



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE ACEITE DE PIMIENTA GORDA (PIMIENTA DIOICA L. MERRIL) PARA EL CONTROL DE BACTERIAS PATÓGENAS: EVALUACIÓN IN VITRO E IN SILICO

**ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF PEPPER OIL (PIMIENTA
DIOICA L. MERRIL) FOR THE CONTROL OF PATHOGENIC
BACTERIA: IN VITRO AND IN SILICO EVALUATION**

Diana Gómez Flores

Universidad Tecnológica de Tecamachalco

Alfredo Salvador Castro Díaz

Universidad Tecnológica de Tecamachalco

Laura Maryoris Aguilar Veloz

Universidad Tecnológica de Tecamachalco

José Arturo Olguín Rojas

Universidad Tecnológica de Tecamachalco

Manuel González Pérez

Universidad Tecnológica de Tecamachalco

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17499

Actividad antimicrobiana de aceite de pimienta gorda (*Pimenta dioica* L. Merrill) para el control de bacterias patógenas: evaluación *in vitro* e *in silico*

Diana Gómez Flores¹dianagomezfloresutt@gmail.com<https://orcid.org/0000-0001-5840-8998>Universidad Tecnológica de Tecamachalco
México**Alfredo Salvador Castro Díaz**castrodiaz2450@gmail.com<https://orcid.org/0000-0001-7814-0116>Universidad Tecnológica de Tecamachalco
México**Laura Maryoris Aguilar Veloz**lauraguilarveloz@gmail.com<https://orcid.org/0000-0002-2059-8586>Universidad Tecnológica de Tecamachalco
México**José Arturo Olguín Rojas**j.a.olguin.rojas@personal.uttecama.edu.mx<https://orcid.org/0000-0001-5280-1043>Universidad Tecnológica de Tecamachalco
México**Manuel González Pérez**m.gonzalez.perez@personal.uttecama.edu.mx<https://orcid.org/0000-0001-8700-2866>Universidad Tecnológica de Tecamachalco
México

RESUMEN

La pimienta gorda (*Pimenta dioica* L. Merrill) es una fuente de aceite esencial de pimienta (AEP), con Eugenol como su componente dominante. Este estudio fue diseñado para evaluar la actividad antibacteriana del AEP contra cepas bacterianas patógenas de *Escherichia coli* y *Salmonella* sp. El AEP se obtuvo por hidrodestilación de pimienta gorda. La actividad antimicrobiana se determinó utilizando el método de difusión de sonido con concentraciones de AEP de 25, 50, 75 y 100 %, con eugenol comercial (96 %) como control. Las bacterias se sembraron en placas y se incubaron a 35 ± 2 °C durante 48 h. Se realizó un estudio de simulación *in silico* de eugenol y fosfatidilcolina, un componente de la membrana celular de bacterias Gram-negativas, utilizando cálculos cuánticos. La actividad más alta se observó con 75% de AEP para *E. coli* ($8,3 \pm 0,2$ mm) y 100% para *Salmonella* sp. ($15,1 \pm 0,2$ mm). Se demostró la interacción molecular entre el eugenol y la fosfatidilcolina, lo que explica el efecto antimicrobiano del aceite de pimienta gorda. Estos hallazgos sugieren que el AEP podría ser una herramienta potencial para controlar las bacterias patógenas en la industria alimentaria, y se necesitan más investigaciones para evaluar su impacto sensorial en los alimentos y sus aplicaciones prácticas en la seguridad alimentaria.

