



# Actividad antibiofilm del extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) sobre *Escherichia coli* en condiciones in vitro

Antibiofilm activity of maqui extract (*Aristotelia chilensis*) on *Escherichia coli* under in vitro conditions

Maria del Pilar Acosta<sup>1,a</sup>, Gabriela Alejandra Torres<sup>1,b</sup>

## Resumen

**Objetivo:** evaluar la efectividad antibiofilm del extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) sobre *Escherichia coli* en condiciones in vitro en el año 2025. **Métodos:** se realizó un estudio experimental in vitro longitudinal utilizando la cepa *Escherichia coli* ATCC 25922. Se preparó un extracto de hojas de maqui mediante maceración en agua y etanol. Se determinó la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB) mediante métodos de dilución en caldo y recuento de unidades formadoras de colonias (UFC). La actividad antibiofilm se evaluó con el método de tinción de cristal violeta, midiendo la densidad óptica. **Resultados:** el extracto de maqui mostró una CMI de 10 µg/mL y una CMB de 100 µg/mL. A concentraciones superiores a 60 µg/mL, la inhibición del crecimiento bacteriano fue comparable a la tetraciclina. La formación de biofilm se redujo significativamente con concentraciones a partir de 10 µg/mL, evidenciando un efecto inhibitorio creciente a medida que aumentaba la concentración del extracto. **Conclusiones:** Los resultados sugieren que el extracto de maqui posee potencial como agente antimicrobiano natural contra *Escherichia coli*, especialmente en la inhibición de biofilm. Esto resalta la importancia de explorar alternativas vegetales en el contexto de la creciente resistencia a los antibióticos, ofreciendo nuevas vías para el desarrollo de tratamientos con base en compuestos naturales. Se recomienda realizar estudios in vivo para confirmar la bioactividad observada.

**Palabras claves:** biofilm, infecciones urinarias, *Escherichia coli*, in vitro.

## Abstract

**Objective:** to evaluate the antibiofilm effectiveness of maqui extract (*Aristotelia chilensis*) on *Escherichia coli* under in vitro conditions in the year 2025. **Methods:** an experimental longitudinal in vitro study was conducted using the *Escherichia coli* ATCC 25922 strain. An extract of maqui leaves was prepared through maceration in water and ethanol. The minimum inhibitory concentration (MIC) and the minimum bactericidal concentration (MBC) were determined using broth dilution methods and colony-forming unit (CFU) counting. The antibiofilm activity was assessed using the crystal violet staining method, measuring optical density. **Results:** the maqui extract exhibited a MIC of 10 µg/mL and an MBC of 100 µg/mL. At concentrations above 60 µg/mL, the inhibition of bacterial growth was comparable to tetracycline. Biofilm formation was significantly reduced at concentrations starting from 10 µg/mL, showing a growing inhibitory effect as the concentration of the extract increased. **Conclusions:** the results suggest that maqui extract has potential as a natural antimicrobial agent against *Escherichia coli*, particularly in inhibiting biofilm formation. This highlights the importance of exploring plant-based alternatives in the context of increasing antibiotic resistance, offering new avenues for the development of treatments based on natural compounds. Further in vivo studies are recommended to confirm the observed bioactivity.

**Keywords:** biofilm, urinary infections, *Escherichia coli*, in vitro.

Recibido el  
05 de agosto de 2025  
Aceptado  
04 de noviembre de 2025  
<sup>1</sup>Universidad Adventista de Chile  
<https://orcid.org/0009-0001-3318-1747>  
mariadelpilaracosta@unach.cl  
<https://orcid.org/0009-0009-7652-842X>  
gabrielatorres@alu.unach.cl  
\*Correspondencia:  
Maria del Pilar Acosta  
Correo electrónico:  
mariadelpilaracosta@unach.cl  
DOI:  
<https://doi.org/10.47993/gmbv48i2.1131>

Las infecciones del tracto urinario (ITU) se definen como el crecimiento de microorganismos patógenos en orina recolectada de forma estéril<sup>1</sup>. Causando en la mayoría de los pacientes síntomas como ardor, dolor al miccionar y en algunos casos fiebre<sup>2</sup>. Estas ITU ocupan el segundo lugar entre las enfermedades infecciosas a nivel mundial, siendo más frecuentes en el sexo femenino, a causa de su anatomía perineal<sup>3</sup>. En este sentido, las mujeres adultas tienen una probabilidad de ocurrencia 30 veces mayor que la de los hombres<sup>4</sup>, lo que las posiciona como la causa más frecuente de consultas médicas<sup>3</sup>.

