

**Actividad antimicrobiana de jabones antibacteriales comerciales frente a
Escherichia coli, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*: estudio
comparativo in vitro**

Antimicrobial Activity of Commercial Antibacterial Soaps Against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*: An In Vitro Comparative Study

El Comité Editorial de la revista Ustasalud aprueba la publicación anticipada del presente manuscrito dado que ha culminado el proceso editorial de forma satisfactoria. No obstante, advierte a los lectores que esta versión en PDF es provisional y puede ser modificada al realizar la Corrección de Estilo y la diagramación del documento.

DOI: <http://doi.org/10.15332/us.v24i1.3344>

Publicación en línea: 30 de abril de 2025

Andrés Felipe Fuentes Lopera <https://orcid.org/0009-0002-3463-4346>

Estudiante, Bacteriólogo y laboratorista clínico, Universidad de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.

Jairo Enrique Mateus Sánchez <https://orcid.org/0000-0001-6438-2165>

Bacteriólogo y laboratorista clínico, MSc. Ciencias Básicas Biomédicas, Profesor asociado, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.

Correo electrónico: jmateus@unab.edu.co

María Eugenia Cárdenas Angelone <https://orcid.org/0000-0002-9638-9529>

Bacterióloga y laboratorista clínico, MSc. Microbiología, Profesora asociada, Medicina, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.

Correo electrónico: mcarden1@unab.edu.co

Paula Fernanda Arciniegas Cadena <https://orcid.org/0009-0004-4172-3042>

Estudiante, Medicina, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.

Correo electrónico: parciniegas@unab.edu.co

Autor de correspondencia: Correo electrónico: jmateus@unab.edu.co

Citación: Fuentes Lopera AF, Mateus Sánchez JM, Cárdenas Angelone ME, Arciniegas Cadena PF. Actividad antimicrobiana de jabones antibacteriales comerciales frente a *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*: estudio comparativo in vitro. *Ustasalud* 2025; 24 (1). <http://doi.org/10.15332/us.v24i1.3344>

Recibido: 2 julio de 2024. **Aceptado:** 2 agosto de 2024

Resumen

Introducción. El lavado de manos sigue siendo una técnica fundamental en la prevención de enfermedades infecciosas. Los jabones comercializados como antibacteriales incorporan compuestos con actividad antimicrobiana que podría ser una alternativa más eficaz que los jabones convencionales. No obstante, la evidencia disponible sobre su efectividad frente a bacterias de importancia clínica es limitada y heterogénea. **Objetivo.** Evaluar la actividad antimicrobiana de cinco jabones antibacterianos comerciales, frente a cepas ATCC de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*. **Materiales y métodos.** Estudio in vitro para evaluar la actividad de cinco jabones antibacteriales comerciales, frente a cepas ATCC de: *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) y *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) utilizando la técnica de difusión en disco. **Resultados.** El jabón quirúrgico con clorhexidina presentó la mayor actividad frente a las tres cepas. Los jabones comerciales mostraron actividad limitada y no evidenciaron ventajas claras frente al jabón convencional. **Conclusiones.** El uso de jabones comerciales promocionados como antibacteriales no mejora los resultados obtenidos con jabones que no contienen agentes antimicrobianos. En ambientes hospitalarios, se recomienda el uso de jabones quirúrgicos con clorhexidina.

Palabras claves: jabones, agente antibacteriano, desinfección de las manos, infecciones comunitarias adquiridas

Abstract

Introduction. Hand hygiene remains one of the most effective measures for preventing infectious diseases. Commercially marketed antibacterial soaps contain antimicrobial agents that may provide greater protection against pathogenic microorganisms than conventional soaps. Nevertheless, the evidence supporting their effectiveness against clinically relevant bacterial pathogens remains limited and inconsistent. **Objective.** To evaluate the antimicrobial activity of five commercially available antibacterial soaps

against ATCC strains of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*. **Materials and Methods.** An in vitro study was conducted to assess the antimicrobial activity of five commercial antibacterial soaps against ATCC strains of *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), and *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) using the disk diffusion method. **Results.** The chlorhexidine-based surgical soap exhibited the highest antimicrobial activity against all three bacterial strains. Commercial antibacterial soaps demonstrated limited activity and did not show clear advantages over conventional soap. **Conclusions.** The use of commercially marketed antibacterial soaps did not improve the results obtained with soaps that do not contain antimicrobial agents. The use of surgical soaps containing chlorhexidine is recommended.

