



**Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.12>**

**Revisión de Literatura. Recibido: 09/10/2023. Aceptado:13/07/2024. Publicado: 19/07/2024. Clave: e2023-36.**

**<https://www.youtube.com/watch?v=Vk3Ulymx5Hg>**

## **Aceites esenciales y sus constituyentes para hacer frente a las bacterias patógenas**

Essential oils and their constituents in coping with pathogenic bacteria



**Mares-Jiménez Andrea\*<sup>1</sup> ID, Prado-Rebolledo Omar<sup>2</sup> ID, Hernández-Rivera Juan<sup>2</sup> ID, Mendoza-Muñoz Néstor<sup>3</sup> ID, García-Casillas Arturo\*\*<sup>2</sup> ID**

<sup>1</sup>Universidad de Colima, Estudiante de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, Colima, México. <sup>2</sup>Universidad de Colima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Colima, México. <sup>3</sup>Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Químicas, Colima, México. \*Autor responsable: Mares-Jiménez Andrea. \*\*Autor de correspondencia: García-Casillas Arturo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima. Kilómetro 40 Carretera Colima-Manzanillo, S/N, Tecomán, Colima, México. CP 28100. E-mail: amares@ucol.mx, omarpr@ucol.mx, jhernandez2@ucol.mx, nmendoza0@ucol.mx, cesargarciasillas@hotmail.com

### **RESUMEN**

Los aceites esenciales son pequeñas gotas intercelulares, cuyos constituyentes son ésteres, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, terpenos, terpenoides, cetonas, ácidos, y aldehídos. Su potencial como antimicrobianos naturales depende de la composición química del aceite, y de las estructuras bacterianas Gram<sup>+</sup> y Gram<sup>-</sup>. Por lo tanto, esta revisión considera la comprensión química de los aceites esenciales, y continúa con la interpretación de las principales estructuras bacterianas. Al final se presenta información sobre el efecto de los aceites esenciales en el ensamblaje de lípidos en la pared celular bacteriana, la fuga de iones, la desnaturalización de proteínas celulares, el escape de material citoplásmico, la alteración de la cadena respiratoria y finalmente la lisis bacteriana.

**Palabras clave:** terpenos, terpenoides, polifenoles, fenilpropenos, flavonoides, lipopolisacárido, peptidoglicano.

### **ABSTRACT**

Essential oils are small intercellular droplets, whose constituents are esters, alcohols, aromatic hydrocarbons, terpenes, terpenoids, ketones, acids, and aldehydes. Their potential as natural antimicrobials depend on the chemical composition of the oil, and the Gram<sup>+</sup> and Gram<sup>-</sup> bacterial structures. Therefore, this review considers the chemical understanding of essential oils, and continues with the interpretation of the main bacterial structures. At the end, information is presented on the effect of essential oils on the assembly of lipids in the bacterial cell wall, ion leakage, denaturation of cellular proteins, escape of cytoplasmic material, alteration of the respiratory chain and finally lysis.

**Keywords:** terpenes, terpenoids, polyphenols, phenylpropenes, flavonoids, lipopolysaccharide, peptidoglycan.



## ABREVIATURAS

AE	Aceites Esenciales	H <sup>+</sup>	hidrógeno
ATP	trifosfato de adenosina	K <sup>+</sup>	potasio
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	isopreno	LPS	lipopolisacárido
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>5</sub>	glucosamina	MurNAc	N-acetilmurámico
CH <sub>3</sub>	grupo metilo	N <sup>2</sup>	nitrógeno
CO-NH	enlace peptídico	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	dioxígeno
COO-CH	enlace éster	-OH	grupo hidroxilo
-COOH	grupo carboxilo	UV	ultravioleta
GlcNac	N-acetil-β-D-glucosamina		

## INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, la industria alimentaria ha utilizado productos químicos para inhibir el crecimiento de microorganismos (Davidson *et al.*, 2012); sin embargo, pueden tener un efecto perjudicial sobre las características organolépticas y sensoriales de algunos alimentos (Mahmud & Khan, 2018). Los Aceites Esenciales (AE) son metabolitos secundarios extraídos de las plantas (Falleh *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2021). Gracias a su actividad farmacológica y a su viabilidad económica, su aceptación como antimicrobianos naturales por los consumidores va en aumento (Angane *et al.*, 2022). Gavahian *et al.* (2020) señalaron que los AE son pequeñas gotas intercelulares, formadas en el citoplasma eucarionte vegetal. Comprenden compuestos como ésteres, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, terpenos, terpenoides, cetonas, ácidos, y aldehídos (Santos *et al.*, 2022). Extraídos principalmente de: i) eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Mieres *et al.*, 2021), ii) clavo (*Syzygium aromaticum*) (Haro *et al.*, 2021), iii) limón (*Citrus limon*) (Singh *et al.*, 2021), iv) romero (*Salvia rosmarinus*) (de Macedo *et al.*, 2020), v) orégano (*Origanum vulgare*) (Bora *et al.*, 2022), vi) ajo (*Allium sativum*) (Ezeorba *et al.*, 2022), y vii) canela (*Cinnamomum verum*) (Abd *et al.*, 2020). Aunque la industria alimentaria utiliza AE como agentes aromatizantes, su potencial como antimicrobianos naturales no ha sido explorada por completo. Por lo tanto, esta revisión analiza la actividad antimicrobiana de los AE, a partir de la composición química de sus constituyentes: i) terpenos, ii) terpenoides, iii) polifenoles – fenilpropenos, y iv) polifenoles – flavonoides. Finalmente, se presentan las principales estructuras bacterianas y el efecto de los AE sobre ellas.

### Composición química de los aceites esenciales

Los AE y sus componentes se utilizan en: fragancias, cosméticos, productos farmacéuticos, aromaterapia, artículos sanitarios, odontología, agricultura, conservantes y aditivos (Candela *et al.*, 2021; Abelan *et al.*, 2022). Son extraídos principalmente de las plantas (D'Addabbo & Avato, 2021) y contienen diferentes compuestos químicos con propiedades antimicrobianas (Vianna *et al.*, 2021) p. ej., terpenos, terpenoides, y polifenoles, como fenilpropenos y flavonoides (Álvarez *et al.*, 2021). De manera paralela, presentan propiedades antioxidantes (Perumal *et al.*, 2022), que se pueden utilizar en la industria alimenticia para prevenir la degradación de productos cárnicos (Chen *et al.*, 2021).



La concentración de los compuestos químicos presentes en los AE varía de planta en planta (Cascaes *et al.*, 2021), por el momento de su cosecha (Faria *et al.*, 2021) y por el método de su extracción (Teigiserova *et al.*, 2021); entre los que destacan: i) maceración y prensado (estas técnicas crean productos no deseados p. ej., ceras, extractos, y pigmentos) (Ghasemy *et al.*, 2022), ii) extracción asistida por microondas sin uso de disolventes (Bagade & Patil, 2021), y extracción con agua súper calentada (Ayub *et al.*, 2023), iii) destilación por arrastre con vapor de agua e hidrodestilación (Villamizar & Aular, 2022).

## Terpenos

Los terpenos (figura 1), son polímeros formados por la unión de varias moléculas de hidrocarburo isopreno ( $C_5H_8$ ) (Soto *et al.*, 2023), producidas en el citosol y en algunos cloroplastos de las células vegetales (Masyita *et al.*, 2022). La emisión de  $C_5H_8$  es más común en plantas de crecimiento rápido que no soportan largos periodos de estrés ambiental (Feng *et al.*, 2019). La emisión de  $C_5H_8$  también depende de la luz recibida (Li *et al.*, 2022), y la temperatura ambiental (Taylor *et al.*, 2019). A nivel mundial la emisión de  $C_5H_8$  por parte de las plantas se estima en 350 millones de t/año (Weraduwage *et al.*, 2022).