Uno de los principales agentes patógenos de las ITU es *Escherichia coli* (*E. coli*), el cual está implicado en el 75 al 95% de los casos de cistitis no complicada, predominando también en casos de pielonefritis y otras infecciones del tracto urinario complicadas<sup>1</sup>. Para el tratamiento de ITU causadas por este microorganismo, se emplean antibióticos de primera línea de forma empírica, lo que contribuye al aumento de resistencia antimicrobiana en estos, debido a una mayor exposición a bacterias y el desarrollo de mecanismos de resistencia<sup>5</sup>. Esto a su vez, se relaciona a un incremento en la morbimortalidad y costos elevados en la atención médica<sup>6</sup>.

Uno de los principales factores de virulencia relacionado con la resistencia microbiana es la formación de biofilm, factor asociado al desarrollo de aproximadamente el 65% de las infecciones<sup>7</sup>. Esta estructura es una matriz de exopolisacáridos que se adhiere a una superficie inerte o a un tejido vivo, funcionando como una estrategia de supervivencia de las bacterias<sup>8</sup>. En este contexto, las colonias bacterianas se organizan de tal manera que crean una barrera físico-química contra los antimicrobianos<sup>9</sup>. Además, *E. coli* presenta otros factores de virulencia, como adhesinas, que facilitan la formación de esta barrera, permitiendo así la invasión del tracto urinario y el desarrollo de resistencia antibiótica<sup>8</sup>.

Actualmente, la farmacoterapia carece de compuestos efectivos para combatir las infecciones causadas por microorganismos formadores de biofilm<sup>10</sup>. Por lo tanto, es fundamental abordar esta crisis global, mediante la búsqueda de nuevas alternativas terapéuticas<sup>11</sup>. En las últimas décadas, investigadores han puesto énfasis en la obtención de compuestos vegetales, ya que las plantas son fuentes prometedoras de compuestos biológicos que ofrecen diversas funciones beneficiosas para nuestro cuerpo, una de ellas su actividad antimicrobiana<sup>12</sup>. La amplia variedad de compuestos naturales existentes proporciona una gran disponibilidad de moléculas antibacterianas para ayudar a prevenir diferentes tipos de infecciones<sup>13</sup>.

En Chile, existe una gran variedad de frutos nativos con propiedades beneficiosas para la salud, siendo el maqui (*Aristotelia chilensis*) uno de los más representativos, cultivado en el sur del país<sup>14</sup>. Esta especie vegetal posee propiedades medicinales, incluyendo efectos cardioprotectores, antidiabéticos, anticancerígenos y antimicrobianos<sup>15</sup>. Sin embargo, no hay estudios suficientes que optimicen el proceso de extracción de estos compuestos a partir de las hojas, y no hay evidencia de investigaciones que exploren sus posibles aplicaciones en el control de agentes patógenos de ITU<sup>13,14</sup>. Por lo tanto, nuestro estudio tiene como objetivo evaluar la efectividad antibiofilm de un extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) sobre *E. coli* en condiciones *in vitro* en el año 2025.

## Material y métodos

El diseño de nuestro estudio es de tipo experimental puro a nivel *in vitro* y longitudinal para evaluar la eficacia del extracto de maqui contra el biofilm de *E. coli*. Es así que los objetivos específicos fueron: Determinar las diferentes concentraciones del extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) que inhiben el crecimiento de *E. coli* en condiciones *in vitro* mediante técnicas de cuantificación microbiológica y densidad óptica. Establecer la concentración mínima bactericida (CMB) del extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) contra *E. coli* mediante ensayos de dilución en placa y cuantificación microbiológica y densidad óptica. Por último, evaluar la capacidad inhibitoria del extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) sobre la formación del biofilm de *E. coli* en condiciones *in vitro*.

### Cepa bacteriana de *Escherichia coli*:

La cepa de bacteria que se usó en este estudio fue *E. coli* ATCC 25922 y se cultivó en agar Mueller-Hinton a una temperatura de 37 °C en estufa microbiológica por 24 horas en condiciones aeróbicas.

### Extracto vegetal:

Se recolectaron las hojas de maqui (*Aristotelia chilensis*) del campus de la Universidad Adventista de Chile. El extracto se preparó en el laboratorio de Química de la universidad, donde se lavaron las hojas con agua de grifo y se secaron por 8 días a temperatura ambiente en un lugar seco, posteriormente las hojas se trituraron de forma manual, logrando por lo menos 200 gramos de polvo fino de la planta. Se llevaron a frascos y se le agregaron 1000 ml de agua destilada y 1000 ml etanol al 95% hasta cubrir el material, y se dejaron macerar por 48 horas en oscuridad. Finalmente, se filtraron ambos extractos, eliminando residuos de las hojas; y el macerado se llevó a un rotavapor para su concentración y eliminación del solvente alcohólico. El extracto final se utilizó para nuestro estudio<sup>16</sup>.