Keywords: Soaps, Anti-bacterial agents, Hand disinfection, Community-acquired infections.

Introducción

La higiene de manos constituye una de las intervenciones más efectivas para prevenir la transmisión de microorganismos patógenos y reducir la incidencia de enfermedades infecciosas tanto en la comunidad como en los entornos de atención en salud. La Organización Mundial de la Salud ha reconocido el lavado de manos como una medida fundamental para interrumpir la cadena de transmisión de agentes infecciosos, especialmente aquellos asociados con infecciones respiratorias, gastrointestinales y relacionadas con la atención sanitaria [1,2].

Con el propósito de mejorar la eliminación de microorganismos, la industria ha desarrollado diversos productos comercializados como jabones antibacteriales, formulados con compuestos activos como clorhexidina, triclosán, triclocarbán y amonios cuaternarios, los cuales ejercen su acción mediante la alteración de la membrana celular bacteriana o la inhibición de procesos metabólicos esenciales [3,4]. Estos productos se han promovido como alternativas más eficaces que los jabones convencionales para reducir la carga microbiana cutánea; no obstante, la evidencia disponible sugiere que no

presentan ventajas significativas en condiciones de uso habitual [5]. A pesar de ello, su uso se ha expandido ampliamente en el ámbito doméstico, así como en entornos institucionales, impulsado por la percepción de mayor protección frente a infecciones [6].

Sin embargo, la evidencia científica disponible sobre la eficacia de los jabones antibacteriales (espectro de acción sobre bacterias), antimicrobianos (incluye además inhibición de virus y hongos) y antisépticos (de amplio especto y se aplica sobre la piel o tejido vivo), en comparación con los jabones convencionales continúa siendo controversial. Diversos estudios han reportado resultados heterogéneos respecto a su capacidad para inhibir microorganismos de importancia clínica, sugiriendo que la presencia de ingredientes con actividad antimicrobiana no siempre se traduce en una mayor eficacia microbiológica. Adicionalmente, algunas investigaciones han cuestionado si las ventajas atribuidas a estos productos son clínicamente relevantes bajo condiciones reales de uso [7,8].

Aunque los jabones comerciales promocionados como antibacteriales son ampliamente utilizados por la población, son escasos los estudios independientes que comparan su actividad antimicrobiana frente a microorganismos de relevancia clínica utilizando condiciones experimentales estandarizadas. Esta limitación dificulta la valoración objetiva de su efectividad y restringe la disponibilidad de información científica para orientar la selección de productos destinados a la higiene de manos [9,10].

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la actividad antimicrobiana de cinco jabones comerciales promocionados como antibacteriales frente a cepas de referencia de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, utilizando la técnica de difusión en disco como método de evaluación microbiológica

Materiales y métodos.

Este es un estudio clasificado como experimental in vitro comparativo para evaluar el comportamiento de cepas de referencia de tres microorganismos de importancia clínica frente a jabones comerciales.

Microorganismos

Se utilizaron cepas de referencia de *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 12600) y *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), obtenidas de los laboratorios de microbiología de la Universidad Autónoma de Bucaramanga y la Universidad de Santander.

Las cepas fueron cultivadas en agar Mueller-Hinton de 18 a 24 horas a 37 grados centígrados y ajustadas en solución salina a una turbidez equivalente al estándar 0,5 de McFarland para la inoculación.

Jabones evaluados

Se analizaron seis jabones líquidos comerciales, clasificados como:

- Jabón sin actividad antimicrobiana reportada (n=1)
- Jabones antibacteriales (n=4)
- Jabón antiséptico (n=1)

La selección se realizó por disponibilidad comercial con base en la composición declarada por el fabricante.

Preparación de las soluciones de los jabones

Se realizaron diluciones seriadas en tubos Falcon de plástico estériles utilizando agua destilada como diluyente.

Se partió de una dilución inicial 1:1, a partir de la cual se realizaron diluciones (1:2) consecutivas hasta 1:128 para *E. coli* y *P. aeruginosa* y hasta 1:256 para *S. aureus*. Para gentamicina, la concentración mínima inhibitoria de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* fue de 2.5 µg/mL, mientras que la de *Pseudomonas aeruginosa* fue de 5 µg/mL.

