

## Efecto antimicrobiano y antibiopelícula de citronelol contra *Listeria monocytogenes*

### Antimicrobial and antibiofilm effect of citronellol against *Listeria monocytogenes*

Julio César López-Romero<sup>1\*</sup> , Heriberto Torres-Moreno<sup>1</sup> , David Murrieta-Legliu<sup>1</sup>, Max Vidal-Gutiérrez<sup>2</sup> , Karen Lillian Rodríguez-Martínez<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químico-Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Sonora, Campus Caborca, Ave. Universidad e Irigoyen, CP. 83600, H. Caborca, Sonora, México.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Químico-Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Sonora, Campus Navojoa, Blvd. Lázaro Cárdenas del Río 100, CP. 85880, Navojoa, Sonora, México.

<sup>3</sup>Licenciatura en Nutrición Humana, Universidad Estatal de Sonora, Unidad Académica Hermosillo, CP. 83100, Hermosillo, Sonora, México.

\*Autor de correspondencia: julio.lopez@unison.mx

#### Nota Científica

Recibida: 21 de agosto 2025

Aceptada: 10 de mayo 2026

**RESUMEN.** *Listeria monocytogenes* es una bacteria de importancia en salud pública, debido a su elevada tasa de mortalidad. Citronelol es un compuesto que ha demostrado potencial antimicrobiano y antibiopelícula, sin embargo, su efecto contra *L. monocytogenes* ha sido poco explorado. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto antimicrobiano y antibiopelícula de citronelol contra *L. monocytogenes*. La actividad antimicrobiana de citronelol se determinó por el método de microdilución en caldo y siembra en placa. El efecto antibiopelícula se evaluó por los métodos de cristal violeta y cuenta viable. Los resultados mostraron que citronelol presentó un valor de concentración mínima inhibitoria (CMI) y bactericida (CMB) de 400 y 500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , respectivamente, contra *L. monocytogenes*. Citronelol mostró capacidad para reducir el proceso de formación de biopelículas (>40% a 1/2 de CMI) y remover biopelículas preformadas (>30% a las dosis evaluadas) de *L. monocytogenes*. Citronelol muestra efecto antimicrobiano y antibiopelícula contra *L. monocytogenes*.

**Palabras clave:** Productos naturales, aceites esenciales, células plantónicas, biopelículas, patógenos.

**ABSTRACT.** *Listeria monocytogenes* is a bacterium of public health importance due to its high mortality rate. Citronellol is a compound that has demonstrated interesting antimicrobial and antibiofilm effects; however, the effect against *L. monocytogenes* has not been entirely explored. This study aimed to determine the antimicrobial and antibiofilm effects of citronellol against *L. monocytogenes*. The antimicrobial effect of citronellol was determined by the broth microdilution method and plate inoculation. Antibiofilm effect was determined throughout crystal violet and viable count methods. The results showed that citronellol exhibited a minimum inhibitory concentration (MIC) and bactericidal concentration (MBC) of 400 and 500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , respectively, against *L. monocytogenes*. Citronellol showed the capacity to reduce the biofilm formation process (>40% at a 1/2 MIC) and eradicating preformed biofilms (>30% at the doses evaluated) of *L. monocytogenes*. Citronellol reveals antimicrobial and antibiofilm effect against *L. monocytogenes*.

**Keywords:** Natural products, essential oils, planktonic cells, biofilm, pathogens.

**Como citar:** López-Romero JC, Torres-Moreno H, Murrieta-Legliu D, Vidal-Gutiérrez M, Rodríguez-Martínez L (2026) Efecto antimicrobiano y antibiopelícula de citronelol contra *Listeria monocytogenes*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(2): e4741 DOI: 10.19136/era.a13n2.4741.