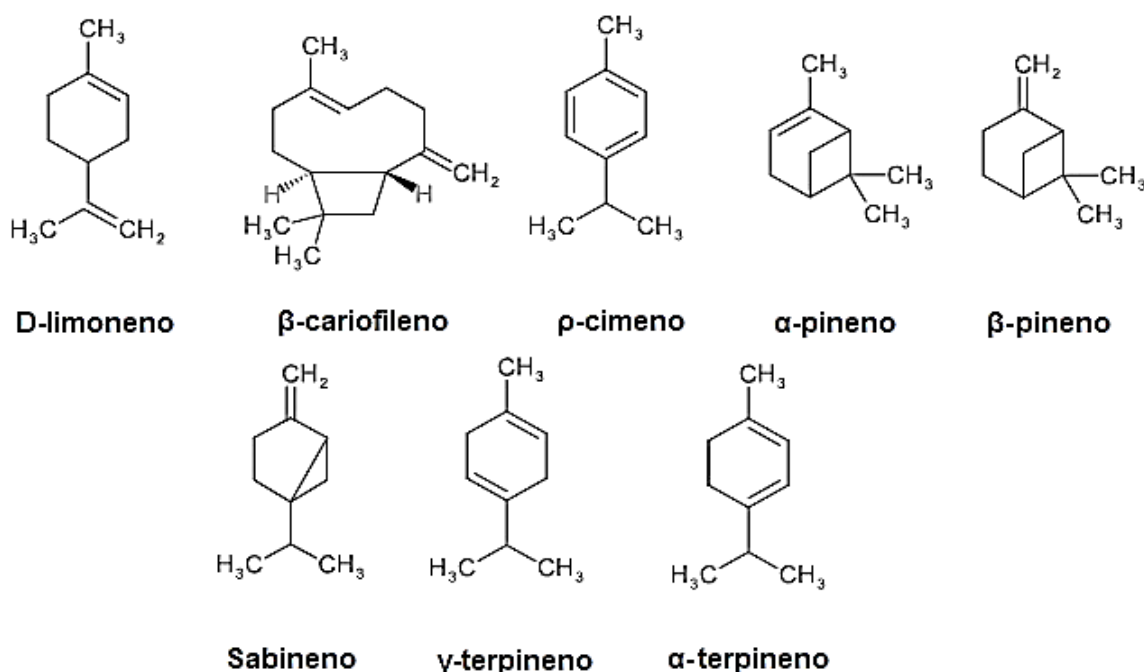


Figura 1. Estructura química de los principales terpenos

La síntesis de  $C_5H_8$  se origina por la reducción del mevalonato (figura 2) (Lee *et al.*, 2019). Esta molécula es formada por cinco carbonos, un grupo metilo ( $CH_3$ ), dos grupos hidroxilo ( $-OH$ ), y un grupo carboxilo ( $-COOH$ ) (Liu *et al.*, 2022).

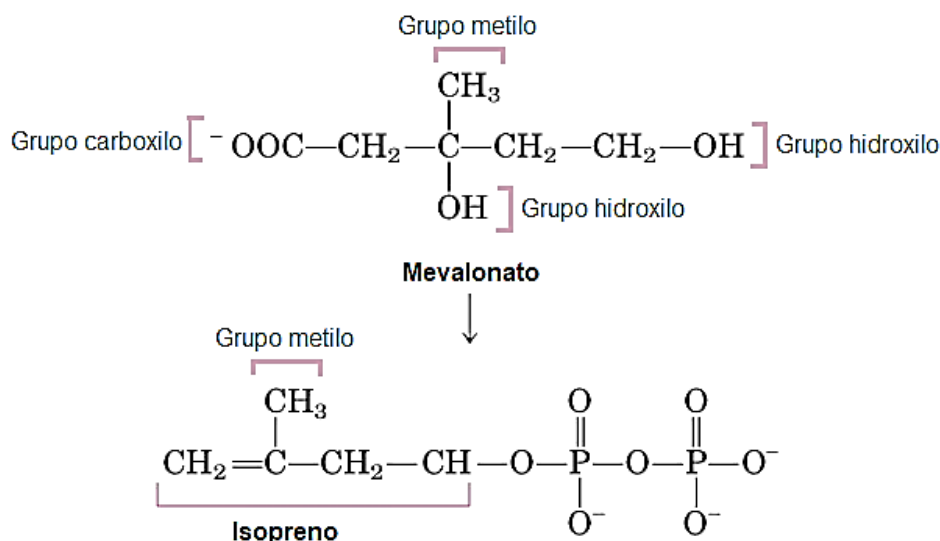


Figura 2. Hidrocarburo isopreno

Los terpenos (figura 1), suelen existir en forma de compuestos como: D-limoneno, encontrado en el AE de las cáscaras de cítricos (Chebet *et al.*, 2021); β-cariofileno, localizado en el AE de pimienta negra (Baradaran & Askari, 2022); p-cimeno, hallado en el AE de comino y tomillo (Custodio *et al.*, 2011); α-pineno, encontrado en el AE de pino o trementina (Karimkhani *et al.*, 2022); β-pineno, localizado en el AE de pino o trementina, artemisa grande y *Cannabis* (Weston *et al.*, 2021); sabineno, hallado en el AE de encino y abeto rojo (Masyita *et al.*, 2022); γ-terpineno, encontrado en el AE de cítricos, comino y alcaravea (Dehghani *et al.*, 2022); y α-terpineno, hallado en el AE de cardamomo y mejorana (Sousa *et al.*, 2022).

### Terpenoides

Los terpenoides (figura 3), son terpenos modificados por la adición de átomos de dióxigeno (O<sub>2</sub>) (Masyita *et al.*, 2022), o el reacomodo o eliminación de grupos CH<sub>3</sub> (Amirzakariya & Shakeri, 2022).

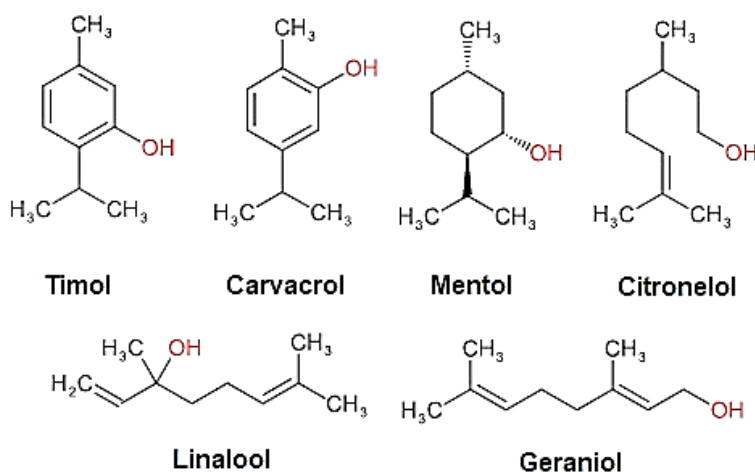


Figura 3. Estructura química de los principales terpenoides

Los terpenoides suelen existir en forma de compuestos como: timol, encontrado en el AE de tomillo y orégano (Posgay *et al.*, 2022), carvacrol, hallado en el AE de tomillo y orégano (Imran *et al.*, 2022), mentol, localizado en el AE de menta (Cheng & An, 2022), geraniol, encontrado en el AE de rosa y geranio (Bagheri *et al.*, 2022), citronelol, hallado en el AE de citronela (Santos *et al.*, 2019); y linalool, localizado en el AE de menta, laurel, canela y *Cannabis* (Weston *et al.*, 2021).

## Polifenoles

Los polifenoles son compuestos naturales encontrados en frutas, verduras, cereales y bebidas p. ej., té, café, vino tinto y jugos de frutas (Bertelli *et al.*, 2021). Presentan uno o más anillos fenólicos en su estructura principal (Libro *et al.*, 2016), (figura 4). Son considerados los antioxidantes dietéticos más abundantes (Li and Duan, 2019); se clasifican en dos grandes grupos: i) flavonoides (el grupo más abundante) y ii) no flavonoides (Khare *et al.*, 2022).