Control positivo y negativo

Para el grupo control positivo se manejó un sensidisco impregnado con Gentamicina a una concentración de 2,5 µg/ml. Por otra parte, como control negativo se usó un sensidisco sin impregnar.

Ensayo de difusión en agar

La actividad antimicrobiana se evaluó mediante el método de difusión en agar tipo Kirby-Bauer modificado.

Se inocularon placas de agar Mueller-Hinton con cada microorganismo, distribuyendo homogéneamente el inóculo. Posteriormente, se colocaron discos estériles impregnados con las distintas diluciones de jabones.

Las placas se incubaron a 37°C durante 24 horas. Se midió el diámetro de los halos de inhibición en milímetros.

Cada ensayo se realizó por triplicado. La sensibilidad se consideró como un halo igual o superior a 6 mm. Así, cualquier halo de inhibición mayor a 6 mm se consideró como actividad antimicrobiana.

Análisis de los datos

Los diámetros de los halos de inhibición se expresaron como media y desviación estándar (DE). Se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El análisis se realizó utilizando software estadístico STATA 14.0.

Resultados

Actividad del Jabón antiséptico

El jabón antiséptico a base de clorhexidina al 2% presentó la mayor actividad antimicrobiana frente a las tres cepas evaluadas. Se observó un comportamiento dependiente de la concentración, con reducción progresiva del diámetro de los halos de inhibición a medida que aumentaba la dilución.

Frente a *E. coli*, el jabón evidenció actividad antimicrobiana hasta la dilución 1/64, con un diámetro de inhibición de 13,3 mm, reduciéndose hasta valores cercanos al control negativo en diluciones superiores. En el caso de *S. aureus*, se observó mayor susceptibilidad, con actividad conservada hasta la dilución 1/128 (10,6 mm). Por el contrario, *P. aeruginosa* mostró una menor sensibilidad, con actividad detectable únicamente hasta la dilución 1/16 (8,3 mm).

Estos resultados evidencian una mayor eficacia del jabón antiséptico en comparación con los otros productos evaluados, así como diferencias en la susceptibilidad entre los microorganismos (Tabla 1).

Tabla 1. Evaluación de la actividad del jabón antiséptico frente a las cepas ATCC

Diámetros del halo de inhibición (mm)			
Diluciones del jabón	<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	<i>Staphylococcus aureus</i> (<i>S. aureus</i>)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (<i>P. aeruginosa</i>)
1/4	28(0,6)	-	12,3(0,6)
1/8	23,6(0,6)	30,6	9,6
1/16	20,6(1,1)	27,3	8,3(0,6)
1/32	18,3(0,6)	22,6	6(0)
1/64	13,3(0,6)	15,3	6(0)
1/128	6(0)	10,6	6(0)
1/256	Sin crecimiento	6	Sin crecimiento

Actividad de los jabones antibacteriales

Los jabones antibacteriales presentaron una actividad antimicrobiana limitada y variable entre productos y microorganismos evaluados (Tabla 2).

El jabón No. 1 mostró actividad únicamente en la dilución sin diluir (1/1) frente a *E. coli* (8,3 mm) y *P. aeruginosa* (6,6 mm), sin evidencia de inhibición frente a *S. aureus*.

El jabón No. 2 evidenció mayor actividad relativa, con inhibición frente a las tres cepas bacterianas. En *E. coli*, la actividad se limitó a la dilución 1/1 (9 mm); en *S. aureus*, se mantuvo hasta la dilución 1/2 (7,3 mm); y en *P. aeruginosa*, se observó inhibición tanto en la dilución 1/1 (8 mm) como en 1/2 (7 mm).

El jabón No. 3 presentó actividad frente a las tres cepas en la dilución sin diluir, con diámetros de inhibición de 7 mm para *E. coli*, 9,3 mm para *S. aureus* y 7,6 mm para *P. aeruginosa*. La actividad se redujo notablemente en la dilución 1/2.

Por su parte, el jabón No. 4 mostró actividad antimicrobiana únicamente en la dilución 1/1 frente a las tres bacterias, con mayor efecto frente a *S. aureus* (10,6 mm), y valores cercanos al control negativo en las demás condiciones. En términos generales, los jabones antibacteriales mostraron halos de inhibición de baja magnitud, generalmente cercanos al diámetro del disco (6 mm), lo que indica una actividad antimicrobiana limitada en condiciones experimentales.

Tabla 2. Evaluación de la actividad de jabones antibacteriales.