## INTRODUCCIÓN

*Listeria monocytogenes* es una bacteria Gram-positiva, intracelular y causante de una enfermedad conocida como listeriosis. La principal vía de transmisión de este microorganismo hacia los humanos son los alimentos contaminados, como: frutas y verduras crudas, carne animal, productos lácteos no pasteurizados y alimentos cárnicos procesados listos para el consumo (Su *et al.* 2024). Este patógeno, presenta la mayor tasa de mortalidad dentro de los patógenos alimentarios, la cual ronda entre un 20 a 30% (Manyi-Loh y Lues 2025). Aunado a lo anterior, se ha observado que un factor que interviene en la contaminación alimentaria por parte de *L. monocytogenes* y otros patógenos, es la capacidad que tienen estos microorganismos de formar estructuras conocidas como biopelículas (Abebe 2020). Estas estructuras, confieren resistencia contra agentes antimicrobianos, lo cual complica su control y erradicación (Fernandes *et al.* 2024).

Lo anterior, evidencia que es necesario buscar estrategias que puedan ser efectivas para el control y erradicación de este microorganismo. Dentro de estas opciones, se encuentran a los productos de origen natural, como por ejemplo las plantas, las cuales han sido utilizadas como agentes antimicrobianos, cuyo efecto se asocia a la presencia de compuestos bioactivos como los terpenos (Jaouhar *et al.* 2024). Citronelol es un alcohol monoterpeno que se encuentra presente en el aceite esencial de diversas plantas, como las del género *Cymbopogon*, como por ejemplo *C. citratus* (zacate limón o limoncillo) y *C. winterianus* (citronela o citronela de java) (Jayaraj *et al.* 2022). Este compuesto, ha presentado una variedad de actividades biológicas, como por ejemplo antialérgico, antiinflamatorio, antiespasmódico, antidiabético, efectos cardiovasculares y antimicrobiana (Santos *et al.* 2019a). Aunado a esto, se ha demostrado que este compuesto es capaz de afectar el proceso de formación de biopelículas de distintas bacterias de importancia en el área alimentaria y clínica, tales como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* (Borges *et al.* 2017). Sin embargo, el efecto antimicrobiano y antibiopelícula de citronelol contra *L. monocytogenes* ha sido poco explorado (Victoria *et al.* 2012). Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue determinar la actividad antimicrobiana y antibiopelícula de citronelol frente a *L. monocytogenes*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI)

La CMI de citronelol (Acros Organics, Sigma Aldrich, USA) se determinó por el método de microdilución en caldo descrito por (López-Romero *et al.* 2015). Se utilizó una cepa de *Listeria monocytogenes* ATCC 7644. La bacteria se inoculó en agar Mueller-Hinton 16-18 h antes de su uso. Posteriormente, se tomó un inóculo de la cepa de *L. monocytogenes* y se ajustó a una densidad celular de  $1 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  utilizando un espectrofotómetro (Thermo Scientific™ Multiskan™ GO, Osterode, Germany). Después, se agregaron 180  $\mu\text{L}$  del inóculo ajustado en los pozos de una microplaca de 96 pozos. Después, a los pozos se les incorporó 20  $\mu\text{L}$  de las diferentes concentraciones de citronelol (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1 000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ). Se utilizó gentamicina como control positivo (12  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ). Caldo Mueller Hinton más DMSO (máxima concentración utilizada en los extractos) fue utilizado como control de vehículo. Caldo Mueller Hinton fue utilizado como blanco. A su vez, el volumen de DMSO no superó el 2% (v/v); esto con

el fin de evitar citotoxicidad en la bacteria. Finalmente, la microplaca se incubó durante 24 h a 37 °C. La absorbancia se leyó a 600 nm en un lector de microplacas (Thermo Scientific™ Multiskan™ GO, Osterode, Germany). La concentración más baja de citronelol en la que no se observó crecimiento bacteriano, fue considerada como la CMI.

### **Determinación de la concentración mínima bactericida (CMB)**

Partiendo de las microplacas donde se determinó CMI, se tomaron 10 µL de cada pocillo correspondientes a las diferentes concentraciones de citronelol, iguales y superiores a la CMI, y se sembraron en placas con agar cuenta en placa y se incubaron a 37 °C durante 24 h. La ausencia total del crecimiento se consideró como la concentración mínima bactericida (CMB) (Lopez-Romero *et al.* 2015).

