruptura celular. De igual forma, Wendakoon y Sakaguchi (1995) determinaron que el grupo hidroxilo del eugenol se enlaza a las proteínas, bloqueando la acción enzimática en *Enterobacter aerogenes*.

Por otra parte, Moleyar y Narasimham (1992) observaron sinergismo entre el aldehído cinámico y el eugenol en la inhibición del crecimiento de *Staphylococcus* sp., *Micrococcus* sp., *Bacillus* sp. y *Enterobacter* sp.

Uso de los aceites esenciales de canela y orégano y sus componentes como antimicrobianos en alimentos

El uso potencial de los aceites esenciales de especias y/o sus componentes como antimicrobianos de origen natural en los alimentos es de gran interés actual, principalmente por su habilidad para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos.

En la Tabla III se presenta una recopilación de las investigaciones realizadas respecto a la inhibición de algunos microorganismos patógenos por los aceites esenciales de orégano y canela y sus componentes antimicrobianos, en diversos grupos de alimentos.

Al respecto de estas aplicaciones, los resultados de las investigaciones destacan lo siguiente:

- La estructura física de un alimento puede limitar la actividad antimicrobiana del aceite esencial (Skandamis *et al.*, 2002a).
- Las concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) requeridas en alimentos son mayores a las registradas *in vitro* (Shelef, 1983; Smid y Gorriss, 1999).
- La acción antimicrobiana de los aceites esenciales se reduce considerablemente en carnes, productos cárnicos y pescado con alto contenido de grasa (Mejlholm y Dalgaard, 2002).

- El contenido de proteínas de los alimentos es un factor limitante en la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales o sus componentes (Pol *et al.*, 2001).
- En verduras y productos de carne, la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales es favorecida por una disminución tanto en la temperatura de almacenamiento como en el pH del alimento (Skandamis y Nychas, 2000).
- En frutas, la eficacia antimicrobiana de los aceites esenciales y sus componentes aumenta conforme el pH disminuye (Roller y Seedhar, 2002).
- En tratamientos de fumigación de semillas, la efectividad de los aceites esenciales disminuye conforme la temperatura se incrementa (Weissinger *et al.*, 2001).

De acuerdo a lo anterior, se ha sugerido que el uso de los antimicrobianos naturales se lleve a cabo en combinación factores de control microbiano tales como temperatura, actividad de agua y pH, entre otros (López-Malo *et al.*, 2000, 2002, 2005a, 2005b, 2007; Guynot *et al.*, 2005), así como con tecnologías de tratamientos no térmicos, entre las cuales se encuentran la aplicación de altas presiones, pulsos eléctricos y atmósferas modificadas (Smid y Gorriss, 1999; Skandamis y Nychas, 2001, 2002; Skandamis *et al.*, 2002b), proporcionando así al consumidor productos alimenticios seguros, saludables y con características sensoriales aceptables.

Conclusiones

Se puede concluir que el potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano y canela se debe principalmente a la acción individual o sinérgica de sus componentes sobre la integridad celular de los microorganismos; de esta forma, el conocimiento de los mecanismos de acción de sus componentes es de gran importancia

Tabla III. Estudios de actividad antibacteriana de los aceites esenciales de orégano y canela en alimentos^a