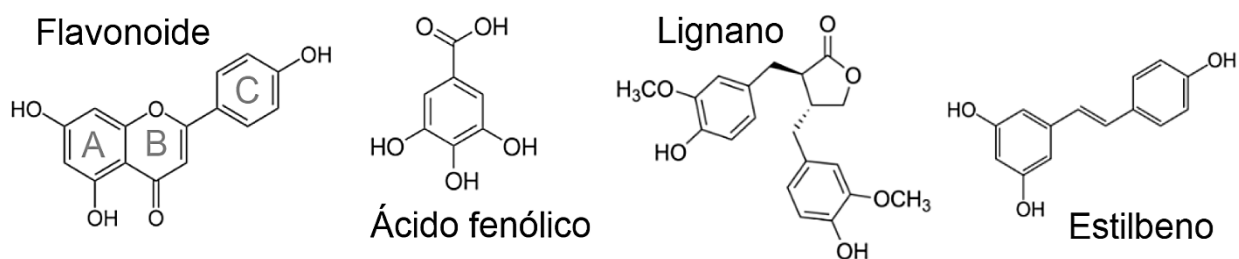


Figura 4. Estructura química de los principales polifenoles

Los flavonoides se acumulan en las vacuolas celulares (Teng *et al.*, 2023); presentan dos anillos fenólicos unidos por tres átomos de carbono en heterociclos oxigenados ( $C_6C_3C_6$ ) (Libro *et al.*, 2016), llamados anillos A, B, y C (Bertelli *et al.*, 2021). Dentro de los flavonoides, destacan:

- Antocianinas (zarzamora, aceituna negra, cereza, fresa y frambuesa)
- Flavonoles (alcaparras, azafrán, orégano, cebolla morada y espinaca)
- Flavanonas (menta, orégano, jugo de toronja, y jugo de naranja) (Sekaran *et al.*, 2022). Incluyen a las moléculas hesperetina, eriodictiol y naringenina (Najmanova *et al.*, 2020)
- Flavonas (menta, orégano, apio y harina de trigo integral)
- Flavonoles (azafrán, alcaparras, orégano, espinaca y cebolla morada)
- Isoflavonas (soya)

López *et al.* (2020) y Lang *et al.* (2024) indicaron que los compuestos no flavonoides se clasifican principalmente en:

- Ácidos fenólicos. Presentan un grupo fenólico y un ácido carboxílico ( $C_6C_1$ ), y se distribuyen en dos subgrupos: i) ácidos hidroxibenzoicos: castaña, jugo de granada, clavo, frambuesa y arándano; y ii) ácidos hidroxicinámicos: menta, tomillo, romero y orégano.

- Lignanos. Están formados por dos grupos fenilo incorporados a dos unidades de propano ( $C_6C_3C_3C_6$ ), y se distribuyen en dos subgrupos: i) matairesinol: ajonjolí, linaza y girasol; secoisolariciresinol: linaza, kiwi y cacahuete.
- Estilbenos. Presentan dos anillos fenólicos unidos a una unidad de etano ( $C_6C_2C_6$ ). El subgrupo más grande de los Estilbenos es el resveratrol: vino tinto, pistache, arándano, fresa, grosella y cacahuete.

### Principales estructuras bacterianas

La eficacia antimicrobiana de los AE depende de: i) la composición química del aceite (Galgano *et al.*, 2022), ii) las condiciones ambientales (Falleh *et al.*, 2020), y iii) las estructuras bacterianas Gram<sup>+</sup> y Gram<sup>-</sup> (Valdivieso *et al.*, 2019). Las bacterias Gram<sup>+</sup> (figura 5) presentan: i) pared celular de peptidoglucano con 20 a 80 nm (Dziarski & Gupta, 2010) y ii) membrana citoplasmática (Shanmugasundarasamy *et al.*, 2022), se tiñen de color azul o violeta con la tinción de Hans Christian Gram (Javaeed *et al.*, 2021); p. ej., forma de bacilo (*Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Lactobacillus* y *Listeria*) o coco (*Staphylococcus* y *Streptococcus*) (Rohde, 2019).

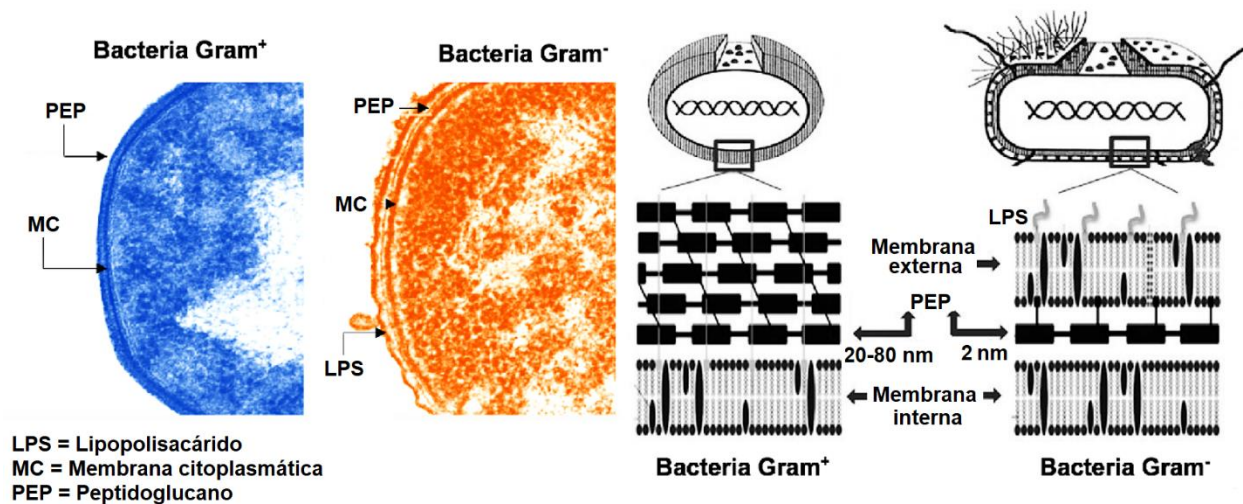


Figura 5. Representación de la pared celular en bacterias Gram<sup>+</sup> y Gram<sup>-</sup>

Las bacterias Gram<sup>-</sup> (figura 5) presentan: i) membrana externa de lipopolisacárido (LPS) o endotoxina (Brodzikowska *et al.*, 2022), lipoproteínas y algunas enzimas p. ej., fosfolipasas que hidrolizan enlaces éster ( $COO-CH$ ) en los fosfolípidos (González *et al.*, 2021) y peptidasas que hidrolizan enlaces peptídicos ( $CO-NH$ ) en las proteínas (Zhan *et al.*, 2018), ii) pared celular con 2 nm de peptidoglucano (Dziarski & Gupta, 2010) y iii) membrana citoplasmática, se tiñen de color rojo tenue con la tinción de Hans Christian Gram (Javaeed *et al.*, 2021), p. ej., *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serotipo Enteritidis, *Helicobacter* (Ramatla *et al.*, 2023; Shahdadi *et al.*, 2023).

El peptidoglucano (Figura 6) es un copolímero formado por una secuencia alternante de *N*-acetilmurámico (MurNAc) (Girardin & Philpott, 2004) y *N*-acetil- $\beta$ -D-glucosamina



(GlcNac) (Rohde, 2019), unidos mediante enlaces  $\beta$  en los carbonos C:1 y C:4 (Dziarski & Gupta, 2010). Es considerado, el antígeno de superficie más importante de las bacterias Gram<sup>+</sup> (Rohde, 2019).