### **Prevención de formación de biopelículas**

La evaluación del efecto preventivo de citronelol en la formación de biopelículas de *L. monocytogenes* se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito por (Borges *et al.* 2017). La cepa de *L. monocytogenes* fue cultivada a 37 °C durante 18 h en caldo Mueller-Hinton suplementado con citronelol a 1/2 de CMI y 1/4 de CMI, bajo agitación (150 RPM). Posteriormente, estos cultivos se ajustaron a una absorbancia de  $0.04 \pm 0.02$  ( $1 \times 10^8$  células mL<sup>-1</sup>) utilizando una longitud de onda de 620 nm (Thermo Scientific™ Multiskan™ GO, Osterode, Germany). Acto seguido, se tomaron 200 µL de cada inóculo y se incorporaron en los pozos de una microplaca de 96 pozos. Las microplacas se incubaron por 24 h a 37 °C. Transcurrido este tiempo, se llevó a cabo la cuantificación de biomasa utilizando el método de cristal violeta.

### **Cuantificación de biomasa bacteriana**

La biomasa de biopelícula se cuantificó con el método de tinción con cristal violeta (Borges *et al.* 2017). El contenido de cada pocillo se retiró, y cada pocillo se lavó con solución salina estéril (NaCl, 0.85% p/v), se les agregó metanol (15 min) y se realizó una tinción con cristal violeta (1% v/v) durante 5 minutos. Las células de biopelícula teñidas se resuspendieron con ácido acético glacial (33% v/v). Por último, se llevó a cabo una medición con un lector de microplacas (Thermo Scientific™ Multiskan™ GO, Osterode, Germany) a una longitud de onda de 570 nm.

### **Remoción de biopelículas bacterianas**

Se realizó una siembra del microorganismo 16-18 h antes de su uso en agar Mueller Hinton. Después, se preparó el inóculo bacteriano a una densidad óptica de 620 nm y una absorbancia de  $0.04 \pm 0.02$ , permitiendo obtener una densidad celular de  $1 \times 10^8$  células mL<sup>-1</sup> (Thermo Scientific™ Multiskan™ GO, Osterode, Germany). Posteriormente, cada pocillo de una microplaca estéril de 96 pocillos, se agregaron 200 µL de la suspensión bacteriana. Las microplacas se incubaron a 37 °C durante 24 y 48 h para permitir la formación de biopelículas. Posteriormente, se retiró el contenido de cada pozo de la microplaca, y estos fueron lavados con 200 µL de NaCl (0.85%, p/v), y posteriormente expuestos a citronelol a concentraciones de 2 x CMI, 5 x CMI y 10 x CMI, durante 1 h. Después de la exposición, las biopelículas se lavaron con NaCl (0.85% p/v) (Borges *et al.* 2017). Finalmente, se cuantificó la biomasa bacteriana utilizando el método de cristal violeta.

## Determinación de viabilidad de células bacterianas en la biopelícula

En microplacas independientes, se realizó el procedimiento previamente descrito. Después del último lavado con NaCl (0.85%, p/v), se agregaron nuevamente 200  $\mu\text{L}$  de NaCl (0.85%, p/v) y se realizaron en cada pozo raspados tres veces por periodos de 1 min, utilizando una punta de la micropipeta. Posteriormente, se tomó un volumen de cada pozo y se realizaron diluciones seriadas (1:10) en NaCl (0.85%, p/v). Finalmente, se realizaron las siembras de las diluciones en agar cuenta placa, las cuales se incubaron a 37 °C durante 24 h. Las colonias fueron enumeradas y se determinó la reducción de log UFC  $\text{cm}^{-2}$  (Borges *et al.* 2017).

## Análisis estadístico

Todos los métodos fueron realizados por triplicado de manera independiente en fechas distintas, utilizando diferentes lotes bacterianos. Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico NCSS, 2007. Se realizó un análisis de varianza de una vía. Cuando se presentaron diferencias estadísticas, se analizaron a través de la prueba de Tukey-Kramer. El nivel de probabilidad en el error fue de  $p < 0.05$ .

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Efecto antimicrobiano

Los resultados obtenidos demostraron que citronelol presentó efecto antimicrobiano contra *L. monocytogenes*, mostrando un valor de concentración mínima inhibitoria (CMI) de 400  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , mientras que el valor de concentración mínima bactericida (CMB) fue de 500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . El efecto antimicrobiano de citronelol contra *L. monocytogenes* ha sido poco explorado, sin embargo, un estudio previo demostró que este compuesto fue capaz de inhibir (CMI: 312.54  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) el crecimiento de una cepa de *L. monocytogenes* distinta a la utilizada en este estudio (ATCC 19117) (Victoria *et al.* 2012).

