

EVALUACIÓN DE MOLÉCULAS DE ORIGEN NATURAL COMO TRATAMIENTO ALTERNATIVO CONTRA PATÓGENOS FÁRMACO-RESISTENTES

Goretti González Gómez ^a, Juan Pablo Armando Rodríguez Ramírez ^b, Daniela Calvillo Zacarías ^b, David Martínez Jiménez ^a, Priscila Ramírez Loya ^b, Francisco Javier Rangel Mata ^c, Mayra Cecilia Rodríguez Solís ^a, Luis Rafael Cardoso Reyes ^a, Juana López Godínez ^a, Patricia Nayeli Alva Murillo ^{a*}

^a Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Noria Alta S/N, CP 36050, Guanajuato, Gto. pn.alva@ugto.mx

^b Departamento de Farmacia, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Noria Alta S/N, CP 36050, Guanajuato, Gto.

^c Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus Campestre, Universidad La Salle Bajío. Av. Universidad 602, Lomas del Campestre, CP 37150, León de los Aldama, Gto.

Resumen

La resistencia a los antimicrobianos es una crisis sanitaria global que se presenta en la medicina humana y veterinaria. Al haber pocos medicamentos para combatir a los microorganismos patógenos, las infecciones son más difíciles de tratar, aumentando el riesgo de su propagación y de más muertes. Lo anterior, impulsa la búsqueda de alternativas terapéuticas, principalmente compuestos de origen natural, tales como la nisina y el octanoato de sodio. Ambos son compuestos generalmente reconocidos como seguros por la Administración de Alimentos y Medicamentos de EUA. Un patógeno de interés pecuario es la bacteria *Staphylococcus aureus*, causante de la mastitis bovina, con resistencia a antibióticos convencionales y capacidad de formar biopelículas reportadas. Este estudio evaluó el efecto antimicrobiano de la nisina y octanoato de sodio, solos y mezclados, sobre la biopelícula producida por cuatro aislados de *S. aureus*. La concentración mínima inhibitoria (CMI) y bactericida (CMB) de la nisina no varió entre los aislados, siendo de 500 y >1,000 µg/mL, respectivamente. La CMI y CMB de octanoato contra los aislados fue de 8.3 y 16.6 mg/mL, respectivamente. Además, este ácido graso interfirió en la biopelícula de *S. aureus*.

preformada. Se concluye que el octanoato es un agente prometedor, pero se requieren más estudios para optimizar su uso en aplicaciones clínicas y veterinarias frente a patógenos multirresistentes.

Palabras clave: *Staphylococcus aureus*; biopelícula; nisin; octanoato.

EVALUATION OF NATURAL-ORIGIN MOLECULES AS AN ALTERNATIVE TREATMENTS AGAINST DRUG-RESISTANT PATHOGENS

Abstract

Antimicrobial resistance is a global health crisis affecting both human and veterinary medicine. The limited availability of effective drugs to combat pathogenic microorganisms makes infections more difficult to treat, increasing the risk of their spread and leading to higher mortality rates. This situation has prompted the search for alternative therapeutic strategies, particularly compounds of natural origin, such as nisin and sodium octanoate. Both are classified as generally recognized as safe (GRAS) by the U.S. Food and Drug Administration (FDA). A livestock-relevant pathogen of concern is *Staphylococcus aureus*, the causative agent of bovine mastitis, which exhibits resistance to conventional antibiotics and can form biofilms. This study evaluated the antimicrobial effect of nisin and sodium octanoate, both individually and in combination, on the biofilms produced by four *S. aureus* isolates. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) of nisin were consistent across isolates, at 500 and >1,000 µg/mL, respectively. The MIC and MBC values of sodium octanoate against the isolates were 8.3 and 16.6 mg/mL, respectively. In addition, this fatty acid could disrupt preformed *S. aureus* biofilms. In conclusion, sodium octanoate appears to be a promising agent; however, further studies are needed to optimize its use in clinical and veterinary applications against multidrug-resistant pathogens.

Keywords: *Staphylococcus aureus*; biofilm; nisin; octanoate.