Palabras clave: eugenol, *e. coli*, *salmonella* sp, coeficiente de transferencia de electrones

¹ Autor principal

Correspondencia: dianagomezfloresutt@gmail.com

Antimicrobial activity of pepper oil (*Pimienta dioica* L. Merrill) for the control of pathogenic bacteria: *in vitro* and *in silico* evaluation

ABSTRACT

Allspice (*Pimienta dioica* L. Merrill) is a source of essential oil (EO), with eugenol as its dominant component. This study was designed to assess the antibacterial activity of EO against pathogenic bacterial strains of *Escherichia coli* and *Salmonella* sp. The EO was obtained by hydrodistillation of allspice. The antimicrobial activity was determined using the sound diffusion method with 25, 50, 75, and 100 % EO concentrations, with commercial eugenol (96 %) as a control. The bacteria were streaked on plates and incubated at 35 ± 2 °C for 48 h. An *in-silico* simulation study of eugenol and phosphatidylcholine, a component of the cell membrane of Gram-negative bacteria, was performed using quantum calculations. The highest activity was observed with 75% of AEP for *E. coli* (8.3 ± 0.2 mm) and 100% for *Salmonella* sp. (15.1 ± 0.2 mm). The molecular interaction between eugenol and phosphatidylcholine was demonstrated, explaining the antimicrobial effect of allspice oil. These findings suggest that EO could be a potential tool for controlling pathogenic bacteria in the food industry, with further research needed to evaluate its sensory impact on foods and its practical applications in food safety.

Keywords: allspice, pepper essential oil, eugenol

Artículo recibido 12 febrero 2025
Aceptado para publicación: 15 marzo 2025



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de antimicrobianos naturales, como aceites y extractos ricos en eugenol, puede constituir una alternativa para favorecer la conservación de los alimentos. Actualmente, la resistencia a los antimicrobianos representa un desafío crítico para la salud global. Este término engloba la capacidad de diversos microorganismos (bacterias, virus, parásitos y hongos) para resistir la acción de los medicamentos diseñados para controlarlos, incluidos antibacterianos, antivirales, antiparasitarios y antifúngicos. Estos microorganismos resistentes a la mayoría de los antimicrobianos utilizados se conocen como microorganismos ultra-resistentes (Organización Mundial de la Salud, 2017). En este sentido, se da prioridad al estudio de compuestos que inhiben las bacterias ultra-resistentes, especialmente peligrosas en instalaciones de la cadena alimentaria, hospitales, hogares de ancianos, etc. Estas bacterias incluyen algunas enterobacterias, como *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Proteus*, así como *Acinetobacter* y *Pseudomonas*. Estas son bacterias que pueden causar infecciones graves y a menudo fatales, debido a que han adquirido resistencia a una gran cantidad de antibióticos, como carbapenémicos y cefalosporinas de tercera y cuarta generación (OMS, 2017; Serra, 2017).

Considerando esta realidad, se han elaborado algunas directrices para mitigar los efectos de las enfermedades ultra-resistentes (OMS, 2017). Entre ellas, se incluye el desarrollo de inversiones sostenibles en productos diagnósticos, vacunas protectoras y nuevos antimicrobianos (OMS, 2017). Países como México tienen la ventaja de contar con una gran biodiversidad para llevar a cabo trabajos de investigación enfocados en desarrollar compuestos antimicrobianos naturales.

En este sentido, *P. dioica*, conocida comúnmente como pimienta gorda, es una especie con reconocidas propiedades antimicrobianas. Pertenece a la familia Myrtaceae, originaria de Mesoamérica y el Caribe. En México, se encuentra principalmente en las regiones oriental y sureste, particularmente en áreas como Veracruz y la Sierra Norte de Puebla, donde crece de forma silvestre en bosques tropicales. Aunque tradicionalmente se utiliza como especia culinaria, en las comunidades indígenas totonacas de la Sierra Norte de Puebla, *P. dioica* también es valorada por sus propiedades medicinales, destacando su importancia cultural y económica en estas regiones (Barco, 1998; Macía, 1998).

El fruto seco de *P. dioica* se utiliza principalmente como especia, pero su aceite esencial ha sido reconocido por sus propiedades antimicrobianas, particularmente contra una variedad de patógenos



bacterianos y fúngicos. El AEP contiene compuestos bioactivos como el eugenol, (38.2 a 46.5%) que ha demostrado exhibir una actividad antimicrobiana significativa (Du et al., 2009; Lorenzo-Leal et al., 2019). En estudios previos se ha demostrado la efectividad del AEP contra patógenos comunes transmitidos por alimentos, como *Listeria monocytogenes* y *S. Typhimurium*. Esto sugiere su potencial como conservante natural de alimentos, capaz de prevenir el crecimiento microbiano sin contacto directo (Milenković et al., 2020).