Diámetros del halo de inhibición (mm)			
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
No 1			
B 1/1	8,3	6	6,6
B 1/2	6	6	6
C+	11,3	8,6	7,3
C-	6	6	6
No 2			
M 1/1	9	10,6	8
M 1/2	6	7,3	7
C+	10	8,3	8
C-	6	6	6
No 3			
P1/1	7	9,3	7,6
P1/2	6	6	7
C+	10	9,33	7,3
C-	6	6	6
No 4			
S1/1 a	7	10,6	7
S1/2 c	6	6	6
C+	11	8,6	8
C-	6	6	6

Nota: C+: control positivo, C-: control negativo, M-B-P-S: inicial del jabón respectivo

Actividad del jabón no antibacterial

El jabón convencional no antibacterial presentó ausencia de actividad antimicrobiana frente a *E. coli* y *P. aeruginosa*, evidenciada por diámetros de inhibición equivalentes al control negativo en todas las condiciones (Tabla 3).

Únicamente se observó un halo de inhibición frente a *S. aureus* en la dilución sin diluir (1/1), con un diámetro de 7 mm, valor ligeramente superior al control negativo, lo que sugiere una actividad mínima.

Tabla 3. Evaluación de la actividad del jabón no antibacterial.

Diámetros del halo de inhibición (mm)			
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
A 1/1	6	7	6
A 1/2	6	6	6
C+	11	9,6	7,3
C-	6	6	6

Discusión

El término “antibacterial” se refiere a aquellos productos capaces de inhibir o reducir el crecimiento bacteriano en la piel y mucosas, manteniéndolo dentro de niveles considerados seguros durante un periodo determinado; el término antiséptico corresponde a aquellas sustancias que aplicadas en piel o tejidos vivos con un espectro de acción más amplio que incluye otros microorganismos como hongos y virus. La selección del producto más adecuado ha adquirido relevancia debido a la amplia disponibilidad de formulaciones en el mercado, la promoción basada en su eficacia antimicrobiana y la variabilidad en las recomendaciones de uso. En este contexto, los productos destinados a la higiene de manos deben cumplir criterios fundamentales como un amplio espectro de acción, baja toxicidad, accesibilidad económica y un bajo potencial de inducir resistencia bacteriana. No obstante, la actividad de estos productos puede ser heterogénea, ya que algunas formulaciones presentan acción de amplio espectro, mientras que otras muestran eficacia dirigida hacia microorganismos específicos [3, 9].

Los resultados obtenidos evidencian que los jabones cosméticos promocionados como antibacteriales presentan una menor actividad antimicrobiana en comparación con los jabones antisépticos que contienen compuestos con eficacia ampliamente documentada, como la clorhexidina. En condiciones sin dilución, los jabones antibacteriales evaluados mostraron capacidad de inhibición frente a la mayoría de las cepas, con excepción de algunas variaciones específicas, como la ausencia de actividad del jabón No. 1 frente a *S. aureus*. Sin embargo, al aumentar la dilución, se observó una pérdida significativa de la actividad antimicrobiana en la mayoría de los productos, lo que sugiere una limitada eficacia bajo condiciones de uso menos concentradas.

Estos hallazgos son consistentes con la evidencia que indica que los jabones antibacteriales de uso doméstico presentan una actividad microbiológica inferior y menos persistente en comparación con los antisépticos clínicos, especialmente aquellos basados en clorhexidina, los cuales poseen efecto residual y mayor capacidad de reducción bacteriana [3,5,10,11].

Staphylococcus aureus es uno de los patógenos más importantes asociados a infecciones de piel y tejidos blandos, además de causar enfermedades invasivas graves como bacteriemia, endocarditis y síndrome de choque tóxico [12]. La elevada susceptibilidad observada en este estudio frente a los diferentes jabones evaluados podría explicarse, al menos en parte, por las características estructurales de las bacterias grampositivas. A diferencia de las bacterias gramnegativas, *S. aureus* carece de una membrana externa rica en lipopolisacáridos, lo que facilita la acción de diversos agentes antimicrobianos sobre la pared celular y la membrana citoplasmática [13]. Esta diferencia estructural podría contribuir a explicar la mayor actividad observada frente a *S. aureus* en comparación con microorganismos gramnegativos como *Pseudomonas aeruginosa*.