1. Introducción

La resistencia a los antimicrobianos (RAM) representa una de las mayores amenazas para la salud pública mundial, con proyecciones alarmantes por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que estima más de 10 millones de muertes anuales para el año 2050, si no se toman medidas urgentes (Organización Mundial de la Salud, 2016). Esta crisis sanitaria ha sido acelerada por el uso inadecuado y excesivo de antibióticos tanto en humanos como en animales de interés pecuario, lo cual ha propiciado la selección y propagación de patógenos multirresistentes (Touaitia y col., 2025). La situación es crítica ya que muchas de las infecciones que antes eran tratables se están volviendo intratables, dejando pocas o nulas opciones terapéuticas.

La bacteria *Staphylococcus aureus* es un patógeno que ha sido enlistada por la OMS, junto con otras 5, como bacterias que presentan multi resistencia a antimicrobianos (Venkateswaran y col., 2023), representando una preocupación global de salud porque plantea desafíos terapéuticos en entornos clínicos. *S. aureus* es responsable de una amplia gama de infecciones en humanos, desde infecciones en la piel hasta

nosocomiales (neumonía, endocarditis, osteomielitis y bacteremia) (Touaitia y col., 2025). Mientras que en la medicina veterinaria se ha asociado con la mastitis bovina subclínica, generando pérdidas económicas significativas en la industria láctea (Campos y col., 2022).

Algunas cepas de *S. aureus*, incluyendo las que causan mastitis bovina, son productoras de biopelículas, definidas como comunidades bacterianas encapsuladas en una matriz extracelular de sustancias poliméricas, como ADN extracelular, polisacáridos y proteínas, secretadas por las mismas células bacterianas (Peng y col. 2023). Las biopelículas confieren una protección adicional frente a entornos hostiles y a los tratamientos antimicrobianos, permitiendo el establecimiento de infecciones crónicas y recurrentes (Campos y col., 2022).

Las bacterias que producen mayores cantidades de biopelículas pueden sobrevivir incluso a concentraciones de antimicrobianos 64 veces superiores a la concentración mínima inhibitoria determinada para cultivos planctónicos (Demontier y col., 2024). Ante este panorama surge la urgente necesidad de explorar alternativas terapéuticas innovadoras. En el grupo de trabajo, se han empleado moléculas de origen natural para

abordar este problema, tales como péptidos antimicrobianos (nisina) y ácidos grasos de cadena media (octanoato de sodio) (Navarro-Acosta, 2023).

La nisin es un péptido antimicrobiano o bacteriocina producido por *Lactococcus lactis*, contiene 34 residuos de aminoácidos y fue aprobado como aditivo alimenticio por la FDA (Administración de Drogas y Alimentos de EUA) y la OMS en 1969, y en 1988 recibió la denominación GRAS (Generalmente reconocido como seguro), siendo utilizado en más de 50 países (Jozala y col., 2015). El mecanismo de acción antibacteriano de la nisin se basa en formar poros en la superficie de la célula e interfiere en la síntesis de la pared celular, al unirse al lípido II (Negash y Tsehai, 2020). Distintos estudios han abordado el efecto de la nisin sobre el crecimiento de *S. aureus* asociado a infecciones humanas o bovinas (Ceotto-Vigoder y col., 2016; Ghapanvari y col., 2022; Karau y col., 2025; Sánchez-Ceja y col., 2018; Sharafi y col., 2024). Enfocándose principalmente en la inhibición del crecimiento de células planctónicas, y algunos de ellos abordaron su efecto sobre la producción de biopelículas.

Los ácidos grasos y sus derivados han mostrado tener propiedades antimicrobianas. El mecanismo antimicrobiano de los ácidos grasos puede asociarse con la interrupción de la cadena de transporte de electrones, el desacoplamiento de la fosforilación oxidativa, la lisis celular, la inhibición de la actividad enzimática, el deterioro de la absorción de nutrientes, la generación de productos tóxicos de peroxidación y autoxidación (Desbois y Smith, 2010; P. Desbois, 2012). El ácido octanoico o su sal, el octanoato de sodio, está presente en alimentos como en el coco, palmiste y leche (Alva-Murillo y col., 2017). El octanoato de sodio tiene designación GRAS y se considera que es seguro, por lo que se emplea como saborizante y adyuvante en alimentos, debido a que no presenta toxicidad a grandes concentraciones (Nair y col., 2005). Se ha reportado que el octanoato de sodio actúa contra bacterias como *Escherichia coli*, hongos como *Candida albicans* y parásitos como *Leishmania donovani* (Lee y col., 2021; Nair y col., 2005; Prasad y col., 2022). Por su parte, en el grupo de trabajo Navarro-Acosta identificó que el octanoato de sodio (solo y en combinación con nisin) afecta el crecimiento de células planctónicas de *S. aureus* asociadas a mastitis bovina (Navarro-Acosta, 2023). Un

grupo de investigación de Taiwán reportó la capacidad del octanoato de sodio de actuar sobre biopelículas de *S. aureus* proveniente de mastitis bovina recurrente (Lin y col., 2023), pero no se ha evaluado sobre aislamientos mexicanos. El cual fue el objetivo de este trabajo.