### Concentración mínima inhibitoria:

Los valores de CMI se determinaron mediante el método de difusión en caldo con 1x10<sup>5</sup> UFC/ml como inóculo estándar de la cepa *E. coli* ATCC 25922. Las diferentes concentraciones del extracto de hojas de Maqui (*Aristotelia chilensis*) se agregaron en el medio, en concentraciones finales de 0, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 µg / ml, los tubos se incubaron a 37°C durante 24 hrs. Como control positivo, las cepas bacterianas se cultivaron con Tetraciclina 100 µg / ml y agua destilada como control negativo

El crecimiento celular se cuantificó por densidad óptica<sup>16,17</sup>.

Para determinar la CMI se tomaron 10 µL de muestra de cada tubo de ensayo, la que se adicionaron sobre una placa de agar Mueller-Hinton en triplicados, dejándolos por 24 hrs a 37°C. Las lecturas se realizaron después de 24 hrs de incubación mediante lectura del halo de inhibición. El valor CMI se definió como la concentración de extracto más bajo que impidió el crecimiento bacteriano después de una incubación<sup>16,17</sup>.

### Concentración mínima bactericida:

Para obtener la CMB se tomó una alícuota de 10 µl desde las muestras en donde no se observó crecimiento y se extendieron en placa con medio CHROMagar por triplicado y luego se incubaron durante 24 hrs, mediante recuento de células viables se

realizó la evaluación. La concentración bactericida mínima (CBM) se define como la concentración mínima de extracto que elimine el 99% de las bacterias en los inóculos<sup>16</sup>.

### Actividad Antibiofilm:

La inhibición de la formación de biopelículas inducida por extractos aislados se midió mediante el método de tinción de violeta cristal. Se incubaron suspensiones bacterianas con concentraciones crecientes del extracto (24 hrs a 30°C). Todos los pozos fueron lavados con agua del grifo y las biopelículas se fijaron con metanol. La placa se tiñó con cristal violeta al 0,3% y se leyeron en un espectrofotómetro para determinar la densidad óptica de la muestra<sup>17,18</sup>.

### Análisis estadístico:

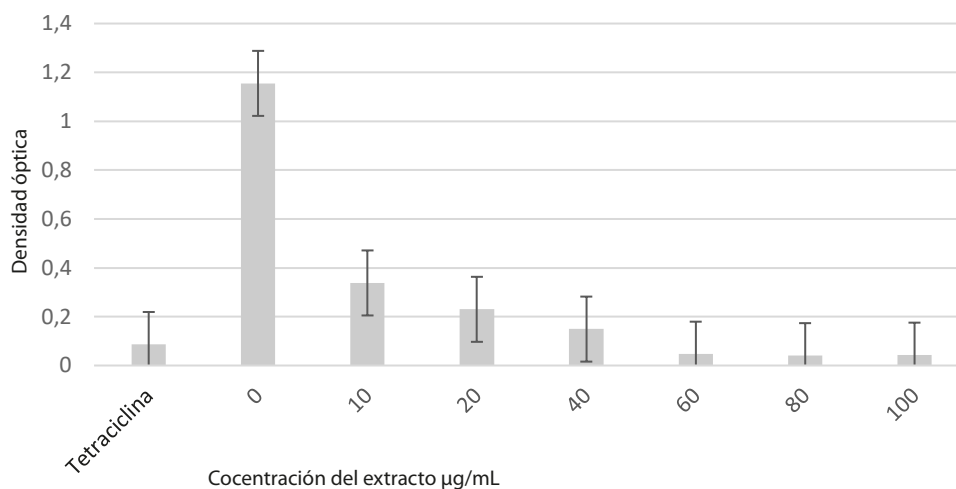
Para realizar el análisis de los resultados se utilizó el programa estadístico Jamovi versión 2.6, 2024. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía al 95% de confianza. Por otro lado, se realizó el test de comparación de medias de Tukey, Test de comparaciones múltiples de Dunnett's, y prueba de Fischer en los casos que hubo diferencias significativas. El nivel de confianza fue del 95% ( $p = 0,05$ ) para la significancia. Cada uno de los ensayos se realizó por triplicado.