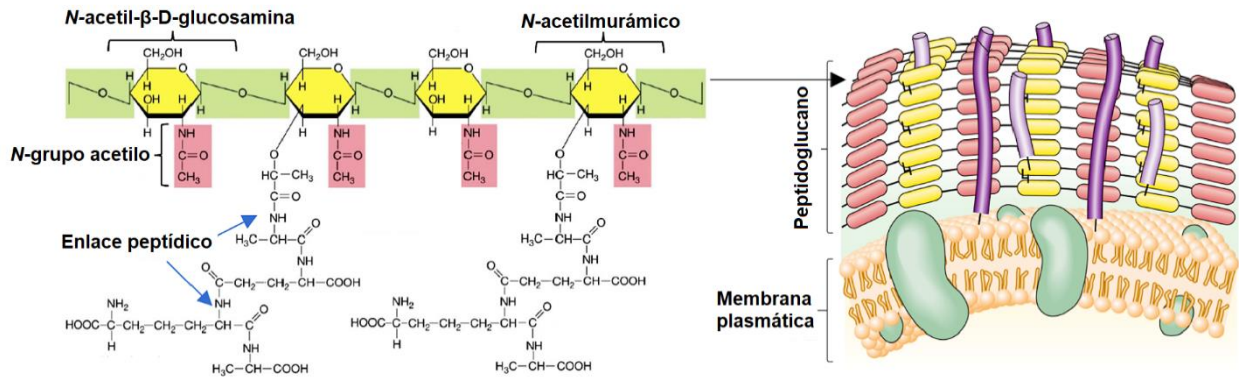


Figura 6. Estructura del peptidoglucano en bacterias Gram<sup>+</sup>

El LPS o endotoxina (figura 7), es un glucolípido compuesto de dos unidades de glucosamina (C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>NO<sub>5</sub>) fosforilada (Brodzikowska *et al.*, 2022); unidas mediante enlaces  $\beta$  en los carbonos C:1 y C:6 a ácidos grasos saturados (sin enlaces dobles) (Mazgaeen & Gurung, 2020), insertos en la membrana externa de la bacteria (González *et al.*, 2021).

Estos ácidos grasos por lo general son: caproico C:6, láurico C:12, mirístico C:14, palmítico C:16 y esteárico C:18 (Di Lorenzo *et al.*, 2019). Proseé tres regiones: i) lípido A o región hidrofóbica próxima a la membrana bacteriana (Mazgaeen & Gurung, 2020), ii) núcleo o core (heteropolisacárido intermedio) dividido en interno (heptosas, algunas fosforiladas) y externo (hexosas) (Di Lorenzo *et al.*, 2019), y iii) antígeno O también llamado región distal hidrofílica de repeticiones de polisacáridos (Whitfield *et al.*, 2020).

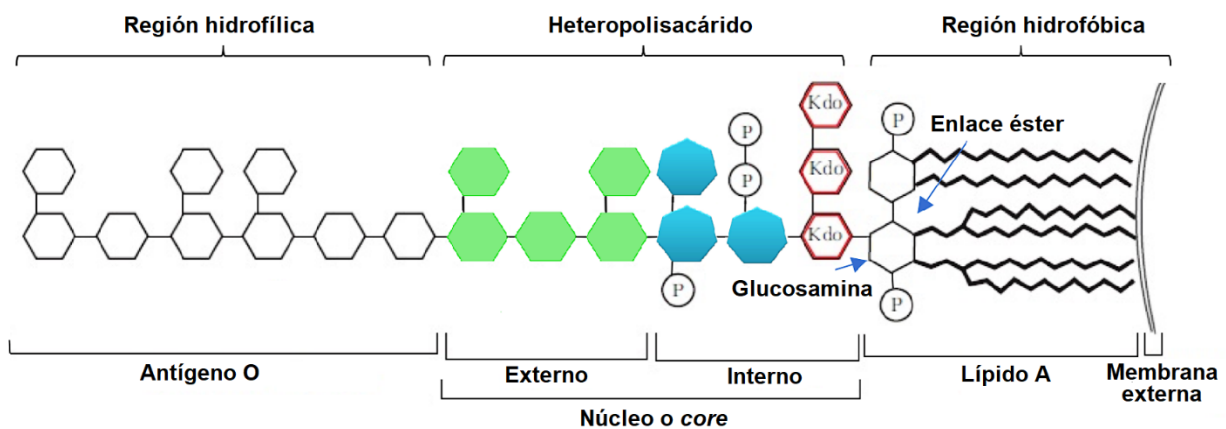


Figura 7. Estructura del lipopolisacárido en bacterias Gram<sup>-</sup>



El LPS, es considerado el antígeno de superficie más importante de las bacterias Gram<sup>-</sup> (Whitfield *et al.*, 2020). El proceso de adhesión entre el LPS y las células eucariotas es mediado por el lípido A (Mazgaeen & Gurung, 2020), el núcleo o core, el antígeno O y su capacidad para formar puentes o enlaces de hidrógeno (Brodzikowska *et al.*, 2022), con interacciones electrostáticas entre los átomos del ion hidrógeno ( $H^+$ ) y átomos electronegativos, como el  $O_2^-$  y el nitrógeno ( $N^{2-}$ ) en las proteínas de las células eucariotas (Di Lorenzo *et al.*, 2019).

### **Efecto de los aceites esenciales sobre las principales estructuras bacterianas**

En general, los AE pueden tener más de cien compuestos (Santos *et al.*, 2022). Los terpenos y los terpenoides son los componentes principales de los AE (85 al 95%) (Masyita *et al.*, 2022), y presentan efectos antimicrobianos específicos (Soto *et al.*, 2023). El carvacrol aumenta la permeabilidad de la membrana celular bacteriana, y altera el equilibrio iónico en ambos lados de la membrana (Sharifi *et al.*, 2018). En consecuencia, se desencadena la fuga del ion potasio ( $K^+$ ) y protones (Masyita *et al.*, 2022), la desnaturalización de las proteínas celulares (Weston *et al.*, 2021), fuga de material citoplásmico (Dehghani *et al.*, 2022), alteración de la cadena respiratoria (Sharma *et al.*, 2021), y la consecuente reducción en la síntesis de trifosfato de adenosina (ATP) (Cascaes *et al.*, 2021); y finalmente se desencadena la lisis y muerte bacteriana (Falleh *et al.*, 2020). Esta efectividad se debe a la posición relativa de su grupo -OH (Dorman y Deans, 2000). Esta información fue comprobada por (Ben *et al.*, 2006; del V Turina *et al.*, 2006), a través de un examen microscópico por el que se apreció que el carvacrol penetra fácilmente la membrana citoplasmática, y al cambiar la permeabilidad de la membrana, hace que la membrana citosólica desaparezca.

La evaluación del timol reveló que su aplicación desencadena la eliminación de fosfolípidos y la destrucción de las membranas bacterianas (Su *et al.*, 2009); además es capaz de recuperar a macrófagos infectados por estrés oxidativo (Chauhan & Kang, 2014). A partir de métodos espectroscópicos, acoplamiento y microscopía de fuerza atómica, se analizó la interacción del timol con el ADN genómico (Wang *et al.*, 2017) y se identificó su potencial como antimicrobiano. La alta actividad antimicrobiana del eugenol se puede atribuir a la presencia de grupos -OH fenólicos (Álvarez *et al.*, 2021), que dañan la membrana celular (figura 8) y la producción de biopelículas y provoca muerte celular por formación de lesiones de membrana y fuga del contenido celular (Yadav *et al.*, 2015).

Los terpenoides interactúan con las proteínas de la membrana y los fosfolípidos (Amirzakariya & Shakeri, 2022). Esta interacción provoca la inhibición de la cadena respiratoria celular (D'Addabbo & Avato, 2021), la interrupción de la fosforilación oxidativa (Santos *et al.*, 2019), la interrupción de la síntesis de ácidos nucleicos (Amirzakariya & Shakeri, 2022) y la pérdida de metabolitos (Falleh *et al.*, 2020).