El eugenol, como uno de los principales principios activos del AEP, actúa alterando las membranas celulares microbianas e inhibiendo funciones celulares esenciales (Andrade et al., 2023; Kim et al., 2016). Esta capacidad para interferir procesos celulares fundamentales subraya el potencial del AEP no solo como un agente de conservación de alimentos, sino también como una prometedora alternativa frente al creciente problema de la resistencia a los antimicrobianos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es evaluar la actividad antibacteriana del aceite esencial de *P. dioica*, enfocándose en su efectividad contra cepas patógenas de *E. coli* y *Salmonella sp.*

METODOLOGÍA

Materiales y reactivos

La pimienta utilizada fue cultivada en el municipio de Cuetzalan, Puebla, donada por la Sociedad “Flor de Cuatro Aromas”. Para el proceso de extracción se utilizó agua destilada y ciclohexano (Golden bell, México). Los medios de cultivo, caldo y agar nutritivo fueron adquiridos en Bioxon, México. Un estándar de eugenol comercial (96 %) marca Mirafill del laboratorio Faprodmir fue utilizado como referencia.

Obtención del aceite esencial de pimienta

Los extractos de pimienta se obtuvieron por hidrodestilación, de acuerdo con lo reportado por Osorio-Ruiz et al., 2022. 50 g de pimienta molida se colocaron en un sistema de destilación, se utilizó agua a temperatura de ebullición (~97°C) durante 90 minutos. Se realizó una purificación parcial del hidrolato con ciclohexano en una proporción 1:5 soluto: solvente y carbonato de sodio anhidro.

Evaluación in vitro de actividad antimicrobiana de aceite de pimienta gorda

Inicialmente las bacterias de *E.coli* y *Salmonella sp.* se reactivaron colocando 1 µL de la cepa aislada en un tubo con 10 mL de caldo nutritivo y caldo lactosado, respectivamente. Los microorganismos



fueron colocados en una incubadora a 35 ± 2 °C por un periodo de 48 h. Para la determinación del efecto antimicrobiano de AEP se utilizó el método de difusión en pozos. Se evaluaron distintas concentraciones de AEP a 25, 50, 75 y 100 %. Una unidad estándar de bacterias activadas (10 µL) fueron inoculadas en placa mediante la técnica de siembra por estría. Las cajas fueron incubadas a 35 ± 2 °C una vez inoculadas. El periodo de incubación de las cajas fue de 48 h. En calidad de testigo se usó eugenol comercial (96 %). El diámetro del halo de inhibición del crecimiento bacteriano fue cuantificado mediante el software ImageJ.

Análisis estadístico

Los resultados experimentales se expresaron como media $\pm$ desviación estándar. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el software estadístico Minitab 16 (State College, PA, EE. UU.). Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas cuando el valor de probabilidad fue menor al 5 % ($p < 0.05$).

Evaluación in silico de la interacción de eugenol con fosfatidilcolina

Para el estudio se eligió a la molécula de fosfatidilcolina, teniendo en cuenta su condición representativa de los fosfolípidos presentes en las membranas de bacterias Gram negativas (Wang et al., 2021). La interacción molecular se evaluó mediante la metodología de Ahuactzin-Pérez (2018), mediante la determinación del coeficiente de transferencia de electrones (CTE). Según esta teoría, el CTE se calcula en radios de Bohr (a°), utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3. BP es la diferencia absoluta entre los valores de HOMO y LUMO o la energía requerida por un electrón o nube electrónica para pasar de una molécula a otra, mientras que PE se define como la diferencia absoluta de potencial electrostático de cada polo, en relación con la interacción entre las moléculas.