2. Materiales y métodos

2.1. Reactivos

La nisin (N5764) y octanoato de sodio (C5038) fueron adquiridos de la casa comercial de Sigma-Aldrich®. El octanoato de sodio se disolvió en agua de acuerdo con las instrucciones del proveedor; mientras que la nisin se disolvió en HCl (0.02 M, pH 2) según lo reportado previamente (Tong y col., 2014). Los compuestos se esterilizaron por filtración con membranas de 0.22 µm (Millipore ®, USA) y se almacenaron a 4°C.

2.2. Material biológico

Se utilizaron 3 aislados de *S. aureus* provenientes de mastitis bovina (AMC10, AMC51 y AVC2), así como una cepa certificada ATCC 27543, con mostrada

multiresistencia antimicrobiana (Sánchez-Ceja y col., 2018).

2.3 Identificación de aislamientos de *S. aureus* que producen biopelículas

La tinción con cristal violeta se empleó para identificar cuáles aislamientos bacterianos producían biopelículas, de acuerdo con lo reportado previamente (Ceotto-Vigoder y col., 2016; Khoramian y col., 2015; Sharafi y col., 2024; Stepanović y col., 2007). Para ello, se inoculó una colonia bacteriana en 2 mL de caldo TSB (soja tripticaseína, 211768, Becton Dickinson) en un tubo de 15 mL y se incubó toda la noche a 37°C con agitación constante de 180 rpm. El cultivo se ajustó a una densidad óptica (DO) de 0.2 a una longitud de onda de 600 nm (equivalente a 9.2×10^7 UFC/mL). Después se hicieron los cálculos necesarios y se diluyó el cultivo bacteriano con caldo TSB suplementado con 1% de glucosa (TSB-glu) para obtener 1×10^6 UFC/mL en 200 µL. Este volumen se colocó por pozo en una microplaca de poliestireno, por triplicado para cada aislado de *S. aureus*. El TSB-glu se utilizó como control negativo o de esterilidad. Las placas se incubaron durante 24 h a 37°C sin agitación, para permitir la formación de biopelículas, manteniendo un ambiente húmedo.

Cumplido el tiempo, la placa se lavó con PBS estéril (8 g NaCl, 0.2 g KCl, 0.24 g KH₂PO₄, 1.44 g NaH₂PO₄·H₂O para 1 L, pH 7.4) para remover bacterias no adheridas. Después, las placas se secaron a temperatura ambiente y las biopelículas se fijaron con 100 µL de metanol/pozo durante 20 min. El metanol se retiró y las placas se secaron nuevamente a temperatura ambiente. Las biopelículas fijadas se tiñeron con 200 µL de cristal violeta al 0.1% durante 15 min. El exceso de tinción se eliminó lavando con agua de la llave hasta que no se observó color, y las placas se secaron a temperatura ambiente. Para destearir las biopelículas, se adicionaron 200 µL de ácido acético glacial al 33% por pozo, se tapó la caja y se dejó reposar durante 30 min, seguido de homogenización con pipeteo. Finalmente, la absorbancia se leyó a 590 nm. Se realizaron tres experimentos independientes por triplicado.

Los aislados bacterianos se clasificaron como no productores, productores débiles, moderados o fuertes productores de biopelículas, para ello se calcularon los valores medios de la DO de todos los aislados analizados y el control negativo, se determinó el valor de corte (DOc):

DOc

$$= \text{promedio } DO \text{ del control negativo} \\ + (3 * \text{Desv. Est. del control negativo})$$

Para cada experimento se calculó el valor de DOc. Los aislados bacterianos se clasificaron de acuerdo con la tabla 1.

Tabla 1. Interpretación de los resultados de la producción de biopelículas bacterianas.