## Resultados

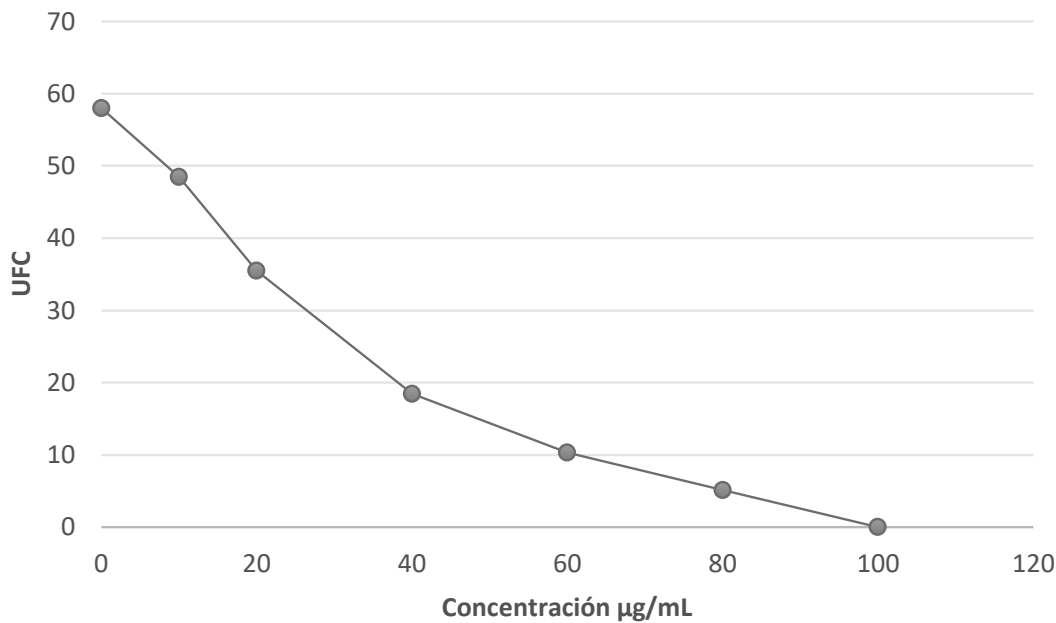
Con respecto a la inhibición del crecimiento de *E. coli* por parte de las diferentes concentraciones del extracto a las 24 horas de incubación (Figura 1), se observa una reducción significativa del crecimiento bacteriano, reflejada en la disminución de la densidad óptica (DO) a medida que aumenta la concentración del extracto ( $p < 0,001$ ). Este comportamiento indica una clara relación entre la concentración del extracto de *Aristolotelia chilensis* y la inhibición del crecimiento bacteriano. En particular, las concentraciones superiores a 60  $\mu\text{g/mL}$  ( $\pm 0,009$ ; DO 0,046) muestran una inhibición similar a la observada con tetraciclina ( $\pm 0,06$ ; DO 0,08). Además, la concentración mínima inhibitoria (CMI) del extracto se establece en 10  $\mu\text{g/mL}$  ( $\pm 0,02$ ; DO 0,338), al compararse con el medio sin extracto ( $\pm 0,03$ ; DO 1,15).

En cuanto al efecto bactericida (Figura 2) se determina que la concentración mínima bactericida (CMB) del extracto de maqui es de 100  $\mu\text{g/mL}$ , donde no se detecta crecimiento bacteriano (UFC = 0;  $\pm 0,006$ ). Sin embargo, en las demás concentraciones del extracto vegetal aún se permite el crecimiento de colonias, aunque este disminuye progresivamente a medida que aumenta la concentración. Este comportamiento evidencia un efecto significativo del extracto en la formación de colonias bacterianas ( $p < 0,001$ ).

Respecto a la formación de biofilm por parte de *E. coli*, se evidenció un efecto inhibitorio del extracto vegetal de maqui, el cual aumentó significativamente con la concentración ( $p = 0,04$ ). Este fenómeno se puede observar visualmente en la Figura 3, donde los pocillos teñidos con cristal violeta muestran una disminución en la intensidad de la tinción a partir de 10  $\mu\text{g/mL}$  de extracto, lo que indica una menor formación de esta estructura. En contraste, los pocillos sin extracto presentan una tinción más intensa, lo que sugiere una mayor adherencia y agrupación celular. Este comportamiento también se refleja en los valores de densidad óptica (Figura 4), donde se aprecia una disminución gradual en la formación de biofilm desde los 10  $\mu\text{g/mL}$  hasta alcanzar los 60  $\mu\text{g/mL}$ , y sobre 80  $\mu\text{g/mL}$  no se detectó formación del mismo.