Las propiedades moleculares y las características cuánticas se determinaron utilizando el simulador Hyperchem (Hypercube, Inc., FL, EE. UU.). Para el cálculo de las propiedades energéticas de las moléculas (HOMO, LUMO, densidad electrónica) se utilizó el método semiempírico PM3 (SE-PM3). La optimización geométrica de las moléculas fue realizada por el método de Polak Ribiere.

$$BP = |HOMO - LUMO| \quad (\text{Ec. 1})$$

$$PE = |(\delta-) - (\delta+)|$$



(Ec.2)

$$CTE = BP/PE \quad (Ec. 3)$$

3)

Donde *BP*: banda prohibida, *PE*: potencial electrostático, *CTE*: coeficiente de transferencia de electrones, y δ : densidad electrónica (Ahuactzin-Pérez, 2018).

De igual forma, se evaluó la interacción del eugenol con los principales AAs, de acuerdo a lo reportado por González-Pérez et al. (2024).

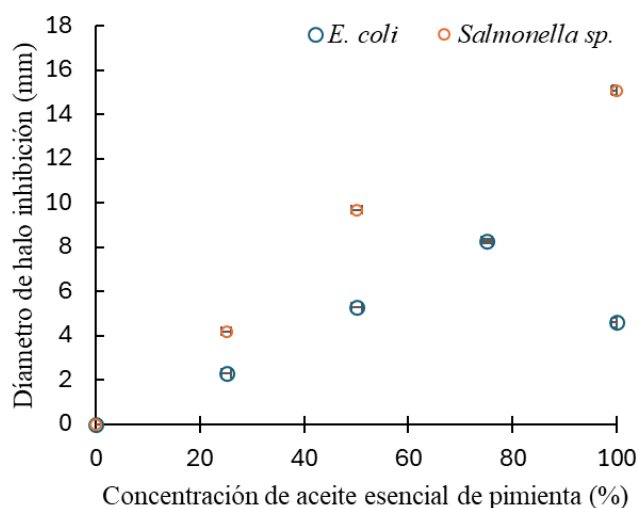
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación *in vitro* de actividad antimicrobiana de aceite de pimienta gorda

Los aceites esenciales representan una alternativa natural prometedora ante el uso de los antimicrobianos sintéticos, con un potencial significativo tanto en la industria médica como en la alimentaria. Sin embargo, es necesario incentivar la investigación para superar las limitaciones actuales de desarrollo de estos compuestos y aprovechar completamente sus capacidades antimicrobianas (Wińska et al., 2019).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de inhibición de las cepas bacterianas evaluadas, frente a diferentes concentraciones de AEP (Figura 1).

Figura 1. Actividad antimicrobiana de aceite de pimienta gorda (*P. dioica*) sobre cepas de *E. coli* y *Salmonella* sp.



En la figura se presenta el efecto de la concentración del AEP sobre la inhibición del crecimiento de las cepas. A medida que se incrementó la concentración del aceite, se evidenció el efecto inhibitorio del AEP sobre las bacterias *E. coli* y *Salmonella* sp., aunque ambos microorganismos mostraron diferencias

en los perfiles de sensibilidad al AEP. La cepa de *E.coli* mostró la máxima inhibición a la concentración de 75 % de AEP, al exhibir un halo de inhibición de 8.3 ± 0.1 mm. Sin embargo, el incremento de la concentración del aceite hasta 100 % no causó un mayor efecto de inhibición de esta cepa. Este efecto podría darse por un posible fenómeno de hormesis, dado por un cambio en la respuesta del microorganismo a valores mayores de concentración del APE, lo que debía ser estudiado más en detalle en un intervalo más amplio de concentraciones. En el caso de la cepa de *Salmonella* sp., se mostraron valores de inhibición de crecimiento de forma creciente, significativamente superiores ($p < 0.05$) a los obtenidos con *E. coli*, para todos los valores de concentración evaluados del aceite, exhibiendo así una mayor sensibilidad ante el AEP. Varios autores reconocen que el efecto antimicrobiano del AEP es causado principalmente por el eugenol, el cual presenta actividad bactericida principalmente mediante la alteración de la membrana celular bacteriana. Su interacción con las moléculas de naturaleza lipídica provoca un aumento en la permeabilidad, fuga de contenido intracelular y consecuentemente lisis celular (Jeyakumar & Lawrence, 2020; Aguilar-Veloz et al., 2020).