La actividad antimicrobiana de citronelol puede ser asociado a su estructura química, que se caracteriza por ser una molécula acíclica con una cadena hidrocarbonada hidrófoba y un grupo hidroxilo hidrofílico (Santos *et al.* 2019a). Este último grupo, se ha observado que incrementa el efecto antimicrobiano, llegando a ser entre 1.06 a 60 veces superior contra microorganismos Gram positivos y Gram negativos, en comparación con la sustitución de otro grupo funcional (López-Romero *et al.* 2015). Se ha demostrado que citronelol reacciona con componentes de la superficie celular de distintas bacterias, provocando alteraciones de la membrana bacteriana y la subsecuente fuga de componentes intracelulares, provocando la muerte celular bacteriana (López-Romero *et al.* 2015, Li *et al.* 2024).

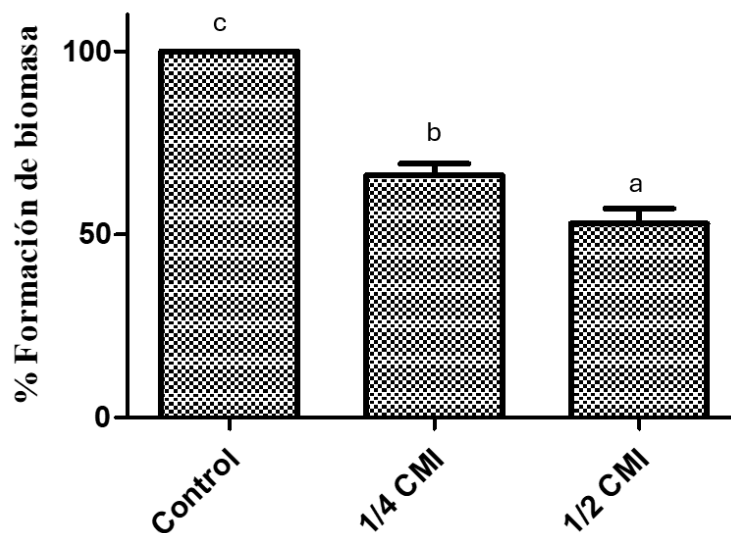
El valor obtenido de CMI en el presente estudio demuestra que citronelol posee efecto antimicrobiano contra *L. monocytogenes*, basado en la clasificación propuesta por Simoes *et al.* (2009), quienes establecen que fitoquímicos o extractos con valores de CMI inferiores a 1000  $\mu\text{g mL}^{-1}$  se clasifican dentro de esta categoría.

Por otra parte, el análisis de las reglas de Lipinski demuestra que citronelol presenta parámetros satisfactorios para que esta molécula pueda tener buena biodisponibilidad oral. Además, tiene la

capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica (Borges *et al.* 2017). A su vez, este compuesto es clasificado como GRAS (generalmente reconocido como seguro) por la FDA. Lo anterior, podría ser de importancia, ya que, es conocida que una de las complicaciones más comunes en los procesos infecciosos producidos por *L. monocytogenes* es la bacteriemia y meningitis (Pagliano *et al.* 2017). Esto, abre la posibilidad de que citronelol pudiera ser evaluado en siguientes fases de estudio con la finalidad de que pudiera representar una opción para el desarrollo de terapias antimicrobianas.

### Prevención de formación de biopelículas

Citronelol presentó la capacidad de prevenir el proceso de formación de biopelículas de *L. monocytogenes* a concentraciones subinhibitorias (Figura 1). Se puede observar que se obtuvo un efecto dosis respuesta, ya que la concentración más alta evaluada de citronelol (1/2 CMI) presenta el mayor ( $p < 0.05$ ) porcentaje de inhibición de biomasa bacteriana (aproximadamente 47%), seguido de la concentración de 1/4 CMI, la cual fue 13% inferior. Lo anterior, en comparación con el tratamiento control (sin la presencia de citronelol).