Grupo de alimentos	Alimento	Aceite esencial o componente	Concentración usada	Microorganismo	Condiciones experimentales	Referencia
Carnes	Carne de res desmenuzada	Orégano	0.05 - 1.0%	Flora natural	Tres tipos de empacado: aire, CO ₂ , atmósfera modificada (40% CO ₂ , 30% N ₂ , 30% O ₂)	Skandamis y Nychas (2001)
	Filetes de res	Orégano	0.8% w/v	<i>L.monocytogenes</i>	Empacado en aire y atmósfera modificada (40% CO ₂ , 30% N ₂ , 30% O ₂)	Tsigarida <i>et al.</i> (2000)
	Carne de puerco desmenuzada	Orégano	100 - 200 ppm	Esporas de <i>C. botulinum</i>	Empacado al vacío	Ismaiel y Pierson (1990)
Pescados y cociñados	Camarones	Aldehído cinámico	0.15 - 0.3%	<i>Pseudomonas putida</i>	Antimicrobiano aplicado en la superficie	Ouattara <i>et al.</i> (2001)
	Lobina asiática entera	Orégano	0.05% v/v	Flora natural	Pescado entero en empaque sellado	Harpaz <i>et al.</i> (2003)
Mariscos	Filetes de bacalao	Orégano	0.05% v/w	<i>Photobacterium phosphoreum</i>		Mejilholm y Dalgaard (2002)
	Filetes de salmón	Orégano	0.05% v/w	<i>Photobacterium phosphoreum</i>		Mejilholm y Dalgaard (2002)
	Ensalada de bacalao	Orégano	0.5 - 2.0 %v/w	<i>S.enteriditis</i>	Varios pHs y temperaturas de trabajo	Koutsoumanis <i>et al.</i> (1999)
Lácteos	Leche semidescremada	Carvacrol	2-3 mmol/L	<i>L.monocytogenes</i>	Dos temperaturas de trabajo	Karatzas <i>et al.</i> (2001)
	Yoghurt	Canela	0.005 - 0.5%	<i>Streptococcus thermophilus</i>	Antimicrobiano aplicado en leche previo a la fermentación	Bayoumi (1992)
Verduras	Ensalada de berenjena	Orégano	0.7 - 2.1% v/w	<i>E. coli</i> O157:H7	Cuatro temperaturas de almacenamiento y tres diferentes pHs	Skandamis y Nychas (2000)
	Semillas de alfalfa	Aldehído cinámico y timol	200 mg , 600 mg /L aire	<i>Salmonella</i> spp., 6 serotipos	Fumigación de 50°C a 70°C	Weissinger <i>et al.</i> (2001)
Arroz	Arroz hervido	Carvacrol	0.15 - 0.75 mg/g	<i>B. cereus</i>		Ultee <i>et al.</i> (2000)
Frutas	Kiwi	Carvacrol	Solución 1 mM	Flora natural	Fruta sumergida en solución	Roller y Seedhar (2002)
		Ácido cinámico	Solución 1 mM	Flora natural	Fruta sumergida en solución	Roller y Seedhar (2002)
					Dos temperaturas de trabajo	

^aAdaptado de Burt (2004)

y apoyo para su adecuada aplicación como antimicrobianos en las tecnologías de elaboración y conservación de alimentos.

Referencias

- Arras, G. y Grella, G. 1992. Wild thyme, *Thymus capitatus*, essential oil seasonal changes and antimycotic activity. *Journal of Horticultural Science*. 67:197-202.
- Baratta, T., Dorman, D., Deans, G., Biondi, D. y Ruberto, G. 1998. Chemical composition, antimicrobial and antioxidative activity of laurel, sage, rosemary, oregano and coriander essential oils. *Journal of Essential Oil Research*. 10:618-627.
- Bauer, K., Garbe, D. y Surburg, H. 2001. *Common fragrance and flavor materials: Preparation, properties and uses*. Cuarta edición. Wiley-VCH, Weinheim, 318p.
- Bayoumi, S. 1992. Bacteriostatic effect of some spices and their utilization in the manufacture of yogurt. *Chemie,Mikrobiologie und Technologie der Lebensmittel*. 14:21-26.
- Belitz, H., Grosch, W. y Schieberle, P. 2004. *Food Chemistry*. Tercera edición. Springer, Alemania, 1070p.