**Figura 1.** Densidad óptica de las diferentes concentraciones del extracto de maqui (*Aristolotelia chilensis*), control positivo (Tetraciclina) y control negativo (*Escherichia coli* sin extracto) a las 24 horas de incubación.

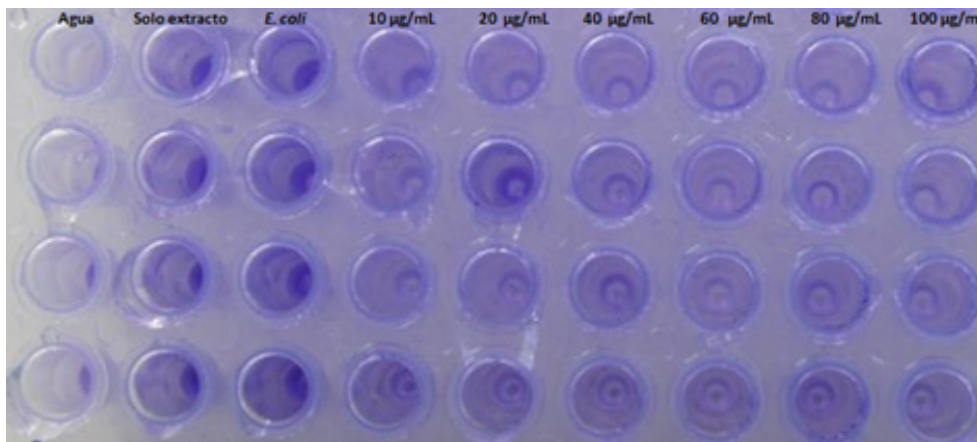


**Figura 2.** Efecto de las diferentes concentraciones del extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) en el crecimiento bacteriano de *Escherichia coli* cuantificado por Unidades formadoras de colonias (UFC).

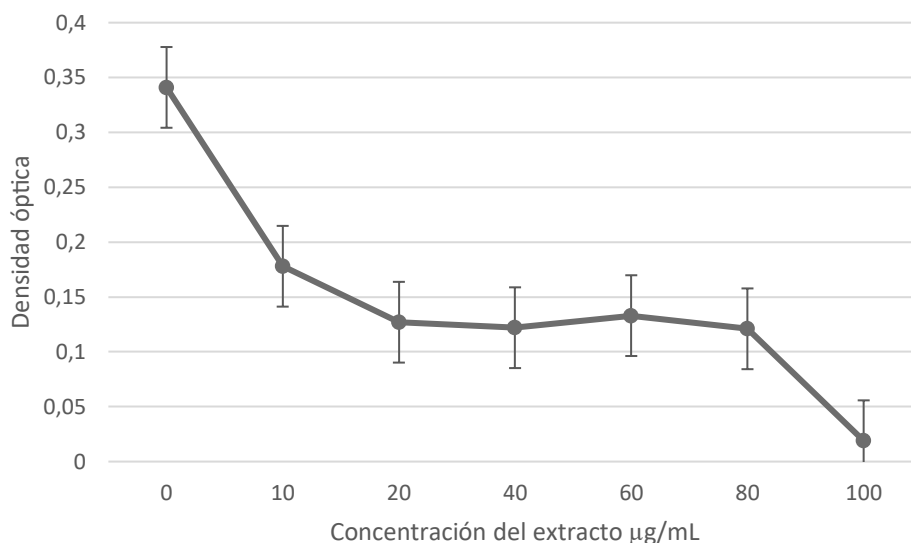
## Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el extracto de maqui presenta una actividad antibacteriana alta frente a *E. coli*, lo cual sugiere su potencial como agente antimicrobiano natural, un resultado similar se evidenció en una investigación donde se demostró la utilidad antimicrobiana de diversos extractos vegetales como *Punica granatum*, *Acacia catechu* y *Phyllanthus emblica*, contra el crecimiento de *E. coli* y *Staphylococcus aureus*, siendo muy eficaces para contrarrestar el crecimiento y propagación<sup>19</sup>. Otros autores por su parte, informaron sobre el uso tradicional y la efectividad de extractos de plantas africanas contra bacterias en heridas postoperatorias, lo cual refuerza la idea del uso de plantas en la medicina antimicrobiana, sobre todo por su bajo costo y fácil acceso<sup>20</sup>.