	Clasificación	Símbolo
$DO \leq DOc$	No produce biopelículas	-
$DOc < DO \leq 2*DOc$	Débil	+
$2*DOc < DO \leq 4*DOc$	productor	
$2*DOc < DO \leq 4*DOc$	Productor	++
$\leq 4*DOc$	moderado	
$4*DOc < DO$	Fuerte	+++
	productor de biopelículas	

DO, es el promedio de la DO de cada aislado bacteriano.

2.4 Determinación de la concentración mínima inhibitoria y bactericida de la nisin y octanoato sobre *S. aureus*

La concentración mínima inhibitoria (CMI) de la nisin y del octanoato de sodio sobre las células planctónicas de los aislamientos de *S. aureus* se determinó por el método de



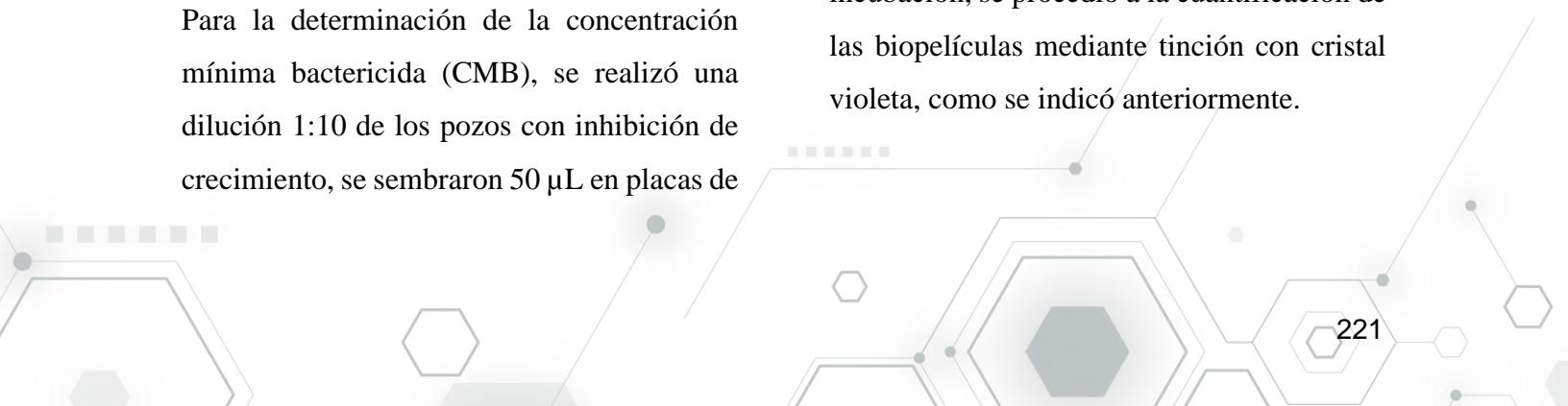
microdilución, de acuerdo con las directrices del Instituto de Normas Clínicas y de Laboratorio (CLSI por sus siglas en inglés) (Sharafi y col., 2024). Se inoculó una colonia bacteriana en 2 mL de caldo Mueller Hinton (MH, no. catl 275730, Becton Dickinson), se incubó toda la noche a 37°C en agitación constante a 180 rpm. Después, se ajustó el cultivo bacteriano a una DO₆₀₀ de 0.2 y el cultivo bacteriano se diluyó para obtener 5.5x10⁶ UFC/mL. Se colocaron 100 µL de cultivo diluido de cada aislado por pozo en una microplaca. Se prepararon diluciones seriadas de la nisin y octanoato de sodio, para tener concentraciones finales de 1,000 µg/mL hasta 15.62 µg/mL y 16.6 mg/mL a 0.26 mg/mL, respectivamente, se consideró un volumen final de 110 µL. Se incluyó el cultivo bacteriano y al vehículo de la nisin como control de crecimiento y el caldo MH como control de esterilidad. Cada tratamiento se realizó por triplicado. La placa se incubó durante 24 h a 37°C. La CMI se definió como la concentración más baja en la que no se observó crecimiento bacteriano visible.

Para la determinación de la concentración mínima bactericida (CMB), se realizó una dilución 1:10 de los pozos con inhibición de crecimiento, se sembraron 50 µL en placas de

agar MH y se incubaron toda la noche a 37°C, esperando ausencia de crecimiento colonial.