- Beuchat, L. R. 1994. Antimicrobial properties of spices and their essential oils. En: V. M. Dillon y R. G. Board (Eds). *Natural Antimicrobial Systems and Food Preservation*. CAB International. Wallingford. pp.167-179.
- Bullerman, L., Lieu, F. y Seier, S. 1977. Inhibition of growth and aflatoxin production by cinnamon and clove oils, cinnamic aldehyde and eugenol. *Journal of Food Science*. 42: 1107-1109, 1116.
- Burt, S. 2004. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94:223-253.
- Burt, S. y Reinders, R. 2003. Antibacterial activity of selected plant essential oils against *Escherichia coli* O157:H7. *Letters in Applied Microbiology*. 36:162-167.
- Caccioli, D. y Guizzardi, M. 1994. Inhibition of germination and growth of fruit and vegetable postharvest pathogenic fungi by essential oil components. *Journal of Essential Oils Research*. 6:173-179.
- Canillac, N. y Mourey, A. 2001. Antibacterial activity of the essential oil of *Picea excels* on *Listeria*, *Staphylococcus aureus* and coliform bacteria. *Food Microbiology*. 18:261-268.
- Carson, C., Cookson, B., Farrelly, H. y Riley, T. 1995. Susceptibility of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* to the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 35:421-424.
- Consentino, S., Tuberoso, G., Pisano, B., Satta, M., Mascia, V., Arzedi, E. y Palmas, F. 1999. *In vitro* antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oils. *Letters in Applied Microbiology*. 29:130-135.
- Coronel, C. P. 2004. Vapores de extractos de especias y condimentos como agentes antimicrobianos. Tesis de Maestría. Universidad de las Américas Puebla.
- Cristani, M., D'Arrigo, M., Mandalari, G., Casteli, F., Sarpietro, M., Micieli, D., Venuti, V., Bisignano, G., Saija, A. y Trombetta, D. 2007. Interaction of four monoterpenes contained in essential oils with model membranes: implications of their antibacterial activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:6300-6308.
- Daferera, D., Ziogas, B. y Polissiou, G. 2000. GC-MS Analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48:2576-2581.
- Davidson, P. M. 2001. Chemical preservatives and naturally antimicrobial compounds. En: M. P. Doyle, L. R. Beuchat y T. J. Montville (Eds). *Food Microbiology Fundamentals and Frontiers*. Segunda edición. ASM Press. Washington. pp.593-627.
- Davidson, P. M. 1993. Parabens and phenolic compounds. En: P.M. Davidson y A. L. Branen (Eds). *Antimicrobials in Foods*. Segunda edición. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. pp.263-306.
- Delaquis, P., Stanich, K., Girard, B. y Mazza, G. 2002. Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander, and eucaliptus essential oils. *International Journal of Food Microbiology*. 74:101-109.
- Denyer, S. P. y Hugo, W. B. 1991. Mechanisms of antibacterial action- A summary. En: S. P. Denyer y W. B. Hugo (Eds). *Mechanisms of action of chemical biocides*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. pp.331-334.
- 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.
- Faleiro, M., Miguel, M., Ladeiro, F., Venancio, F., Tavares, R., Brito, C., Figueiredo, A., Barroso, J. y Pedro, G. 2002. Antimicrobial activity of essential oils isolated from Portuguese endemic species in *Thymus*. *Letters in Applied Microbiology*. 36:35-40.
- Gill, A. y Holley, R. A. 2006. Disruption of *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* and *Lactobacillus sakei* cellular membranes by plant oil aromatics. *International Journal of Food Microbiology*. 108:1-9.
- Guynot, M. E., Marín, S., Setó, L., Sanchis, V. y Ramos, A. J. 2005. Screening for antifungal activity of some essential oils against common spoilage fungi of bakery products. *Food Science & Technology International*. 11(1):25-32
- Guynot, M. E., Ramos, A. J., Setó, L., Purroy, P., Sanchis, V. y Marín, S. 2003. Antifungal activity of volatile compounds generated by essential oils against fungi commonly causing deterioration of