El incremento de la inhibición del crecimiento bacteriano con el aumento de la concentración del AEP es una tendencia usual para este tipo de compuestos (Lorenzo-Leal, Palou y López-Malo, 2019; Andrade et al., 2023). Sin embargo, por diversos factores microbiológicos y bioquímicos, esta inhibición no sigue un comportamiento lineal. De acuerdo con Bai et al. (2022) el eugenol puede inhibir enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa, en *Shigella flexneri*, promoviendo la acumulación de especies reactivas de oxígeno. Sin embargo, este proceso puede no ser proporcional al efecto de la concentración del compuesto, lo que contribuye a la no linealidad de la actividad antimicrobiana. De igual manera, estos autores reportaron, que a concentraciones elevadas, los sitios de la membrana que interactúan con el eugenol, pueden saturarse, limitando el efecto inhibitorio adicional (Bai et al., 2022). No obstante, algunas bacterias pueden activar mecanismos de defensa, como bombas de reflujo o sistemas de reparación de la membrana, reduciendo la efectividad del eugenol (Ashrafudoulla et al., 2020). Esta capacidad de adaptación puede contribuir a la disminución de la pendiente en la relación concentración-inhibición observada para la bacteria de *E. coli* en la Figura 1.

La diferencia en la sensibilidad entre *E. coli* y *Salmonella* sp. al eugenol, sugiere variaciones en sus mecanismos de resistencia. La sensibilidad de las cepas bacterianas a los antimicrobianos es un



fenómeno complejo, que depende de la diversidad genómica, además de las condiciones ambientales. Las mutaciones adaptativas pueden surgir en distintos genes, modificando la sensibilidad de manera específica en cada cepa. Esto sugiere que el fondo genético de una cepa determina, en gran medida, la manifestación de los fenotipos de resistencia (Van Opijnen et al., 2016). Este fenómeno varía entre cepas a causa de las diferencias en la composición de las membranas y los sistemas de flujo (Aguilar-Veloz et al., 2020).

A continuación, en la tabla 1 se presentan los valores de inhibición de ambas cepas, bajo el efecto del AEP al 100 % y el eugenol comercial (96 %).

Tabla 1. Comparación de la actividad antimicrobiana del aceite de pimienta gorda (*P. dioica*) (100 %) con respecto al eugenol comercial (96 %).

Sustancia	Inhibición de <i>E. coli</i> (mm)	Inhibición de <i>Salmonella</i> sp. (mm)
Eugenol comercial (96 %)	11.0 ± 0.0	10.2 ± 0.0
APE (100 %)	4.6 ± 0.2*	15.1 ± 0.0*

media ± desviación estándar, *valores estadísticamente diferentes ($p < 0.05$, $n=2$).

De acuerdo con la tabla 1, para la bacteria *E.coli* se mostró un efecto significativamente mayor ($p < 0.05$) con el eugenol de referencia (96 %) con un halo de inhibición de 11.0 ± 0.0 mm superior al obtenido con el APE (100 %) (4.6 ± 0.2), que puede estar relacionado con el fenómeno de hormesis sugerido anteriormente. Por su parte, para *Salmonella* sp. se observó un valor significativamente superior ($p < 0.05$) de actividad antimicrobiana cuando la cepa fue expuesta al APE (100 %), en comparación al obtenido con el eugenol comercial. Este comportamiento se puede relacionar con la presencia en el aceite, de otros componentes con actividad antimicrobiana. De hecho, se ha demostrado que, entre los componentes activos principales presentes en el AEP, además del eugenol se hallan otras sustancias. Recientemente, Andrade et al. (2023) confirmaron que AEP de pimienta gorda presentó eugenol (55.52 %), mircenol (22.53 %) y chavicol (5.12 %) como compuestos mayoritarios, y que fue eficaz contra bacterias Gram-negativas (*P. aeruginosa*) y Gram-positivas (*Staphylococcus aureus*). De igual manera, estos autores detectaron una actividad antimicrobiana significativamente mayor ($p < 0.05$)