**Figura 1.** Acción preventiva de citronelol sobre la producción de biomasa de biopelícula de *L. monocytogenes*. Los valores de cada tratamiento indican el promedio  $\pm$  desviación estándar de tres ensayos independientes. <sup>a-c</sup> Columna con diferente literal indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

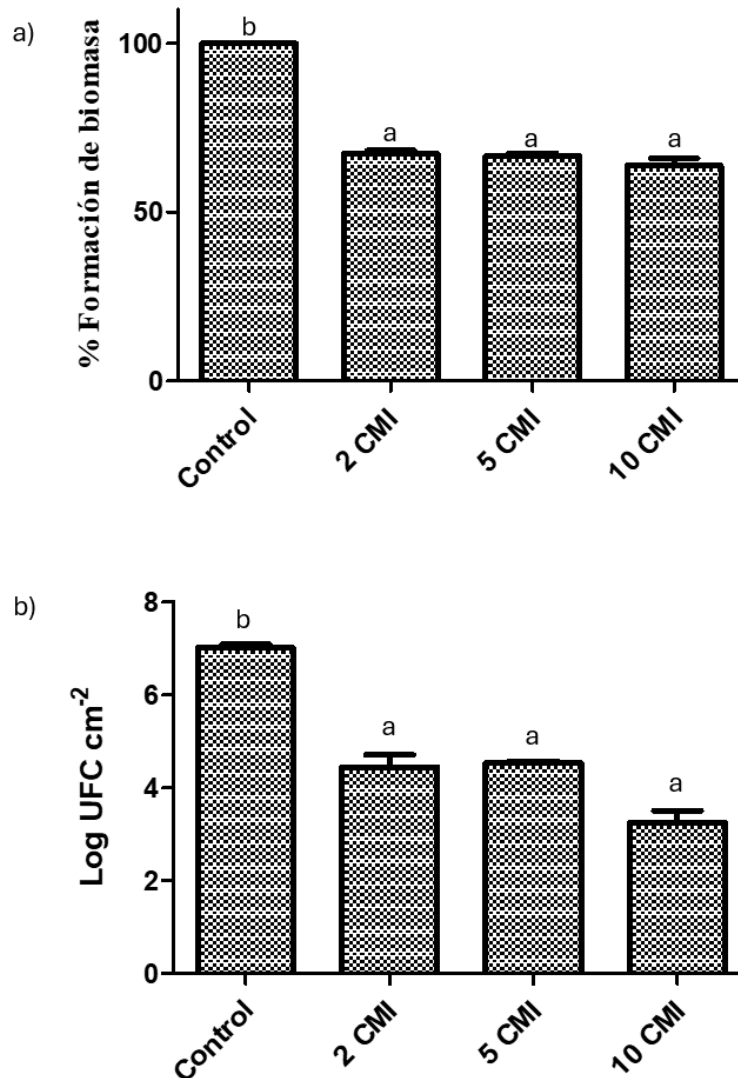
Se ha demostrado que un factor importante que contribuye en la contaminación alimentaria y subsecuente patogenia bacteriana es la capacidad que tienen estos microorganismos de desarrollar unas estructuras bacterianas llamadas biopelículas, las cuales permiten que estas actúen como un foco continuo de infección o contaminación (Abebe 2020). El proceso de formación de biopelículas bacterianas es complejo y consiste en cuatro etapas (adhesión a la superficie, formación de microcolonias, maduración y dispersión), siendo la primera de ellas la etapa crítica y reversible, ya que permite el establecimiento de estas (Erkihun *et al.* 2024). El presente estudio demostró que citronelol presentó la capacidad de disminuir el proceso de formación de biopelículas de *L. monocytogenes* en casi un 50% a la concentración más alta evaluada (1/2 CMI).