- bakery products. *Journal of Applied Microbiology*. 94:893-899.
- Hammer, K., Carson, C. y Riley, T. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*. 86:985-900.
- Harpaz, S., Glatman, L., Drabkin, V. y Gelman, A. 2003. Effects of herbal essential oils used to extend the shelf life of fresh-water-reared Asian sea bass fish (*Lates calcarifer*). *Journal of Food Protection*. 66:410-417.
- Helander, I., Alakomi, H., Latva-Kala, K., Mattila-Sandholm, T., Pol, I., Smid, E., Gorris, L. y Von Wright, A. 1998. Characterization of the action of selected essential oil components on Gram-negative bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46:3590-3595.
- Ismail, A. y Pierson, M. D. 1990. Effect of sodium nitrite and origanum oil on growth and toxin production of *Clostridium botulinum* in TYG broth and ground pork. *Journal of Food Protection*. 53:958-960.
- Jerkovic, I., Mastelic, J. y Milos, M. 2001. The impact of both the season of collection and drying on the volatile constituents of *Origanum vulgare* L. ssp. *Hirtum* grown wild in Croatia. *International Journal of Food Science and Technology*. 36:649-654.
- Juglal, S., Govinden, R. y Odhav, B. 2002. Spice oils for the control of co-occurring mycotoxin producing fungi. *Journal of Food Protection*. 65:683-687.
- Juliano, C., Mattana, A. y Usai, M. 2000. Composition and *in vitro* antimicrobial activity of the essential oil of *Thymus herba-barona* Loisel growing wild in Sardinia. *Journal of Essential Oil Research*. 12:516 -522.
- Juven, B., Kanner, J., Schved, F. y Weisslowicz, H. 1994. Factors that interact with the antibacterial action of thyme essential oil and its active constituents. *Journal of Applied Bacteriology*. 76:626-631.
- Kalemba, D. y Kunicka, A. 2003. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*. 10: 813-829.
- Karapinar, M. y Aktug, S. 1987. Inhibition of food borne pathogens by thymol, eugenol, menthol y anethole. *International Journal of Food Microbiology*. 4:161-166.
- Karatzas, A., Kets, E., Smid, E. y Bennik, M. 2001. The combined action of carvacrol and high hydrostatic pressure on *Listeria monocytogenes* Scott A. *Journal of Applied Microbiology*. 90:463-469.
- Kokkini, S. y Vokou, D. 1989. Carvacrol rich plants in Greece. *Flavour Fragrance Journal*. 4:1-7.
- Kokkini, S., Karousou, R., Dardioti, A., Krigas, N. y Lanaras, T. 1997. Autumn essential oils of Greek oregano. *Phytochemistry*. 44:883-886.
- Koutsoumanis, K., Lambropoulou, K. y Nychas, G. J. E. 1999. A predictive model for the non-thermal inactivation of *Salmonella enteritidis* in a food model system supplemented with a natural antimicrobial. *International Journal of Food Microbiology*. 49:63-74
- Lambert, R. J. W., Skandamis, P. N., Coote, P. J. y Nychas, G. J. E. 2001. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*. 91: 453-462.
- López-Malo, A., Alzamora, S. M. y Palou, E. 2005a. Naturally occurring compounds. Plant sources. En: P. M. Davidson, J. N. Sofos y A. L. Branen (Eds). *Antimicrobials in Food*. Tercera edición. Marcel Dekker. Nueva York. pp.429-451.
- López-Malo, A., Alzamora, S.M. y Palou, E. 2005b. Aspergillus flavus growth in the presence of chemical preservatives and naturally occurring antimicrobial compounds. *International Journal of Food Microbiology*. 99(2):119-128.
- López-Malo, A., Alzamora, S. y Palou, E. 2002. Aspergillus flavus dose-response curves to selected natural and synthetic antimicrobials. *International Journal of Food Microbiology*. 73(2/3):213-218.
- López-Malo, A., Alzamora, S. M. y Guerrero, S. 2000. Natural antimicrobials from plants. En: S. M. Alzamora, M. S. Tapia y A. López-Malo (Eds). *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Aspen Publishers. EE.UU. pp. 237-263.
- López-Malo, A., Barreto-Valdivieso, J., Palou, E. y San Martín, F. 2007. Aspergillus flavus growth response to cinnamon extract and sodium benzoate mixtures. *Food Control*. 18 (11):1358-1362.
- Marotti, M., Piccaglia, R. y Giovanelli, E. 1994. Effects on planting time and mineral fertilization on peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil