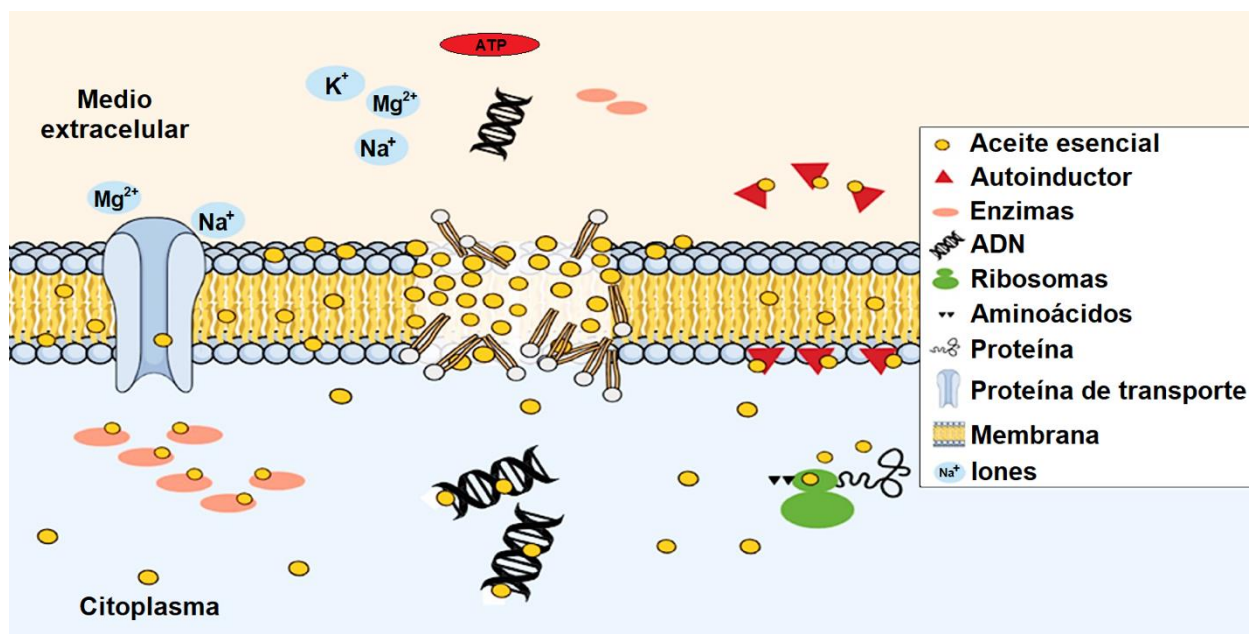


Figura 8. Ruptura de la membrana bacteriana por efecto de los aceites esenciales

Fuente: (da Silva *et al.*, 2022).

Los fenilpropenos forman puentes de H<sup>+</sup> con los lípidos (Saad *et al.*, 2019), y alteran la estructura y la permeabilidad de la membrana celular (Zayed *et al.*, 2022), seguido de la fuga de ATP intracelular (Hou *et al.*, 2022), la salida de macromoléculas como proteínas y ácidos nucleicos (Saad *et al.*, 2019), y la pérdida de enzimas como β-galactosidasa y fosfatasa alcalina (Gurbuz & Irem, 2022). Por lo que se presenta condensación y polarización del contenido citoplasmático (Coelho *et al.*, 2022) y finalmente la muerte bacteriana (Contant *et al.*, 2021). Por lo tanto, el grupo -OH libre (Saad *et al.*, 2019), la naturaleza hidrófoba de la molécula (Kaur & Chakraborty, 2013), y su efecto fluidificante (Hou *et al.*, 2022), son considerados como los responsables de la actividad antimicrobiana de los fenilpropenos (Zayed *et al.*, 2022).

Los flavonoides tienen actividad antifúngica, especialmente contra el patógeno oportunista *C. albicans*. Además, destruyen las membranas celulares bacterianas al alterar la fluidez de las regiones hidrofílicas e hidrofóbicas de la membrana citoplasmática (Ulrih *et al.*, 2010), inhiben la peroxidación lipídica (Shah *et al.*, 2023) y poseen efectos antimutagénicos (de Sousa Silva *et al.*, 2023).

## CONCLUSIONES

Los antimicrobianos sintéticos que se utilizan en la conservación de alimentos, presentan un elevado nivel toxicológico; por lo tanto pueden ser inseguros para el consumo humano. En los últimos años, los aceites esenciales han sido utilizados como sustratos en la perfumería; sin embargo, sus ésteres, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, terpenos, terpenoides, cetonas, ácidos y aldehídos, presentan propiedades antimicrobianas como: reducción del ensamblaje de lípidos en la pared celular bacteriana, fuga de iones,



desnaturalización de proteínas celulares, escape de material citoplásmico, alteración de la cadena respiratoria y finalmente la lisis bacteriana.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), y el proyecto: Aceites esenciales en carne y huevos desafiados con *Salmonella enteritidis*.

### LITERATURA CITADA

ABD E, Alagawany M, Abdel M, Mohammed N, Khafaga A, Bin J, Othman S, Allam A, Elnesr S. 2020. Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) oil as a potential alternative to antibiotics in poultry. *Antibiotics (Basel)*. 9(5):1-12. ISSN: 2079-6382.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics9050210>

ABELAN US, de Oliveira AC, Cacoci ESP, Martins TEA, Giacon VM, Velasco MVR, Lima C. 2022. Potential use of essential oils in cosmetic and dermatological hair products: A review. *J Cosmet Dermatol*. 21(4):1407-1418. ISSN: 1473-2165.

<https://doi.org/10.1111/jocd.14286>

ÁLVAREZ MFJ, Barrajon CE, Herranz LM, Micol V. 2021. Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*. 90(1):153626. ISSN: 1618-095X.

<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>

AMIRZAKARIYA BZ, Shakeri A. 2022. Bioactive terpenoids derived from plant endophytic fungi: An updated review (2011-2020). *Phytochemistry*. 197(1):113-130. ISSN: 1873-3700. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113130>

ANGANE M, Swift S, Huang K, Butts CA, Quek SY. 2022. Essential oils and their major components: an updated review on antimicrobial activities, mechanism of action and their potential application in the food industry. *Foods*. 11(3). ISSN: 2304-8158.

<https://doi.org/10.3390/foods11030464>

AYUB MA, Goksen G, Fatima A, Zubair M, Abid MA, Starowicz M. 2023. Comparison of conventional extraction techniques with superheated steam distillation on chemical characterization and biological activities of *Syzygium aromaticum* L. essential oil. *J Separations*. 10(1):27. ISSN: 2297-8739. <https://doi.org/10.3390/separations10010027>

BAGADE SB, Patil M. 2021. Recent advances in microwave assisted extraction of bioactive compounds from complex herbal samples: a review. *Crit Rev Anal Chem*. 51(2):138-149. ISSN: 1547-6510. <https://doi.org/10.1080/10408347.2019.1686966>

BAGHERI S, Salehi I, Ramezani AF, Kourosh AM, Komaki A. 2022. Neuroprotective effect of geraniol on neurological disorders: a review article. *Mol Biol Rep*. 49(11):10865-10874. ISSN: 1573-4978. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07755-w>

BARADARAN RV, Askari VR. 2022. A mechanistic review on immunomodulatory effects of selective type two cannabinoid receptor  $\beta$ -caryophyllene. *Biofactors*. 48(4):857-882. ISSN: 1872-8081. <https://doi.org/10.1002/biof.1869>



BEN AA, Combes S, Preziosi BL, Gontard N, Chalier P. 2006. Antimicrobial activity of carvacrol related to its chemical structure. *Lett Appl Microbiol.* 43(2):149-154. ISSN: 0266-8254. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.01938.x>

BERTELLI A, Biagi M, Corsini M, Bains G, Cappellucci G, Miraldi E. 2021. Polyphenols: from theory to practice. *Foods.* 10(11):1-10. ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods10112595>

BORA L, Avram S, Pavel IZ, Muntean D, Liga S, Buda V, Gurgus D, Danciu C. 2022. An up-to-date review regarding cutaneous benefits of *Origanum vulgare* L. essential oil. *Antibiotics (Basel).* 11(5):1-20. ISSN: 2079-6382.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics11050549>

BRODZIKOWSKA A, Ciechanowska M, Kopka M, Stachura A, Wlodarski PK. 2022. Role of lipopolysaccharide, derived from various bacterial species, in pulpitis: a systematic review. *Biomolecules.* 12(1):1-30. ISSN: 2218-273X.