Pseudomonas aeruginosa es un patógeno oportunista ampliamente distribuido en el ambiente, presente en agua, suelo y entornos hospitalarios. Se caracteriza por su elevada resistencia a múltiples agentes antimicrobianos, atribuida a mecanismos intrínsecos como la baja permeabilidad de su membrana externa, la presencia de bombas de eflujo y la capacidad de formar biopelículas. Estos factores contribuyen a su persistencia en superficies y a la limitada eficacia de diversos agentes antimicrobianos,

lo que explica la menor susceptibilidad observada en el presente estudio. Clínicamente, este microorganismo está asociado con infecciones en pacientes inmunocomprometidos, incluyendo infecciones respiratorias, urinarias, cutáneas y bacteriemia, lo que resalta la importancia de estrategias de control microbiológico efectivas [14- 18].

El presente estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, al tratarse de un ensayo in vitro, las condiciones experimentales no reproducen completamente la complejidad del entorno clínico o del uso cotidiano de los productos, donde factores como la fricción mecánica, el tiempo de contacto y la carga orgánica pueden influir en la eficacia antimicrobiana [18-19]. Asimismo, los métodos de difusión en agar utilizados para evaluar la actividad antimicrobiana, aunque ampliamente empleados, pueden verse afectados por variables como el medio de cultivo, la difusión de los compuestos y la estandarización experimental, lo que podría influir en la medición de los halos de inhibición [20-21]. Adicionalmente, las condiciones in vitro no reflejan completamente la resistencia observada en condiciones reales, donde la formación de biopelículas puede modificar significativamente la respuesta a los agentes antimicrobianos [22-23].

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos del estudio aportan evidencia relevante sobre la variabilidad en la actividad antimicrobiana de los jabones comerciales, destacando la superioridad de los productos antisépticos con agentes como la clorhexidina frente a los jabones antibacteriales de uso cosmético. Desde una perspectiva de salud pública, estos resultados sugieren la necesidad de promover el uso adecuado de productos de higiene de manos basados en evidencia, evitando una sobreestimación de la eficacia de los jabones antibacteriales convencionales. En el ámbito clínico y educativo, especialmente en áreas como la odontología, estos hallazgos pueden contribuir a la selección más racional de productos de higiene, favoreciendo aquellos con eficacia demostrada. Finalmente, se requieren estudios adicionales, tanto in vitro bajo condiciones estandarizadas como en escenarios clínicos, que permitan evaluar la efectividad real de estos productos y su impacto en la reducción de infecciones.

Conclusión

La selección del jabón de higiene de manos con eficacia antimicrobiana demostrada constituye un componente fundamental para controlar la transmisión de microorganismos.

Los hallazgos de este estudio indican que, si bien los jabones presentan actividad frente a las cepas analizadas en condiciones de laboratorio, su efectividad podría disminuir significativamente en el uso cotidiano debido a la dilución.

Estos resultados subrayan la necesidad de tener en cuenta tanto la concentración del producto como la sensibilidad de las distintas cepas bacterianas, a fin de asegurar una desinfección eficaz en contextos de higiene personal y atención en salud.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses en este manuscrito.

Bibliografía

1. World Health Organization; United Nations Children's Fund (UNICEF). Global guidelines on hand hygiene in community settings. Geneva: World Health Organization; 2025. Available from: <https://www.who.int>
2. Ross I, Bick S, Ayieko P, Dreibelbis R, Wolf J, Freeman MC, et al. Effectiveness of handwashing with soap for preventing acute respiratory infections in low-income and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*. 2023;401(10389):1681–1690. doi:10.1016/S0140-6736(23)00021-1
3. Kampf G, Kramer A. Epidemiologic background of hand hygiene and evaluation of the most important agents for scrubs and rubs. *Clin Microbiol Rev*. 2004;17(4):863–893. doi:10.1128/CMR.17.4.863-893.2004
4. Giuliano CA, Rybak MJ. Efficacy of triclosan as an antimicrobial hand soap and its potential impact on antimicrobial resistance: a focused review. *Pharmacotherapy*. 2015;35(3):328–336. doi:10.1002/phar.1553