El efecto antibiopelícula de citronelol frente a *L. monocytogenes* no ha sido reportado. Sin embargo, Nostro *et al.* (2013) realizaron películas poliméricas incorporadas con citronelol al 7%, y se les determinó la cantidad de biopelícula de *L. monocytogenes* formadas. Se observó que en las películas poliméricas se disminuyó la cantidad de biomasa y actividad metabólica. Por otra parte, es importante mencionar que la capacidad de citronelol para prevenir la formación de biopelículas de *L. monocytogenes* no ha sido reportado, sin embargo, un estudio sobre *E. coli* ha demostrado que una concentración de 1/2 de CMI logró reducir la formación de biopelículas en más de 50% (Borges *et al.* 2017).

La capacidad de citronelol para prevenir el proceso de formación de biopelículas bacterianas puede ser relacionada con la capacidad de este compuesto para producir daño sobre la célula planctónica. Es conocido que el proceso de adhesión de *L. monocytogenes* es influenciado por proteínas de membrana, y apéndices unidos a la membrana celular, como por ejemplo los flagelos (Santos *et al.* 2019b, Gao *et al.* 2024). Se ha demostrado que citronelol tiene la capacidad de alterar la membrana bacteriana de *L. monocytogenes* y otros patógenos (Lopez-Romero *et al.* 2015, Li *et al.* 2024), lo cual afecta el funcionamiento de esta estructura celular, y posiblemente afectando la función de las proteínas de membrana. A su vez, se puede sugerir que citronelol podría afectar el proceso de motilidad de *L. monocytogenes*, afectando su movilidad y el proceso de adhesión bacteriana. En este sentido, se ha demostrado que citronelol ( $0.3 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) tiene la capacidad de disminuir la motilidad tipo swarming en *P. mirabilis* en más del 60% después de 12 h (Echeverrigaray *et al.* 2008). Es importante mencionar que este tipo de motilidad se presenta en *L. monocytogenes*.

### Remoción de biopelículas bacterianas

Por otra parte, la capacidad de citronelol para erradicar biopelículas preformadas (24 h) de *L. monocytogenes* se muestra en la Figura 2a. Se pudo observar que citronelol tuvo la capacidad de remover ( $p < 0.05$ ) en más del 30% la biomasa bacteriana preformada después de 1 h, esto en comparación con el tratamiento control (ausencia de citronelol). A su vez, se puede observar que las diferentes concentraciones del compuesto evaluado (2 x CMI, 5 x CMI y 10 x CMI) presentaron capacidad similar ( $p > 0.05$ ) para remover las biopelículas preformadas de *L. monocytogenes*. Citronelol también mostró capacidad de afectar la viabilidad de las células bacterianas presentes en las biopelículas preformadas (24 h) de *L. monocytogenes* después de estar en contacto durante 1 h (Figura 2b). Los resultados mostraron un comportamiento similar a la reducción de biomasa bacteriana, ya que se logró reducir ( $p < 0.05$ ) la cuenta logarítmica en más de 2.5 Log UFC/cm<sup>2</sup>. en comparación con el tratamiento control (ausencia de citronelol). También, se obtuvo que las diferentes concentraciones evaluadas de citronelol (2 x CMI, 5 x CMI y 10 x CMI) presentaron una capacidad similar ( $p > 0.05$ ) para disminuir la cuenta viable de las células bacterianas presentes en las biopelículas de *L. monocytogenes*.



**Figura 2.** a) Efecto de citronelol (después de 1 h de exposición) sobre biopelículas preformadas de *L. monocytogenes* (24 h). Los valores de cada tratamiento indican el promedio  $\pm$  desviación estándar de tres ensayos independientes. <sup>a-b</sup> Columna con diferente literal indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ). b). Viabilidad de células de biopelícula después del tratamiento con citronelol durante 1 hora. Los valores de cada tratamiento indican el promedio  $\pm$  desviación estándar de tres ensayos independientes. <sup>a-b</sup> Columna con diferente literal indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