del AEP, a la del eugenol y una mayor capacidad antioxidante, que el eugenol (90 % versus 65 %). Estos resultados demostraron que el efecto del AEP se debe a la acción conjunta de sus componentes. Anteriormente, Milenković et al. (2020) habían probado la presencia de 20 componentes en el AEP, fundamentalmente monoterpenos oxigenados. El AEP ha sido implementado en la industria de los alimentos, tanto por su capacidad antioxidante (Murali et al., 2021; Milenković et al., 2020) y sus características antimicrobianas (Chaudhari et al., 2020).

Evaluación *in silico* de la interacción de eugenol con fosfatidilcolina

Los fosfolípidos son componentes fundamentales tanto de la membrana interna como de la lámina interna de la membrana externa en bacterias Gram-negativas. Además, desempeñan un papel crucial en la formación de una barrera de doble membrana, lo que impide la entrada de la mayoría de los antibióticos.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de la simulación *in silico* de las moléculas de eugenol y fosfolípido. Una vez determinados los parámetros energéticos de las moléculas, se utilizaron las ecuaciones 1-3 para determinar el CTE.

Tabla 2. Caracterización energética de las moléculas de eugenol y fosfolípido.

Compuesto	HOMO	LUMO	δ^-	δ^+
Fosfolípido	-9.165197	0.1490826	-0.031	0.134
Eugenol	-8.857753	0.2994357	-0.094	0.184

HOMO: orbital molecular más alto ocupado. LUMO: orbital molecular más bajo desocupado. δ : densidad electrónica.

En la Tabla 3 se presentan los CTE de la interacción entre ambas moléculas, de acuerdo con los resultados, cuando el eugenol actúa como un reductor de la molécula de fosfolípido, se obtiene un CTE de 39.504, el cual es menor al obtenido cuando el eugenol actúa como oxidante. Por lo anterior, hay una mayor probabilidad que el eugenol reduzca la molécula de fosfolípido presente en la membrana de las bacterias, debido a que se requiere menos energía para que este proceso suceda.

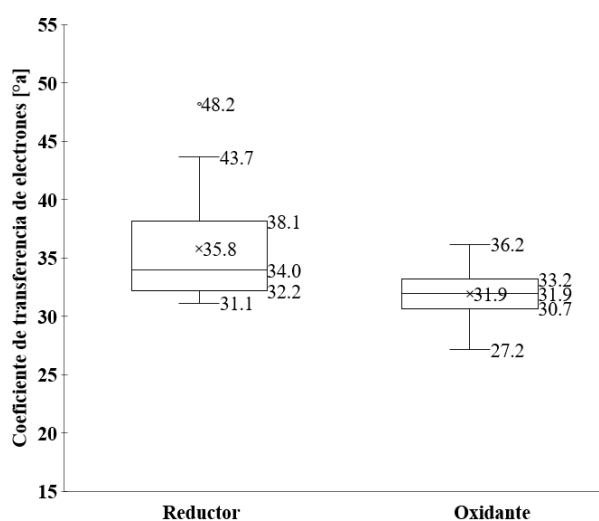
Tabla 3. Coeficiente de transferencia de electrones de la interacción óxido-reducción de las moléculas de eugenol y fosfolípido.

Reductor	Oxidante	Bg	EP	CTE
Fosfolípido	Eugenol	9.465	0.215	44.022
Eugenol	Fosfolípido	9.007	0.228	39.504

Bg: banda prohibida. EP: Potencial electrostático. CTE: Coeficiente de transferencia de electrones.