<https://doi.org/10.3390/biom12010138>

CANDELA RG, Rosselli S, Bruno M, Fontana G. 2021. A review of the phytochemistry, traditional uses and biological activities of the essential oils of Genus *teucrium*. *Planta Med.* 87(6):432-479. ISSN: 1439-0221. <https://doi.org/10.1055/a-1293-5768>

CASCAES MM, Carneiro ODS, Nascimento LDD, de Moraes AAB, de Oliveira MS, Cruz JN, Guilhon G, Andrade EHA. 2021. Essential oils from annonaceae species from Brazil: a systematic review of their phytochemistry, and biological activities. *Int J Mol Sci.* 22(22):1-23. ISSN: 1422-0067. <https://doi.org/10.3390/ijms222212140>

CHAUHAN AK, Kang SC. 2014. Thymol disrupts the membrane integrity of *Salmonella* ser. *typhimurium* *in vitro* and recovers infected macrophages from oxidative stress in an *ex vivo* model. *Res Microbiol.* 165(7):559-565. ISSN 0923-2508.

<https://doi.org/10.1016/j.resmic.2014.07.001>

CHEBET JJ, Ehiri JE, McClelland DJ, Taren D, Hakim IA. 2021. Effect of D-limonene and its derivatives on breast cancer in human trials: a scoping review and narrative synthesis. *BMC Cancer.* 21(1):902-212. ISSN: 1471-2407. <https://doi.org/10.1186/s12885-021-08639-1>

CHEN K, Zhang M, Bhandari B, Mujumdar AS. 2021. Edible flower essential oils: a review of chemical compositions, bioactivities, safety and applications in food preservation. *Food Res Int.* 139(1):109809. ISSN: 1873-7145. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109809>

CHENG H, An X. 2022. Cold stimuli, hot topic: an updated review on the biological activity of menthol in relation to inflammation. *Front Immunol.* 13(1):10-21. ISSN: 1664-3224. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1023746>

COELHO ML, Islam MT, Laylson da Silva OG, Oliveira BAMV, Víctor de Oliveira SJ, Campinho DRA, Oliveira FMAM, Correia JPMF, Docea AO, Calina D, Sharifi RJ, Amelia de Carvalho MCA. 2022. Cytotoxic and antioxidant properties of natural bioactive monoterpenes nerol, estragole, and 3,7-dimethyl-1-octanol. *Adv Pharmacol Pharm Sci.* 2022(1):800-8009. ISSN: 2633-4690. <https://doi.org/10.1155/2022/8002766>



CONTANT C, Rouabhia M, Loubaki L, Chandad F, Semlali A. 2021. Anethole induces anti-oral cancer activity by triggering apoptosis, autophagy and oxidative stress and by modulation of multiple signaling pathways. *Sci Rep.* 11(1):130-141. ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92456-w>

CUSTODIO JB, Ribeiro MV, Silva FS, Machado M, Sousa MC. 2011. The essential oils component p-cymene induces proton leak through Fo-ATP synthase and uncoupling of mitochondrial respiration. *J Exp Pharmacol.* 3(1):69-76. ISSN: 1179-1454. <https://doi.org/10.2147/JEP.S16387>

DA SILVA BD, do Rosário DKA, Weitz DA, Conte JCA. 2022. Essential oil nanoemulsions: Properties, development, and application in meat and meat products. *Trends Food Sci Technol.* 121(1):1-13. ISSN: 0924-2244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.026>

DAVIDSON PM, Taylor TM, Schmidt SE. 2012. Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. *Food microbiol.* 1(1):765-801. ISBN: 9781119739135. <https://doi.org/10.1128/97811555818463.ch30>

D'ADDABBO T, Avato P. 2021. Chemical composition and nematocidal properties of sixteen essential oils-a review. *Plants (Basel).* 10(7):1-12. ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants10071368>

DE MACEDO LM, Santos EMD, Militao L, Tundisi LL, Ataide JA, Souto EB, Mazzola PG. 2020. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L., syn *Salvia rosmarinus* Spenn.) and its topical applications: a review. *Plants (Basel).* 9(5):1-12. ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants9050651>

DE SOUSA Silva GV, Lopes A, Viali IC, Lima LZM, Bizuti MR, Haag FB, Tavares de Resende ESD. 2023. Therapeutic properties of flavonoids in treatment of cancer through autophagic modulation: a systematic review. *Chin J Integr Med.* 29(3):268-279. ISSN: 1672-0415. <https://doi.org/10.1007/s11655-022-3674-9>

DEHGHANI AZ, Omid M, Azizinezhad R, Etminan A. 2022. Stimulation of secondary metabolites and  $\gamma$ -terpinene synthase by silver nanoparticles in callus cultures of *Carum carvi*. *Appl Biochem Biotechnol.* 194(7):3228-3241. ISSN: 1559-0291. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03879-8>

DEL V TURINA A, Nolan M, Zygadlo J, Perillo M. 2006. Natural terpenes: self-assembly and membrane partitioning. *Biophys.* 122(2):101-113. ISSN: 0301-4622. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2006.02.007>

DI LORENZO F, De Castro C, Silipo A, Molinaro A. 2019. Lipopolysaccharide structures of Gram<sup>-</sup> populations in the gut microbiota and effects on host interactions. *FEMS Microbiol Rev.* 43(3):257-272. ISSN: 1574-6976. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuz002>

DORMAN HJ, Deans SG, 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *J Appl Microbiol.* 88(1):308-316. ISSN: 1364-5072. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x>

DZIARSKI R, Gupta D. 2010. Review: mammalian peptidoglycan recognition proteins (PGRPs) in innate immunity. *Innate Immun.* 16(3):168-174. ISSN: 1753-4267. <https://doi.org/10.1177/1753425910366059>



EZEORBA TPC, Chukwudozie KI, Ezema CA, Anaduaka EG, Nweze EJ, Okeke ES. 2022. Potentials for health and therapeutic benefits of garlic essential oils: recent findings and future prospects. *Pharmacol Res.* 3(2022):1-15. ISSN: 2667-1425.

<https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2022.100075>

FALLEH H, Ben JM, Saada M, Ksouri R. 2020. Essential oils: a promising eco-friendly food preservative. *Food Chem.* 330(1):127268. ISSN: 1873-7072.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>

FARIA JMS, Barbosa P, Vieira P, Vicente CSL, Figueiredo AC, Mota M. 2021. Phytochemicals as biopesticides against the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*: a review on essential oils and their volatiles. *Plants (Basel).* 10(12):1-21. ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants10122614>

FENG Z, Yuan X, Fares S, Loreto F, Li P, Hoshika Y, Paoletti E. 2019. Isoprene is more affected by climate drivers than monoterpenes: A meta-analytic review on plant isoprenoid emissions. *Plant Cell Environ.* 42(6):1939-1949. ISSN: 1365-3040.