2.5 Evaluación del efecto de la combinación de la nisin y el octanoato sobre las biopelículas preformadas

Para evaluar la actividad de la nisin y el octanoato de sodio sobre biopelículas bacterianas ya establecidas, se siguió un protocolo descrito previamente por específico según Ceotto-Vigoder y col. (2016), y Lin y col. (2023). Primero se formaron biopelículas según lo mencionado anteriormente, se permitió la formación de la biopelícula por 18 h a 37°C sin agitación. Luego, se aspiró el sobrenadante y se adicionaron 50 µL de nisin y/o octanoato de sodio, solos o en combinación, diluidos en caldo TSB-glu. Se ensayaron las CMI y la mitad de la CMI de cada compuesto, de manera independiente y en combinación. También se incluyeron controles de vehículo y esterilidad. Posteriormente, se añadieron 150 µL de TSB-glu a cada pozo y las placas se incubaron durante 24 h a 37°C. Finalizado el tiempo de incubación, se procedió a la cuantificación de las biopelículas mediante tinción con cristal violeta, como se indicó anteriormente.



3. Resultados y discusión

La capacidad de formar biopelículas es un factor de virulencia crucial en la patogénesis de las infecciones por *S. aureus*, ya que contribuye a la resistencia a los antibióticos y a la persistencia de la infección (Touaitia y col., 2025). Al evaluar la capacidad de los cuatro aislados fármaco resistentes de *S. aureus* -asociados a mastitis bovina- de producir biopelículas, se observó que tres de ellos son fuertes productores (AMC10, AMC51 y AVC2); mientras que, uno de ellos (ATCC 27543) es débil productor de biopelículas (Tabla 2).

Tabla 2. Formación de biopelículas de aislados de *Staphylococcus aureus* asociados a mastitis bovina.

Aislado	Clasificación	Abs 590 nm
AMC10	+++	1.925 ± 0.256
AMC51	+++	1.091 ± 0.140
AVC2	+++	2.081 ± 0.314
ATCC 27543	+	0.432 ± 0.095

-, no producción; +, débil producción; ++, moderada producción; +++, fuerte producción. Los resultados representan la media y el error estándar de al menos cinco experimentos independientes por triplicado.

Este hallazgo concuerda con lo reportado por la literatura de apoyo, que asocia la alta producción de biopelículas con la persistencia de las infecciones intramamarias en bovinos (Ceotto-Vigoder y col., 2016; Demontier y col., 2024). La formación de esta matriz extracelular protege a las bacterias del sistema inmune del hospedero y de los agentes antimicrobianos, lo que explicaría por qué la mastitis estafilocócica a menudo se vuelve crónica y recurrente. Estos resultados reafirman la importancia de esta característica como un factor clave de virulencia en los aislamientos de campo de *S. aureus* de origen bovino.

En la búsqueda de alternativas a los antibióticos tradicionales, evaluamos la actividad antimicrobiana de la nisin y el octanoato de sodio contra los aislados de *S. aureus* de mastitis bovina, además de cuantificar la capacidad de degradar biopelículas ya establecidas. La nisin es un péptido antimicrobiano de origen bacteriano, mientras que el octanoato de sodio es un



derivado de ácido graso (Jozala y col., 2015; P. Desbois, 2012).

Tabla 3. Concentración mínima inhibitoria y bactericida de la nisin sobre aislados de *Staphylococcus aureus* asociados a mastitis bovina.

Aislado	CMI ($\mu\text{g/mL}$)	CMB ($\mu\text{g/mL}$)
AMC10	500	>1000
AMC51	500	>1000
AVC2	500	>1000
ATCC 27543	500	>1000

Se realizaron tres experimentos independientes por triplicado. CMI, concentración mínima inhibitoria; CMB, concentración mínima bactericida.

Primero se determinó la CMI y la CMB de la nisin y del octanoato de sodio sobre los cuatro aislados de *S. aureus* multirresistente provenientes de vacas con mastitis. En cuanto a la CMI de la nisin, no se observó crecimiento visible a la concentración de 500 $\mu\text{g/mL}$ en ningún aislado bacteriano (Tabla 3); no obstante, en el primer ensayo, al recuperar el cultivo de esa condición e inocular agar MH, se detectaron colonias

bacterianas. Por lo que, en los ensayos posteriores se decidió probar la siguiente concentración mayor (1000 $\mu\text{g/mL}$) donde no se observó crecimiento visible. Al igual que en el caso anterior, se identificaron colonias bacterianas en el agar MH. Por lo que la CMB de la nisin es mayor a 1000 $\mu\text{g/mL}$ (Tabla 3). Estos hallazgos indican que, si bien la nisin puede retrasar el crecimiento de los aislamientos (bacteriostático), se requieren concentraciones significativamente mayores para lograr un efecto bactericida.