De igual manera, un estudio revisó el potencial antioxidante y antimicrobiano de distintas bayas nativas sudamericanas, en donde su actividad antibacteriana ha sido reconocida históricamente por la medicina popular natural<sup>21</sup>. Destacando al maqui por su alta concentración de polifenoles y antocianinas, compuestos relacionados con mecanismos de acción antimicrobiana, por su capacidad de modificar la permeabilidad de la membrana celular, lo que podría interferir con la síntesis de proteínas o generar estrés oxidativo en las células microbianas<sup>22,23</sup>. Una investigación similar, describió que concentraciones de un extracto vegetal de Granada con un 50% de taninos tenía la capacidad de desestabilizar la membrana celular de bacterias Gram negativas



**Figura 3.** Actividad antibiofilm a distintas concentraciones de extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) sobre formación de biofilm de *Escherichia coli* con colorante cristal violeta.



**Figura 4.** Efecto de las diferentes concentraciones del extracto de maqui (*Aristotelia chilensis*) en la formación de biofilm por parte de la bacteria *Escherichia coli*.

como *E. coli*, afectando su viabilidad e inhibiendo su crecimiento, generando un halo de inhibición mayor que antibióticos como la tetraciclina  $30,3 \pm 0,3$  mm y  $12,1 \pm 0,5$  respectivamente<sup>24</sup>.

En un estudio realizado en China se logró inhibir el crecimiento de *E. coli* usando concentraciones mayores a 1.0 mg/mL de aceite esencial de jengibre, con valores de 2,0 mg/mL y 4,0 mg/mL para la CMI y CMB, respectivamente; mediante electroforesis se cuantificó una gran cantidad de proteínas libre determinándose que el extracto desnatura proteínas integrales y por tanto la estructura de la membrana<sup>25</sup>.

Con respecto a la actividad antibiofilm del maqui esta fue aumentando a medida que aumentaba la concentración del extracto, un resultado similar se encontró en una investigación en el año 2024 donde a concentraciones mayores a  $\geq 250$  µM las células bacterianas presentes en la orina inhibían su capacidad antiadherente a nivel *in vitro* sugiriendo que los compuestos fenólicos como flavonoides y ácido fenólicos presentes en estas plantas tiene la capacidad de alterar la formación del biofilm<sup>26</sup>. En otro estudio se evidenció que el compuesto fenólico *Resveratrol* en concentraciones mayores a 3,2 g/L inhibieron crecimiento y formación de biofilm o biofilm preformados en los cultivos bacterianos de *Staphylococcus aureus* y *E. coli*<sup>27</sup>. En una publicación del 2025 se aislaron cinco compuestos fenólicos de la planta *Origanum majorana* apigenina 7, glucósido y ácido rosmarínico los cuales inhibieron del 24,8 al 49,8% de la formación de biofilm, específicamente al influir en la acción quorum y síntesis de factores de virulencia<sup>28</sup>.

Es así como los hallazgos de esta investigación refuerzan la creciente evidencia científica que respalda el uso de extractos vegetales como una alternativa natural eficiente contra bacterias resistentes, particularmente *E. coli*. La actividad antibiofilm observada en el extracto de maqui no solo confirma su potencial terapéutico, que abre nuevas líneas de investigación en fitoterapia y microbiología. Su aplicación podría ser especialmente relevante en el contexto actual de resistencia antimicrobiana, donde los tratamientos convencionales han perdido efectividad. El uso de una planta nativa como el maqui, además, representa una oportunidad para aprovechar recursos locales de forma sostenible y preservar la importancia botánica de estas plantas.

A pesar de los resultados relevantes del estudio presenta algunas limitaciones importantes. En primer lugar, al tratarse de una investigación *in vitro*, no se puede garantizar que los efectos observados se repliquen de la misma forma en organismos vivos, por lo que se requieren estudios *in vivo* que permitan validar la actividad bioactiva en contextos más complejos. Además, el proceso de extracción no fue estandarizado, lo que puede influir en la reproducibilidad de los resultados.

Finalmente, no se identificaron de forma específica los compuestos activos responsables de la actividad antibiofilm, lo cual limita la comprensión precisa del mecanismo de acción observado. Por ello, se recomienda que futuras investigaciones incluyan pruebas estandarizadas para la obtención, aislamiento y cuantificación de los principales componentes bioactivos presentes en el extracto vegetal. Esto permitirá evaluar su efectividad de manera más específica, contribuyendo así al desarrollo de terapias naturales seguras y eficaces para el tratamiento de infecciones del tracto urinario.