- composition and its biological activity. *Flavor and Fragrance Journal.* 9:125-129.
- Mejlholm, O. y Dalgaard, P. 2002. Antimicrobial effect of essential oils on the seafood spoilage micro-organism *Photobacterium phosphoreum* in liquid media and fish products. *Letters in Applied Microbiology.* 34:27-31.
- Milos, M., Mastelic, J. y Jerkovic, I. 2000. Chemical composition and antioxidant effect of glycosidally bound volatile compounds from oregano (*Origanum vulgare L.* ssp. *hirtum*). *Food Chemistry.* 71:79-83.
- Moleyar, V. y Narasimham, P. 1992. Antibacterial activity of essential oil components. *International Journal of Food Microbiology.* 16:337-342.
- Nychas, G. J. E. 1995. Natural antimicrobials from plants. En G. W. Gould (Ed). *New Methods of Food Preservation.* Blackie Academic and Professional. Glasgow. pp.58-59.
- Onawunmi, G. 1989. Evaluation of the antimicrobial activity of citral. *Letters in Applied Microbiology.* 9:105-108.
- Ouattara, B., Sabato, S. y Lacroix, M. 2001. Combined effect of antimicrobial coating and gamma irradiation on shelf life extension of pre-cooked shrimp. (*Penaeus* spp.). *International Journal of Food Microbiology.* 68:1-9.
- Packiyasothy, E. y Kyle, S. 2002. Antimicrobial properties of some herb essential oils. *Food Australia.* 54:384-387.
- Pol, I., Mastwijk, H., Slump, R., Popa, M. y Smid, E. 2001. Influence of food matrix on inactivation of *Bacillus cereus* by combinations of nisin, pulsed electric field treatment and carvacrol. *Journal of Food Protection.* 64:1012-1018.
- Prudent, D., Perineau, F., Bessiere, J., Michel, G. y Baccou, J. 1995. Analysis of the essential oil of wild oregano from Martinique (*Coleus aromaticus* Benth.) – evaluation of its bacteriostatic and fungistatic properties. *Journal of Essential Oil Research.* 7:165-173.
- Quintavalla, S. y Vicini, L. 2002. Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science.* 62: 373-380.
- Roller, S. y Seedhar, P. 2002. Carvacrol and cinnamic acid inhibit microbial growth in fresh-cut melon and kiwifruit at 4°C and 8 °C. *Letters in Applied Microbiology.* 35:390-394.
- Russo, M., Galletti, G., Bocchini, P. y Carnacini, A. 1998. Essential oil chemical composition of wild populations of Italian oregano spice (*Origanum vulgare* ssp. *Hirtum* (Link) Ietswaart): A preliminary evaluation of their use in chemotaxonomy by cluster analysis. 1. Inflorescences. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 46:3741-3746.
- Salzer, U.J. 1977. The analysis of essential oils and extracts (oleoresins) from seasonings- a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 9:345-373.
- Senatore, F. 1996. Influence of harvesting time on yield and composition of the essential oil of a thyme (*Thymus pulegioides L.*) growing wild in Campania (Southern Italy). *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 44:1327-1332.
- Shelef, L. A. 1983. Antimicrobial effects of spices. *Journal of Food Safety.* 6:29-44.
- Sikkema, J., Debont, J. y Poolman, B. 1995. Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microbiology Reviews.* 59:201-222.
- Sikkema, J., Debont, J. y Poolman, B. 1994. Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. *Journal of Biological Chemistry.* 269:8022-8028.
- Simándi, B., Oszagyán, M., Lemberkovics, É., Kéry, A., Kaszács, J., Thyrión, F. y Mátyás, T. 1998. Supercritical carbon dioxide extraction and fractionation of oregano oleoresin. *Food Research International.* 31(10):723-728.
- Skandamis, P. N. y Nychas, G. J. 2002. Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal of Food Microbiology.* 79:35-45.
- Skandamis, P. N. y Nychas, G. J. E. 2001. Effect of oregano essential oil on microbiological and physico-chemical attributes of minced meat stored in air and modified atmospheres. *Journal of Applied Microbiology.* 91:1011-1022.
- 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.* 66:1646-1653.
- Skandamis, P. N., Tsigarida, E. y Nychas, G. J. 2002a. Ecophysiological attributes of *Salmonella*