Es conocido que una vez que se ha alcanzado el proceso de maduración de las biopelículas bacterianas, estas quedan embebidas en una capa de exopolisacáridos brindándole protección, lo cual, dificulta su control y erradicación (Erkihun *et al.* 2024). Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que citronelol fue capaz de erradicar en más de 30% las biopelículas preformadas de *L. monocytogenes*, además de afectar la viabilidad de las células presentes en estas estructuras. Los resultados anteriores, constituyen el primer reporte de citronelol como agente removedor de biopelículas bacterianas de *L. monocytogenes*. Sin embargo, es importante destacar

que otras investigaciones han mostrado que el citronelol tiene la capacidad de remover biopelículas preformadas de otros microorganismos como por ejemplo *S. aureus* y *E. coli*, observándose una reducción de biomasa, actividad metabólica y cuenta viable (Borges *et al.* 2017). Aunado a lo anterior, Olszewska *et al.* (2020) observó que citronelol disminuyó la rugosidad y espesor de biopelículas preformadas de *E. coli*. A su vez, el análisis de microscopía confocal evidenció un daño a la arquitectura de la biopelícula. Lo anterior, podría sugerir que citronelol tiene la capacidad de interactuar directamente con la estructura del polisacárido de la biopelícula de *L. monocytogenes* causando su degradación, y posteriormente permitir el paso de citronelol al interior de la comunidad bacteriana, provocando daños sobre las células bacterianas, lo cual podría resultar en la afectación o muerte bacteriana. A su vez, este compuesto podría permear la estructura del exopolisacárido, permitiendo así reaccionar con las células presentes.

Los resultados del análisis de las biopelículas presentan información relevante, ya que, es conocido que las biopelículas confieren resistencia ante los agentes antimicrobianos. En este sentido, se ha demostrado que estas estructuras son entre 10 a 1000 más resistentes a agentes antimicrobianos utilizados en la práctica clínica, esto en comparación con las células platónicas (Gebremariam *et al.* 2024). A su vez, se ha observado que estas estructuras son resistentes a los agentes desinfectantes empleados en el área clínica y alimentaria (Fernandes *et al.* 2024). Además, las biopelículas bacterianas son asociadas con más del 80% de las infecciones producidas a nivel hospitalario y se estima que son responsables de más del 60% de los casos de contaminación alimentaria (Liu *et al.* 2023, Rafik *et al.* 2024).

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## LITERATURA CITADA

- Abebe GM (2020) The role of bacterial biofilm in antibiotic resistance and food contamination. *International Journal of Microbiology* 2020(1): 1705814. <https://doi.org/10.1155/2020/1705814>
- Borges A, Lopez-Romero JC, Oliveira D, Giaouris E, Simões M (2017) Prevention, removal and inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* biofilms using selected monoterpenes of essential oils. *Journal of Applied Microbiology* 123(1): 104-115. <https://doi.org/10.1111/jam.13490>
- Echeverrigaray S, Michelim L, Delamare APL, Andrade CP, da Costa SOP, Zacaria J (2008) The effect of monoterpenes on swarming differentiation and haemolysin activity in *Proteus mirabilis*. *Molecules* 13(12): 3107-3116. <https://doi.org/10.3390/molecules13123107>
- Erkihun M, Asmare Z, Endalamew K, Getie B, Kiros T, Berhan A (2024) Medical scope of biofilm and quorum sensing during biofilm formation: Systematic review. *Bacteria* 3(3): 118-135. <https://doi.org/10.3390/bacteria3030008>
- Fernandes Â, Rodrigues A, Cobrado L (2024) Effect of prolonged exposure to disinfectants in the antimicrobial resistance profile of relevant micro-organisms: a systematic review. *Journal of Hospital Infection* 151: 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2024.04.017>