Por su parte, el octanoato de sodio (Tabla 4) demostró ser eficaz contra todos los aislados con una CMI de 8.3 mg/mL (48.15 mM) y una CMB de 16 mg/mL (96.3 mM). La acción de estos compuestos se atribuye a su capacidad para desestabilizar las membranas celulares bacterianas (Royce y col., 2013), lo que se ha sugerido como un mecanismo prometedor para combatir la resistencia a los antibióticos. Sin embargo, la efectividad de estos tratamientos en entornos reales, como la glándula mamaria, puede variar, ya que la actividad *in vitro* no siempre se mantiene al ser probada *in vivo*, debido a la posible interferencia de los componentes de la leche.

Tabla 4. Concentración mínima inhibitoria y bactericida del octanoato de sodio sobre aislados de *Staphylococcus aureus* asociados a mastitis bovina.

Aislado	CMI ($\mu\text{g/mL}$)	CMB ($\mu\text{g/mL}$)
AMC10	8.3	16
AMC51	8.3	16
AVC2	8.3	16
ATCC	8.3	16
27543		

Se realizaron tres experimentos independientes por triplicado. CMI, concentración mínima inhibitoria; CMB, concentración mínima bactericida.

Una vez determinada la CMI de la nisina y del octanoato de sodio para los cuatro aislados bacterianos, se decidió evaluar su efecto sobre las biopelículas preformadas, empleando las CMI de los compuestos, así como la mitad de dichas concentraciones, solos y en combinación. Los resultados preliminares indican que las biopelículas formadas por aquellos los aislados bacterianos que son fuertes productores de biopelículas, se deshacía aproximadamente el 34-52% al tratarlas 24 h con 4.15 mg/mL de octanoato de sodio (Figuras 1-4).

El octanoato de sodio redujo en un 10 y 34% la biopelícula preformada por el aislado AMC10, al ser utilizado a 8.3 y 4.15 mg/mL, respectivamente (Figura 1). No se detectó que la nisina tuviera un efecto en este parámetro. Al mezclar 500 $\mu\text{g/mL}$ de nisina con 4.15 mg/mL de octanoato de sodio, disminuyó cerca de un 25% la biopelícula preformada, ello puede deberse al ácido graso.

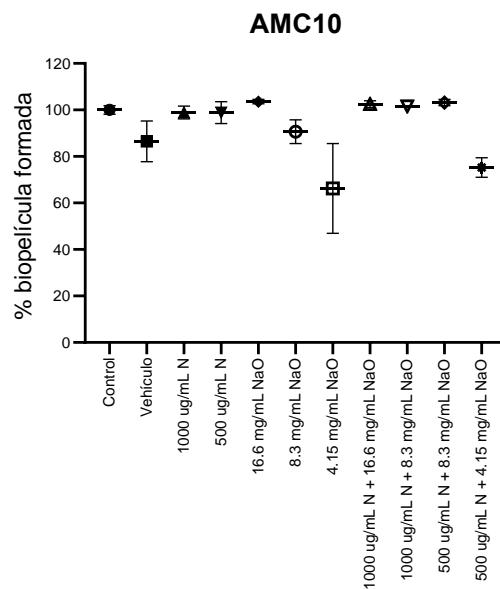


Figura 1. Efecto de la nisina y del octanoato de sodio sobre la biopelícula preformada del aislado AMC10. Se permitió la formación de la biopelícula por 18 h, después se trató con distintas concentraciones de nisina (N) y octanoato de sodio (NaO), solos y en combinación, por 24 h. Se realizó un experimento por triplicado.