<https://doi.org/10.1111/pce.13535>

GALGANO M, Capozza P, Pellegrini F, Cordisco M, Sposato A, Sblano S, Camero M, Lanave G, Fracchiolla G, Corrente M, Cirone F, Trotta A, Tempesta M, Buonavoglia D, Pratelli A. 2022. Antimicrobial activity of essential oils evaluated *in vitro* against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Antibiotics (Basel).* 11(7):1-10. ISSN: 2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11070979>

GAVAHIAN M, Chu YH, Lorenzo JM, Mousavi KA, Barba FJ. 2020. Essential oils as natural preservatives for bakery products: Understanding the mechanisms of action, recent findings, and applications. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 60(2):310-321. ISSN: 1549-7852. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1525601>

GHASEMY PF, Kavousi F, Kazemi AM. 2022. Comparison for the production of essential oil by conventional, novel and biotechnology methods. *JEOR.* 34(5):455-478. ISSN: 1041-2905. <https://doi.org/10.1080/10412905.2022.2120557>

GIRARDIN SE, Philpott DJ. 2004. Mini-review: the role of peptidoglycan recognition in innate immunity. *Eur J Immunol.* 34(7):1777-1782. ISSN: 0014-2980.

<https://doi.org/10.1002/eji.200425095>

GONZÁLEZ FC, Basauri A, Fallanza M, Bringas E, Oostenbrink C, Ortiz I. 2021. Fighting against bacterial lipopolysaccharide-caused infections through molecular dynamics simulations: a review. *J Chem Inf Model.* 61(10):4839-4851. ISSN: 1549-960X.

<https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00613>

GURBUZ M, Irem OKB. 2022. The anti-campylobacter activity of eugenol and its potential for poultry meat safety: a review. *Food Chem.* 394(1):133-147. ISSN: 1873-7072.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133519>

HARO GJN, Castillo HGA, Martínez VM, Espinosa AH. 2021. Clove essential oil (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): extraction, chemical composition, food applications, and essential bioactivity for human health. *Molecules.* 26(21):1-25. ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules26216387>



HOU T, Sana SS, Li H, Xing Y, Nanda A, Netala VR, Zhang Z. 2022. Essential oils and its antibacterial, antifungal and anti-oxidant activity applications: a review. *Food Biosci.* 47(2022):101716. ISSN: 2212-4292. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101716>

IMRAN M, Aslam M, Alsagaby SA, Saeed F, Ahmad I, Afzaal M, Arshad MU, Abdelgawad MA, El-Ghorab AH, Khames A, Shariati MA, Ahmad A, Hussain M, Imran A, Islam S. 2022. Therapeutic application of carvacrol: a comprehensive review. *Food Sci Nutr.* 10(11):3544-3561. ISSN: 2048-7177. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2994>

JAVAEED A, Qamar S, Ali S, Mustafa MAT, Nusrat A, Ghauri SK. 2021. Histological stains in the past, present, and future. *Cureus.* 13(10):e18486. ISSN: 2168-8184.

<https://doi.org/10.7759/cureus.18486>

KARIMKHANI MM, Nasrollahzadeh M, Maham M, Jamshidi A, Kharazmi MS, Dehnad D, Jafari SM. 2022. Extraction and purification of  $\alpha$ -pinene; a comprehensive review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1(1):1-26. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2140331>

KAUR B, Chakraborty D. 2013. Biotechnological and molecular approaches for vanillin production: a review. *Appl Biochem Biotechnol.* 169(4):1353-1372. ISSN: 1559-0291.

<https://doi.org/10.1007/s12010-012-0066-1>

KHARE S, Prasad RD, Kumar A. 2022. Structure activity relationship of flavonoids: recent updates. In *The chemistry inside spices & herbs: research and development*. Vol. 1. Pp. 237-259. <https://doi.org/10.2174/9789815039566122010011>

LANG Y, Gao N, Zang Z, Meng X, Lin Y, Yang S, Li B. 2024. Classification and antioxidant assays of polyphenols: a review. *J Future Foods.* 4(3):193-204. ISSN: 2666-8335.

<https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.07.002>

LEE HW, Park JH, Lee HS, Choi W, Seo SH, Anggraini ID, Choi ES, Lee HW. 2019. Production of bio-based isoprene by the mevalonate pathway cassette in *Ralstonia eutropha*. *J Microbiol Biotechnol.* 29(10):1656-1664. ISSN: 1738-8872.

<https://doi.org/10.4014/jmb.1909.09002>

LI SY, Duan CQ. 2019. Astringency, bitterness and color changes in dry red wines before and during oak barrel aging: An updated phenolic perspective review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 59(12):1840-1867. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1431762>

LI S, Yuan X, Feng Z, Du Y, Agathokleous E, Paoletti E. 2022. Whole-plant compensatory responses of isoprene emission from hybrid poplar seedlings exposed to elevated ozone. *Sci Total Environ.* 806(Pt 4):150949. ISSN: 1879-1026.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150949>

LIBRO R, Giacoppo S, Soundara RT, Bramanti P, Mazzon E. 2016. Natural phytochemicals in the treatment and prevention of dementia: an overview. *Molecules.* 21(4):518-521. ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules21040518>



LIU CL, Dong HG, Xue K, Sun L, Yang Y, Liu X, Li Y, Bai Z, Tan TW. 2022. Metabolic engineering mevalonate pathway mediated by RNA scaffolds for mevalonate and isoprene production in *Escherichia coli*. *ACS Synth Biol*. 11(10):3305-3317. ISSN: 2161-5063. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.2c00226>

LÓPEZ FO, Domínguez R, Pateiro M, Munekata PES, Rocchetti G, Lorenzo JM. 2020. Determination of polyphenols using liquid chromatography-tandem mass spectrometry technique (LC-MS/MS): a review. *Antioxidants*. 9(6):10-18. ISSN: 2076-3921.

<https://doi.org/10.3390/antiox9060479>

MACHNIK P, Biazar N, Schuster S. 2023. Recordings in an integrating central neuron reveal the mode of action of isoeugenol. *Commun Biol*. 6(1):309-3012. ISSN: 2399-3642.

<https://doi.org/10.1038/s42003-023-04695-4>

MAHMUD J, Khan RA. 2018. Characterization of natural antimicrobials in food system. *Adv Microbiol*. 8(11): 894-916. <https://doi.org/10.4236/aim.2018.811060>

MASYITA A, Mustika S, R., Dwi AA, Yasir B, Rahma RN, Emran TB, Nainu F, Simal GJ. 2022. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chem X*. 13(1):100217. ISSN: 2590-1575. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>

MAZGAEEN L, Gurung P. 2020. Recent advances in lipopolysaccharide recognition systems. *Int J Mol Sci*. 21(2):1-18. ISSN: 1422-0067.

<https://doi.org/10.3390/ijms21020379>

MIERES CD, Ahmar S, Shabbir R, Mora PF. 2021. Antiviral activities of eucalyptus essential oils: their effectiveness as therapeutic targets against human viruses. *Pharmaceuticals (Basel)*. 14(12):1-18. ISSN: 1424-8247.

<https://doi.org/10.3390/ph14121210>

NAJMANOVA I, Voprsalova M, Saso L, Mladenka P. 2020. The pharmacokinetics of flavanones. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 60(18):3155-3171. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1679085>

PERUMAL AB, Huang L, Nambiar RB, He Y, Li X, Sellamuthu PS. 2022. Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chem*. 375(1):131810. ISSN: 1873-7072.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131810>

POSGAY M, Greff B, Kapcsandi V, Lakatos E. 2022. Effect of *Thymus vulgaris* L. essential oil and thymol on the microbiological properties of meat and meat products: a review. *Heliyon*. 8(10):e10812. ISSN: 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10812>

RAMATLA T, Tawana M, Lekota KE, Thekisoe O. 2023. Antimicrobial resistance genes of *Escherichia coli*, a bacterium of "One Health" importance in South Africa: Systematic review and meta-analysis. *AIMS Microbiol*. 9(1):75-89. ISSN: 2471-1888.