5. Kim SA, Moon H, Lee K, Rhee MS. Bactericidal effects of triclosan in soap both in vitro and in vivo. *J Antimicrob Chemother.* 2015;70(12):3345–3352. doi:10.1093/jac/dkv275
6. Ley C, Sundaram V, Sanchez ML, Desai M, Parsonnet J. Triclosan and triclocarban exposure, infectious disease symptoms and antibiotic prescription in infants: a community-based randomized intervention. *PLoS One.* 2018;13(6):e0199298. doi:10.1371/journal.pone.0199298
7. Montville, R., & Schaffner, D. W. (2011). A meta-analysis of the published literature on the effectiveness of antimicrobial soaps. *Journal of Food Protection*, 74(11), 1875–1882. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-11-122>
8. Santos Junior, C. J., Lins, F. C. C. O., Santos, P. O., Silva, V. B., Barros, Y. V. R., Araújo, M. A. S., Rocha, T. J. M., & Souza, A. K. P. (2024). Evaluation of antibacterial and antifungal activity of antimicrobial soaps. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e263364. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.263364>
9. Banik GR, Durayb B, King C, Rashid H. Antimicrobial resistance following prolonged use of hand hygiene products: a systematic review. *Pharmacy (Basel).* 2022;10(1):9. doi:10.3390/pharmacy10010009
10. Aiello AE, Larson EL, Levy SB. Consumer antibacterial soaps: effective or just risky? *Clin Infect Dis.* 2007;45(Suppl 2):S137–S147. doi:10.1086/519255
11. Widmer AF. Replace hand washing with use of a waterless alcohol hand rub? *Lancet Infect Dis.* 2000;356(9238):1307-8.
12. Tong SYC, Davis JS, Eichenberger E, Holland TL, Fowler VG Jr. *Staphylococcus aureus* infections: epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clin Microbiol Rev.* 2023;36(2):e00047-22. doi:10.1128/cmr.00047-22.
13. Mahlapuu M, Håkansson J, Ringstad L, Björn C. Antimicrobial peptides: an emerging category of therapeutic agents. *Front Cell Infect Microbiol.* 2023;13:1165832. doi:10.3389/fcimb.2023.1165832.
14. Thi MTT, Wibowo D, Rehm BHA. *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Int J Mol Sci.* 2020;21(22):8671. doi:10.3390/ijms21228671.
15. Horcajada JP, Montero M, Oliver A, Sorlí L, Luque S, Gómez-Zorrilla S, et al. Epidemiology and treatment of multidrug-resistant and extensively drug-resistant

- Pseudomonas aeruginosa infections. Clin Microbiol Rev. 2024;37(1):e0001323. doi:10.1128/cmr.00013-23.
16. Jurado-Martín I, Sainz-Mejías M, McClean S. Pseudomonas aeruginosa: an audacious pathogen with an adaptable arsenal of virulence factors. Int J Mol Sci. 2021;22(6):3128. doi:10.3390/ijms22063128.
17. Pang Z, Raudonis R, Glick BR, Lin TJ, Cheng Z. Antibiotic resistance in Pseudomonas aeruginosa: mechanisms and alternative therapeutic strategies. Front Cell Infect Microbiol. 2019;9:124. doi:10.3389/fcimb.2019.00124.
18. Moradali MF, Ghods S, Rehm BHA. Pseudomonas aeruginosa lifestyle: a paradigm for adaptation, survival, and persistence. Front Cell Infect Microbiol. 2017;7:39. doi:10.3389/fcimb.2017.00039.
19. Pang Z, Raudonis R, Glick BR, Lin TJ, Cheng Z. Antibiotic resistance in Pseudomonas aeruginosa: mechanisms and alternative therapeutic strategies. Front Cell Infect Microbiol. 2019;9:124. doi:10.3389/fcimb.2019.00124.
20. Nightingale CH. Clinical significance of pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions of antimicrobial agents. Am J Hosp Pharm. 1987;44(5):1043-50.
21. Balouiri M, Sadiki M, Ibnsouda SK. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: a review. J Pharm Anal. 2016;6(2):71-79. doi:10.1016/j.jpha.2015.11.005.
22. Martins KB, Ferreira AM, Pereira VC, Pinheiro L, de Oliveira A, Cunha MLRS. In vitro effects of antimicrobial agents on planktonic and biofilm forms of Staphylococcus aureus and Pseudomonas aeruginosa. Front Microbiol. 2019;10:40. doi:10.3389/fmicb.2019.00040.
23. Price L, MacDonald J, Gozdzielewska L, et al. Effectiveness of hand hygiene interventions in healthcare settings: an updated evidence review. Am J Infect Control. 2022;50(10):1154-1162. doi:10.1016/j.ajic.2022.04.015.