En la figura 2 se muestran los resultados de las interacciones de los AAs con el Eugenol. En esta gráfica de diagramas de bigotes y cajas, podemos ver que las interacciones predominantes son oxidativas para todos. Este fenómeno significa que el Eugenol puede destruir tejidos. En el ser humano que es un macro sistema, este hecho no es muy significativo, debido a su sistema inmune y reparador de daños. Pero, en las bacterias el Eugenol por su carácter oxidativo, puede causar su destrucción masiva.

Figura 2. Diagrama de bigotes y cajas de todas las CTE de las interacciones de los AAs con el Eugenol



CONCLUSIONES

El AEP de pimienta gorda evaluado mostró una acción antimicrobiana sobre cepas de *E. coli* y *Salmonella* sp. La mayor sensibilidad se registró para la bacteria *Salmonella* sp. a una concentración del 100 %, significativamente superior al resultado logrado con Eugenol comercial (96 %). Estos resultados sugieren el efecto de otros componentes presentes en el aceite sobre su actividad antimicrobiana. No obstante, mediante simulación *in sílico* se demostró la interacción del Eugenol, posible componente mayoritario del aceite, con los compuestos lipídicos presentes en las membranas de bacterias Gram

negativas y sus AAs, como mecanismo de acción. La capacidad del Eugenol para controlar patógenos como *E. coli* y *Salmonella* sp. sugiere su posible uso en la industria alimentaria para mejorar la seguridad de los alimentos. No obstante, debe ser evaluado el efecto del AEP sobre las propiedades sensoriales de los alimentos a conservar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuactzin-Pérez, M., Tlecuitl-Beristain, S., García-Dávila, J., Santacruz-Juárez, E., González-Pérez, M., Gutiérrez-Ruiz, M. C., & Sánchez, C. (2018). A novel biodegradation pathway of the endocrine-disruptor di (2-ethyl hexyl) phthalate by *Pleurotus ostreatus* based on quantum chemical investigation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 494-499.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.004>
- Andrade, B., Ferreira, V., Cardoso, G., Andrade, M., Ramos, A., Cardoso, M., & Ramos, E. (2023). Allspice (*Pimenta dioica* Lindl) leaves essential oil as a potential antioxidant and antimicrobial source for use in mechanically deboned poultry meat. *Brazilian Journal of Food Technology*.
<https://doi.org/10.1590/1981-6723.12522>.
- Ashrafudoulla, M., Mizan, M., Ha, A., Park, S., & Ha, S. (2020). Antibacterial and antibiofilm mechanism of eugenol against antibiotic resistance *Vibrio parahaemolyticus*. *Food microbiology*, 91, 103500. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103500>
- Bai, X., Li, X., Liu, X., Xing, Z., Su, R., Wang, Y., Xia, X., & Shi, C. (2022). Antibacterial effect of eugenol on *Shigella flexneri* and its mechanism. *Foods*, 11.
<https://doi.org/10.3390/foods11172565>
- Barco, M. (1998). La pimienta de Jamaica [*Pimenta dioica* (L.) Merrill, Myrtaceae] en la Sierra Norte de Puebla (México). *Anales Del Jardin Botanico De Madrid*, 56, 337-350.
<https://doi.org/10.3989/AJBM.1998.V56.I2.238>
- Chaudhari, A.K., Singh, V.K., Dwivedy, A.K., Das, S., Upadhvay, N., sigh, A., Dkhar, M.S., Kayang, H., Prakash, B. and Dubey, N.K. (2020). Chemically characterised *Pimienta dioica* (L.) Merr. Essential oil as a novel plant based antimicrobial against fungal and aflatoxin B1 contamination of stored maize and its possible mode of action. *Natural Product Research*, 34 (5), 745-749. PMID:30421964.



<http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2018.1499634>.