## Conclusión

Los resultados refuerzan la creciente evidencia de que los extractos vegetales, y en particular el maqui (*Aristotelia chilensis*), poseen un potencial prometedor como agente antimicrobiano y antibiofilm natural. Su utilidad adquiere relevancia en el contexto actual de creciente resistencia a los antibióticos, ya que los extractos vegetales podrían representar una fuente sólida y

efectiva de nuevas alternativas terapéuticas y abrir nuevas vías de investigación en el ámbito de la fitoterapia. Además, el maqui, al ser una planta nativa de Chile, representa una opción accesible y culturalmente aceptada para el desarrollo de productos naturales con aplicaciones clínicas.

**Conflicto de intereses:** Los autores deben declarar de no tener ningún conflicto de intereses

**Declaración sobre uso de IA:** En el curso del desarrollo de este trabajo, los autores utilizaron LANGUAGETOOL para corregir ortografía y gramática. Tras el uso de esta herramienta/servicio, el autor o autores revisaron y modificaron cuidadosamente el contenido y asumen la responsabilidad total de los contenidos de la publicación.

## Referencias bibliográficas

1. Carriel Álvarez MG, Ortiz JG. Prevalencia de infección del tracto urinario y perfil de susceptibilidad antimicrobiana en Enterobacterias. *Vive Rev Salud.* 2021;4(11):104-15. doi:10.33996/revistavive.v4i11.89.
2. Macías Looor NE, Alcivar Arauz AG, Ruiz Álava KJ, Azúa Menéndez IM del J. Infección del tracto urinario: inmunidad y mecanismo de infección. *Higia.* 2023 Jun 27;8(1). doi:10.37117/higia.v8i1.801.
3. Escandell-Rico FM, Pérez-Fernández L. Infecciones del tracto urinario: etiología y susceptibilidades antimicrobianas. *Rev Pediatr Aten Primaria.* 2022 Dec;24(96):e355-e362. doi:10.32641/rchped.v24i96.355.
4. Pigrau C, Escolà-Vergé L. Infecciones urinarias recurrentes: desde la patogenia a las estrategias de prevención. *Med Clin (Barc).* 2020;155(4):171-7. doi:10.1016/j.medcli.2020.04.026.
5. Aniba R, Dihmane A, Raqraq H, Ressmi A, Nayme K, Timinouni M, et al. Exploring Staphylococcus in urinary tract infections: A systematic review and meta-analysis on the epidemiology, antibiotic resistance and biofilm formation. *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2024;110(4):116470. doi:10.1016/j.diagmicrobio.2024.116470.
6. Sher EK, Džidić-Krivić A, Sesar A, Farhat EK, Čeliković A, Beća-Zećo M, et al. Current state and novel outlook on prevention and treatment of rising antibiotic resistance in urinary tract infections. *Pharmacol Ther.* 2024;261:108688. doi:10.1016/j.pharmthera.2024.108688.
7. Romero-González AT. Biofilm y resistencia antimicrobiana. *AMC.* 2020 [cited 2025 Aug 12];24(4). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-02552020000400001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552020000400001)
8. Park J, Xiang Z, Liu Y, Li CH, Chen C, Nagaraj H, et al. Surface-charge tuned polymeric nanoemulsions for carvacrol delivery in interkingdom biofilms. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2024;16(29):37613-22. doi:10.1021/acsmi.4c06618.
9. Sosa-Flores JL, Chapañan-Mendoza JF. Resistencia antibiótica de *Escherichia coli*, según producción de betalactamasas de espectro extendido, en urocultivos. *Hospital III-1. Chiclayo, Perú* 2020. *Rev Cuerpo Med HNAAA.* 2023;15(4):598-603. doi:10.35434/rmhnaaa.2022.154.1627.
10. Ahmed HY, Salih RH, Salih AH. Evaluation of local *Origanum vulgare* aqueous extract for eradication of biofilm production bacteria. *Egypt J Chem.* 2022;65(2):413-9. doi:10.21608/ejchem.2021.87568.4226.
11. Grande R, Puca V, Muraro R. Antibiotic resistance and bacterial biofilm. *Expert Opin Ther Pat.* 2020;30(12):897-900. doi:10.1080/13543776.2020.1830060.
12. Silva E, Teixeira JA, Pereira MO, Rocha CMR, Sousa AM. Evolving biofilm inhibition and eradication in clinical settings through plant-based antibiofilm agents. *Phytomedicine.* 2023;119:154973. doi:10.1016/j.phymed.2023.154973.