- typhimurium* in liquid culture and within a gelatin gel with or without the addition of oregano essential oil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 16:31-35.
- Skandamis, P. N., Tsigarida, E. y Nychas, G. J. 2002b. The effect of oregano essential oil on survival/death of *Salmonella typhimurium* in meat stored at 5°C under aerobic, VP/MAP conditions. *Food Microbiology*. 19:97-103
- Smid, E. J. y Gorris, L. G. M. 1999. Natural antimicrobials for food preservation. En: M. S. Rhaman. *Handbook of Food Preservation*. Marcel Dekker. Nueva York. pp.285-308.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J. y Fyfe, L. 2001. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food Microbiology*. 18:463-470.
- Sofos, J. N., Beuchat, L. R., Davidson, P.M. y Johnson, E. A. 1998. *Naturally Occurring Antimicrobials in Food*. Task Force Report No. 132. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, IA. 103p.
- Tainter, R. y Grenis, A. 1993. *Especies y aromatizantes alimentarios*. Primera edición. Acribia. España. 260p.
- Tassou, C., Koutsoumanis, K. y Nychas, G. 2000. Inhibition of *Salmonella enteritidis* and *Staphylococcus aureus* in nutrient broth by mint essential oil. *Food Research International*. 33:273-280.
- Thoroski, J., Blank, G. y Biliaderis, C. 1989. Eugenol induced inhibition of extracellular enzyme production by *Bacillus cereus*. *Journal of Food Protection*. 52:399-403.
- Tsigarida, E., Skandamis, P. y Nychas, G. J. E. 2000. Behavior of *Listeria monocytogenes* and autochthonous flora on meat stored under aerobic, vacuum and modified atmosphere packaging conditions with or without the presence of oregano essential oil at 5°C. *Journal of Applied Microbiology*. 89:901-909.
- Turina Adel, V., Nolan, M., Zygadlo, J. y Perillo, M. 2006. Natural terpenes: Self assembly and membrane partitioning. *Biophysical Chemistry*. 122:101-113.
- Ultee, A. y Smid, E. 2001. Influence of carvacrol on growth and toxin production by *Bacillus cereus*. *International Journal of Food Microbiology*. 64:373-378.
- Ultee, A., Bennink, M. y Moezelaar, R. 2002. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*. 68:1561-1568.
- Ultee, A., Kets, E. y Smid, E. 1999. Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied Environmental Microbiology*. 65(10):4606-4610.
- Ultee, A., Slump, R., Steging, G. y Smid, E. J. 2000. Antimicrobial activity of carvacrol toward *Bacillus cereus* on rice. *Journal of Food Protection*. 63:620-624.
- Veldhuizen, E., Bokhoven, J., Zweijtzer, C., Burt, S. y Haagsman, H. 2006. Structural requirements for the antimicrobial activity of carvacrol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:1874-1879.
- Vokou, S., Kokkini, S. y Bessiere, J. 1993. Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) essential oils. *Biochemistry System Ecology*. 21:287-295.
- Wan, J., Wilcock, A. y Coventry, M. 1998. The effect of essential oils of basil on the growth of *Aeromonas hydrophila* and *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of Applied Microbiology*. 84:152-158.
- Weissinger, W., McWatters, K. y Beuchat, L. R. 2001. Evaluation of volatile chemical treatments for lethality to *Salmonella* on alfalfa seeds and sprouts. *Journal of Food Protection*. 64:442-450.
- Wendakoon, C. N. y Sakaguchi, M. 1995. Inhibition of aminoacid decarboxylase activity of *Enterobacter aerogenes* by active components in spices. *Journal of Food Protection*. 58:280-283.
- Wilkins, C. y Madsen, J. 1991. Oregano headspace constituents. *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*. 192:214-219.
- Wilkins, K. y Board, R. 1989. Natural antimicrobial systems. En: G. W. Gould. (Ed). *Mechanisms of action of food preservation procedures*. Elsevier Science Publishers Ltd., Nueva York. pp.285-362