- Devi, K., Nisha, S., Sakthivel, R., & Pandian, S. (2010). Eugenol (an essential oil of clove) acts as an antibacterial agent against *Salmonella typhi* by disrupting the cellular membrane.. Journal of Ethnopharmacology, 130 1, 107-15. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.04.025>
- Devi, K., Sakthivel, R., Nisha, S., Suganthi, N., & Pandian, S. (2013). Eugenol alters the integrity of cell membrane and acts against the nosocomial pathogen *Proteus mirabilis*. Archives of Pharmacal Research, 36, 282-292. <https://doi.org/10.1007/s12272-013-0028-3>
- Du, W., Olsen, C., Avena-Bustillos, R., Mchugh, T., Levin, C., & Friedman, M. (2009). Effects of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. Journal of Food Science, 74 7, M372-8. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01282.x>
- González-Pérez, M., Hernandez-Valencia, C. G., Rodriguez-Martinez, G., Carriles-Perez, A., D., Ortega-Sanchez, C., Andonegui-Elguera, M. A. & Sanchez-Sanchez, R. (2024). Study of the chemical-quantum interactions of allicin (garlic) and amino acids in the human body. World Journal of Phaymaceutical Research, 13(13), 74-82. https://www.wjpr.net/abstract_file/26177
- Jeyakumar, E., & Lawrence, R. (2020). Mechanisms of bactericidal action of eugenol against *Escherichia coli*. Journal of Herbal Medicine, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2020.100406>
- Kim, E., Oh, C., Koh, S., Kim, H., Kang, K., Park, P., Jang, M., Lee, H., & Park, I. (2016). Antifungal activities after vaporization of ajowan (*Trachyspermum ammi*) and allspice (*Pimenta dioica*) essential oils and blends of their constituents against three *Aspergillus* species. Journal of Essential Oil Research, 28, 252 - 259. <https://doi.org/10.1080/10412905.2015.1110062>.
- Lorenzo-Leal, A., Palou, E., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.02.008>
- Macía, M. (1998). La pimienta de Jamaica [*Pimenta dioica* (L.) Merrill, Myrtaceae] en la Sierra Norte de Puebla (México). <https://doi.org/10.3989/AJBM.1998.V56.I2.238>



- Milenković, A., Stanojević, J., Stojanović-Radić, Z., Pejčić, M., Cvetković, D., Zvezdanović, J., & Stanojević, L. (2020). Chemical composition, antioxidative and antimicrobial activity of allspice (*Pimenta dioica* (L.) Merr.) essential oil and extract. *Advanced Technologies*. <https://doi.org/10.5937/savteh2001027m>
- Murali, V.S., Devi, V.N.M., Parvathy, P. and Murugan, M. (2021). Phytochemical screening, FTIR spectral analysis, antioxidant and antibacterial activity of leaf extract of *Pimienta dioica* Linn, *Materials Today: Proceedings*, 45, 2166-2170.
- OMS (2017). La OMS publica la lista de las bacterias para las que se necesitan emergentemente nuevos antibióticos. [Internet]. 2017 Consultado: 17 de febrero del 2025; Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/bacteria-antibiotics-needed/es/>.
- Podnecky, N., Fredheim, E., Kloos, J., Sørum, V., Primicerio, R., Roberts, A., Rozen, D., Samuelsen, Ø., & Johnsen, P. (2018). Conserved collateral antibiotic susceptibility networks in diverse clinical strains of *Escherichia coli*. *Nature Communications*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06143-y>
- Serra, V. M.A. (2017). La resistencia microbiana en el contexto actual y la importancia del conocimiento y aplicación en la política antimicrobiana. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 16(3), 402-419. Recuperado en 05 de febrero de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2017000300011&lng=es&tlng=es.
- Van Opijnen, T., Dedrick, S., & Bento, J. (2016). Strain dependent genetic networks for antibiotic-sensitivity in a bacterial pathogen with a large pan-genome. *PLoS Pathogens*, 12. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005869>
- Wang, J., Ma, W. & Wang, X. (2021). Insights into the structure of *Escherichia coli* outer membrane as the target for engineering microbial cell factories. *Microb Cell Fact* 20, 73. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01565-8>
- Wińska, K., Mączka, W., Łyczko, J., Grabarczyk, M., Czubaszek, A., & Szumny, A. (2019). Essential oils as antimicrobial agents—myth or real alternative?. *Molecules*, 24. <https://doi.org/10.3390/molecules24112130>.