13. Guedes BN, Krambeck K, Durazzo A, Lucarini M, Santini A, Oliveira MBPP, et al. Natural antibiotics against antimicrobial resistance: sources and bioinspired delivery systems. *Braz J Microbiol.* 2024;55(3):2753-66. doi:10.1007/s42770-024-01410-1.
14. Garrido Makinistian F, Sette P, Gallo L, Bucalá V, Salvatori D. Optimized aqueous extracts of maqui (*Aristotelia chilensis*) suitable for powder production. *J Food Sci Technol.* 2019;56(7):3553-60. doi:10.1007/s13197-019-03840-4.
15. Rivera-Tovar PR, Torres MD, Camilo C, Mariotti-Celis MS, Domínguez H, Pérez-Correa JR. Multi-response optimal hot pressurized liquid recovery of extractable polyphenols from leaves of maqui (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz). *Food Chem.* 2021;357:129729. doi:10.1016/j.foodchem.2021.129729.
16. Acosta Zambrano MD, Rodriguez A, Benavides-Valenzuela S. Extracto hidroalcohólico de *Eucalyptus globulus*: una alternativa para prevenir la formación de la placa bacteriana a través del control de *Streptococcus mutans*. *Rev Cuba Plant Med.* 2024 [cited 2025 Aug 12];28(2):1-18. Available from: <https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/1456/525>
17. Maramba-Lazarte CC, Cavinta LL, Sara MCL. Actividad antibacteriana de los extractos de hojas de Guyabano, Ulasimang Bato, Sambong y Tsaang Gubat contra bacterias comunes resistentes a los medicamentos. *Acta Med Philipp.* 2020;54(1):17-21. doi:10.47895/amp.v54i1.1087.
18. Velázquez G, Ortega Morente E, Cobo Molinos A, Pérez Armendariz B. Actividad antimicrobiana y antibioplícula del extracto vegetal *Sambucus canadensis* en bacterias patógenas transmitidas por alimentos. *Biotecnología.* 2023;25(3):176-83. doi:10.18633/biotecnologia.v25i3.2115.
19. Imran M, Khan AS, Khan MA, Saeed MU, Noor N, Warsi MH, et al. Antimicrobial activity of different plant extracts against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Polim Med.* 2021;51(2):69-75. doi:10.17219/pim/143424.
20. Owusu E, Ahorlu MM, Afutu E, Akumwena A, Asare GA. Antimicrobial activity of selected medicinal plants from a sub-saharan African country against bacterial pathogens of postoperative wound infections. *Med Sci (Basel).* 2021;9(2):23. doi:10.3390/medsci9020023.
21. Vega-Galvez A, Rodríguez A, Stucken K. Antioxidant, functional properties and health-promoting potential of native South American berries: A review. *J Sci Food Agric.* 2021;101(2):364-78. doi:10.1002/jsfa.10621.
22. Lucas-Bautista JA, Cárdenas-Valdovinos JG, Mena-Violante HG, Pacheco-Aguilar JR, Mendoza S. Antimicrobial activity of berries anthocyanin extracts against phytopathogenic bacteria. *J Mex Chem Soc.* 2025;69(3):542. doi:10.29356/jmcs.v69i3.2322.
23. Hamdi Abdulkareem M, Abbas Abood I, Munis Dakheel M. Antimicrobial resistance of tannin extract against *E. coli* isolates from sheep. *Arch Razi Inst.* 2022;77(2):697-701. doi:10.22092/ARI.2022.356982.1955.
24. Wang X, Shen Y, Thakur K, Han J, Zhang JG, Hu F, et al. Antibacterial activity and mechanism of ginger essential oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Molecules.* 2020;25(17):3955. doi:10.3390/molecules25173955.
25. Ruan X, Deng X, Tan M, Wang Y, Hu J, Sun Y, et al. Effect of resveratrol on the biofilm formation and physiological properties of avian pathogenic *Escherichia coli*. *J Proteomics.* 2021;249:104357. doi:10.1016/j.jpropt.2021.104357.
26. Kincses A, Ghazal TSA, Veres K, Spengler G, Hohmann J. Phenolic compounds from *Origanum majorana* with biofilm-inhibitory activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* strains. *Pharm Biol.* 2025;63(1):402-10. doi:10.1080/13880209.2025.2511805.
27. González de Llano D, Moreno-Arribas MV, Bartolomé B. Cranberry polyphenols and prevention against urinary tract infections: relevant considerations. *Molecules.* 2020;25(15):3523. doi:10.3390/molecules25153523.
28. Asadi S, Nayeri-Fasaei B, Zahraei-Salehi T, Yahya-Rayat R, Shams N, Sharifi A. Antibacterial and anti-biofilm properties of carvacrol alone and in combination with cefixime against *Escherichia coli*. *BMC Microbiol.* 2023;23(1):55. doi:10.1186/s12866-023-02797-x.