<https://doi.org/10.3934/microbiol.2023005>



- RAMDANI D, Yuniarti E, Jayanegara A, Chaudhry AS. 2023. Roles of essential oils, polyphenols, and saponins of medicinal plants as natural additives and anthelmintics in ruminant diets: a systematic review. *Animals (Basel)*. 13(4):1-15. ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani13040767>
- ROHDE M. 2019. The Gram<sup>+</sup> bacterial cell wall. *Microbiol Spectr*. 7(3):1-10. ISSN: 2165-0497. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.GPP3-0044-2018>
- SAAD MMG, Gouda NAA, Abdelgaleil SAM. 2019. Bioherbicidal activity of terpenes and phenylpropenes against *Echinochloa crus-galli*. *J Environ Sci Health B*. 54(12):954-963. ISSN: 1532-4109. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1653121>
- SANTOS MIS, Marqués C, Mota J, Pedroso L, Lima A. 2022. Applications of essential oils as antibacterial agents in minimally processed fruits and vegetables-a review. *Microorganisms*. 10(4):1-24. ISSN: 2076-2607. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040760>
- SANTOS PL, Matos J, Picot L, Almeida J, Quintans JSS, Quintans JLJ. 2019. Citronellol, a monoterpene alcohol with promising pharmacological activities: a systematic review. *Food Chem Toxicol*. 123(1):459-469. ISSN: 1873-6351. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.030>
- SHARIFI RM, Varoni EM, Iriti M, Martorell M, Setzer WN, del Mar Contreras M. 2018. Carvacrol and human health: a comprehensive review. *Phytotherapy Research*. 32(9):1675-1687. ISSN: 1099-1573. <https://doi.org/10.1002/ptr.6103>
- SEKARAN S, Roy A, Thangavelu L. 2022. Re-appraising the role of flavonols, flavones and flavonones on osteoblasts and osteoclasts: a review on its molecular mode of action. *Chem Biol Interact*. 355(1):109831. ISSN: 1872-7786. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.109831>
- SHAH S, Narang R, Singh VJ, Govindaiah P, Nayak SK. 2023. A review on anticancer profile of flavonoids: sources, chemistry, mechanisms, structure-activity relationship and anticancer activity. *Curr Drug Res Rev*. 15(2):122-148. ISSN: 2589-9783. <https://doi.org/10.2174/2589977515666230120144852>
- SHAHDADI M, Safarirad M, Berizi E, Mazloomi SM, Hosseinzadeh S, Zare M, Derakhshan Z, Rajabi S. 2023. A systematic review and modeling of the effect of bacteriophages on Salmonella spp. Reduction in chicken meat. *Heliyon*. 9(4):e14870. ISSN: 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14870>
- SHANMUGASUNDARASAMY T, Karaiyagowder GD, Kandaswamy K. 2022. A review on pilus assembly mechanisms in Gram<sup>+</sup> and Gram<sup>-</sup> bacteria. *Cell Surf*. 8(1):100-110. ISSN: 2468-2330. <https://doi.org/10.1016/j.tcsu.2022.100077>
- SHARMA S, Barkauskaite S, Jaiswal AK, Jaiswal S. 2021. Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chem*. 343(1):128403. ISSN: 1873-7072. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>
- SINGH B, Singh JP, Kaur A, Yadav MP. 2021. Insights into the chemical composition and bioactivities of citrus peel essential oils. *Food Res Int*. 143(1):110231. ISSN: 1873-7145. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110231>





SOTO ER, Rus F, Mirza Z, Ostroff GR. 2023. Yeast particles for encapsulation of terpenes and essential oils. *Molecules*. 28(5):1-10. ISSN: 1420-3049.

<https://doi.org/10.3390/molecules28052273>

SOUSA LGV, Castro J, Cavaleiro C, Salgueiro L, Tomas M, Palmeira OR, Martínez OJ, Cerca N. 2022. Synergistic effects of carvacrol,  $\alpha$ -terpinene,  $\gamma$ -terpinene, rho-cymene and linalool against *Gardnerella* species. *Sci Rep*. 12(1):4417. ISSN: 2045-2322.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-08217-w>

SU HL, Chou CC, Hung DJ, Lin SH, Pao IC, Lin JH, Lin JJ. 2009. The disruption of bacterial membrane integrity through ROS generation induced by nanohybrids of silver and clay. *Biomaterials*. 30(30):5979-5987. ISSN: 0142-9612.

<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.07.030>

TAYLOR TC, Smith MN, Slot M, Feeley KJ. 2019. The capacity to emit isoprene differentiates the photosynthetic temperature responses of tropical plant species. *Plant Cell Environ*. 42(8):2448-2457. ISSN: 1365-3040. <https://doi.org/10.1111/pce.13564>

TEIGISEROVA DA, Tiruta BL, Ahmadi A, Hamelin L, Thomsen M. 2021. A step closer to circular bioeconomy for citrus peel waste: A review of yields and technologies for sustainable management of essential oils. *J Environ Manage*. 280(1):111832. ISSN: 1095-8630. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111832>

TENG H, Zheng Y, Cao H, Huang Q, Xiao J, Chen L. 2023. Enhancement of bioavailability and bioactivity of diet-derived flavonoids by application of nanotechnology: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 63(3):378-393. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1947772>

ULRIH NP, Ota A, Šentjerc M, Kure S, Abram V. 2010. Flavonoids and cell membrane fluidity. *Food Chem*. 121(1): 78-84. ISSN: 0308-8146.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.006>

VALDIVIESO UM, Gómez LC, Plaza DJ, Gil A. 2019. Antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties of essential oils: a systematic review. *Nutrients*. 11(11):1-29. ISSN: 2072-6643. <https://doi.org/10.3390/nu11112786>

VIANNA TC, Marinho CO, Marangoni JL, Ibrahim SA, Vieira RP. 2021. Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: A review. *Int J Biol Macromol*. 182(1):1803-1819. ISSN: 1879-0003. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.170>

VILLAMIZAR VM, Aular Y. 2022. Review of the extraction methods of the essential oil of lippia alba. *Rev Ingeniería UC*. 9(1):3-14. ISSN: 2610-8240.

<https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i1.90>

WANG LH, Zhang ZH, Zeng XA, Gong DM, Wang MS. 2017. Combination of microbiological, spectroscopic and molecular docking techniques to study the antibacterial mechanism of thymol against *Staphylococcus aureus*: membrane damage and genomic DNA binding. *Anal Bioanal Chem*. 409(6):1615-1625. ISSN: 1618-2642.

<https://doi.org/10.1007/s00216-016-0102-z>



WERADUWAGE SM, Rasulov B, Sahu A, Niinemets U, Sharkey TD. 2022. Isoprene measurements to assess plant hydrocarbon emissions and the methylerythritol pathway. *Methods Enzymol.* 676(1):211-237. ISSN: 1557-7988.

<https://doi.org/10.1016/bs.mie.2022.07.020>

WESTON GK, Clunas H, Jiménez NC. 2021. A review of the potential use of  $\beta$ -pinene and linalool as terpene-based medicines for brain health: discovering novel therapeutics in the flavours and fragrances of *Cannabis*. *Front Psychiatry.* 12(1):583211. ISSN: 1664-0640. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.583211>

WHITFIELD C, Williams DM, Kelly SD. 2020. Lipopolysaccharide O-antigens-bacterial glycans made to measure. *J Biol Chem.* 295(31):10593-10609. ISSN: 1083-351X. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.009402>

YADAV MK, Chae SW, Im GJ, Chung JW, Song JJ. 2015. Eugenol: a phyto-compound effective against methicillin-resistant and methicillin-sensitive *Staphylococcus aureus* clinical strain biofilms. *PLoS One.* 10(3): e0119564. ISSN: 1544-9173.

<https://doi.org/10.1007/s00216-016-0102-z>

ZAYED A, Sobeh M, Farag MA. 2022. Dissecting dietary and semisynthetic volatile phenylpropenes: a compile of their distribution, food properties, health effects, metabolism and toxicities. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1(1):1-20. ISSN: 1549-7852.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2087175>

ZHAN X, Stamova B, Sharp FR. 2018. Lipopolysaccharide associates with amyloid plaques, neurons and oligodendrocytes in alzheimer's disease brain: a review. *Front Aging Neurosci.* 10(1):42-50. ISSN: 1663-4365. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00042>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>