- Gao B, Cai H, Xu B, Yang F, Dou X, Dong Q, Yan H, Bu X, Li Z (2024) Growth, biofilm formation, and motility of *Listeria monocytogenes* strains isolated from food and clinical samples located in Shanghai (China). *Food Research International* 184: 114232. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114232>
- Gebremariam T, Eguale T, Belay T, Kalayu AA, Abula T, Engidawork E, Gebreye TG, Asfaw EE (2024) Antibiotic Resistance, and Biofilm Forming Characteristics of *Escherichia coli* Clinical Isolates at a Hospital in Tigray, Northern Ethiopia. *Cureus* 16(11): 1-12. <https://doi.org/10.7759/cureus.73569>
- Jaouhar S, Zeouk I, Dahou S, Bekhti K (2024) Exploring the disinfectant potential of plant extracts against bacterial strains. *Tropical Journal of Natural Product Research* 8(3): 6508-6515. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v8i3>
- Jayaraj RL, Azimullah S, Parekh KA, Ojha SK, Beiram R (2022) Effect of citronellol on oxidative stress, neuroinflammation and autophagy pathways in an *in vivo* model of Parkinson's disease. *Heliyon* 8(11): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11434>
- Li Y, Sun R, Kong Y, Cai X, Jiang T, Cheng S, Yang H, Song L, Lü X, Wang X (2024) Antibacterial effect of ultrasound and  $\beta$ -citronellol against *Listeria monocytogenes* and its application in carrot preservation. *Ultrasonics Sonochemistry* 102: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106752>
- Liu X, Yao H, Zhao X, Ge C (2023) Biofilm formation and control of foodborne pathogenic bacteria. *Molecules* 28(6): 1-19. <https://doi.org/10.3390/molecules28062432>
- López-Romero JC, González-Ríos H, Borges A, Simões M (2015) Antibacterial effects and mode of action of selected essential oils components against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2015(1): 1-9. 795435. <https://doi.org/10.1155/2015/795435>
- Manyi-Loh CE, Lues R (2025) *Listeria monocytogenes* and Listeriosis: The Global Enigma. *Foods* 14(7): 1-74. <https://doi.org/10.3390/foods14071266>
- Nostro A, Scaffaro R, D'Arrigo M, Botta L, Filocamo A, Marino A, Bisignano G (2013) Development and characterization of essential oil component-based polymer films: a potential approach to reduce bacterial biofilm. *Applied Microbiology and Biotechnology* 97: 9515-9523. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5196-z>
- Nwafor IR, Alhassan Y, Udoh JI, Odanibeh D, Oyaniyi J, Efoli-Bam VK, Azubuike EO, Ojobor JFC, Nwokafor CV (2024) Plant-derived bioactive compounds and their mechanistic roles in combating microbial biofilms. *Microbiology Research Journal International* 34(9): 74-85. <https://doi.org/10.9734/mrji/2024/v34i91482>
- Olszewska MA, Gędas A, Simões M (2020) The effects of eugenol, trans-cinnamaldehyde, citronellol, and terpineol on *Escherichia coli* biofilm control as assessed by culture-dependent and-independent methods. *Molecules* 25(11): 1-14. <https://doi.org/10.3390/molecules25112641>
- Pagliano P, Arslan F, Ascione T (2017) Epidemiology and treatment of the commonest form of listeriosis: meningitis and bacteraemia. *Le Infezioni in Medicina* 3: 210-216.
- Rafik A, Asmaa D, Habiba R, Amina R, Kaotar N, Mohammed T, Abouddihaj B (2024) Exploring *Staphylococcus* in urinary tract infections: a systematic review and meta-analysis on the epidemiology, antibiotic resistance and biofilm formation. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease* 110: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2024.116470>
- Santos PL, Matos JPS, Picot L, Almeida JR, Quintans JS, Quintans-Junior LJ (2019a) Citronellol, a monoterpene alcohol with promising pharmacological activities: A systematic review. *Food and Chemical Toxicology* 123: 459-469. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.030>
- Santos T, Viala D, Chambon C, Esbelin J, Hébraud M (2019b) *Listeria monocytogenes* biofilm adaptation to different temperatures seen through shotgun proteomics. *Frontiers in Nutrition* 6: 1-16. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00089>

- Simoes M, Bennett RN, Rosa EA (2009) Understanding antimicrobial activities of phytochemicals against multidrug resistant bacteria and biofilms. *Natural Product Reports* 26(6): 746-757. <https://doi.org/10.1039/B821648G>
- Su Y, Liu A, Zhu MJ (2024) Mapping the landscape of listeriosis outbreaks (1998-2023): Trends, challenges, and regulatory responses in the united states. *Trends in Food Science & Technology* 154: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104750>
- Victoria FN, Radatz CS, Sachini M, Jacob RG, Alves D, Savegnago L, Perin G, Motta AS, Silva WP, Lenardão EJ (2012) Further analysis of the antimicrobial activity of  $\alpha$ -phenylseleno citronellal and  $\alpha$ -phenylseleno citronellol. *Food Control* 23(1): 95-99. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.06.017>.