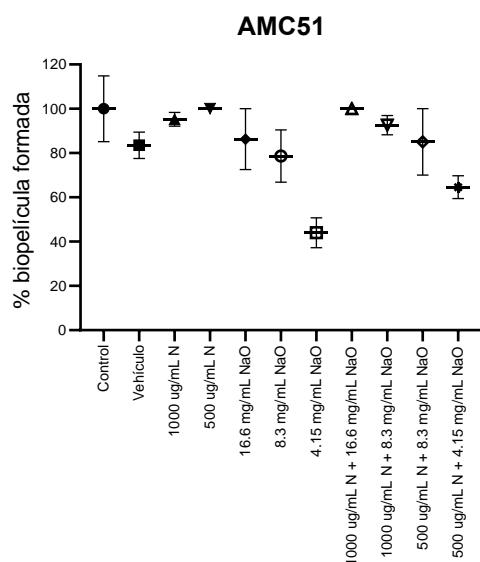


Figura 2. Efecto de la nisina y del octanoato de sodio sobre la biopelícula preformada del aislado

AMC51. Se permitió la formación de la biopelícula por 18 h, después se trató con distintas concentraciones de nisina (N) y octanoato de sodio (NaO), solos y en combinación, por 24 h. Se realizó un experimento por triplicado.

La nisina no afectó la biopelícula preformada por el aislado AMC51, en ninguna de las concentraciones empleadas (Figura 2). El octanoato de sodio redujo la biopelícula preformada en un 13.73, 21.4 y 56% al ser tratadas con 16.6, 8.3 y 4.15 mg/mL, respectivamente. Al igual que con el aislado bacteriano anterior, la mezcla de 500 µg/mL de nisina con 4.15 mg/mL de octanoato de sodio disminuyó un 35.4% la biopelícula

preformada, lo cual pudiera deberse solamente al efecto del octanoato.

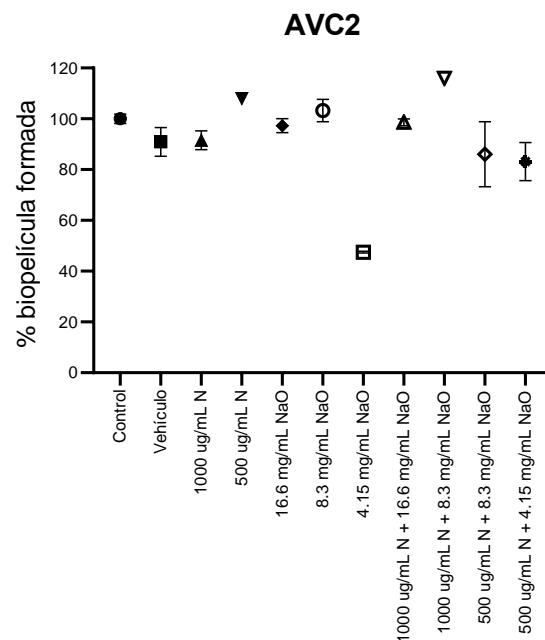


Figura 3. Efecto de la nisina y del octanoato de sodio sobre la biopelícula preformada del aislado

AVC2. Se permitió la formación de la biopelícula por 18 h, después se trató con distintas concentraciones de nisina (N) y octanoato de sodio (NaO), solos y en combinación, por 24 h. Se realizó un experimento por triplicado.

El porcentaje de biopelícula preformada del aislado AVC2, se incrementó ligeramente (7%) al ser tratada con 500 µg/mL (Figura 3). 4.15 mg/mL de octanoato de sodio redujo un 52.5% la biopelícula. Mientras que, la mezcla de 500 µg/mL de nisina con 8.3 mg/mL de

octanoato, y 500 µg/mL de nisina con 4.15 mg/mL de octanoato disminuyeron ~16% la biopelícula preformada.

En cuanto a la cepa certificada ATCC 27543, que es débil productora de biopelícula (Tabla 2), se identificaron más tratamiento con efecto sobre la biopelícula preformada. Las concentraciones de 16.6 y 8.3 mg/mL de octanoato de sodio redujeron la biopelícula formada en ~30 y 37%, respectivamente (Figura 4).

A diferencia del efecto de 4.15 mg/mL de octanoato de sodio sobre las biopelículas de los aislamientos AMC10, AMC51 y AVC2, en este caso no la afectó. La combinación de 1000 µg/mL de nisina con 16.6 mg/mL de octanoato de sodio, así como 500 µg/mL del péptido con 8.3 mg/mL del octanoato o con 4.15 mg/mL del ácido graso, disminuyeron la biopelícula preformada en un 43.5, 44 y 18.1%.

Es necesario realizar al menos otros dos ensayos independientes por triplicado para poder sugerir una conclusión de este experimento.

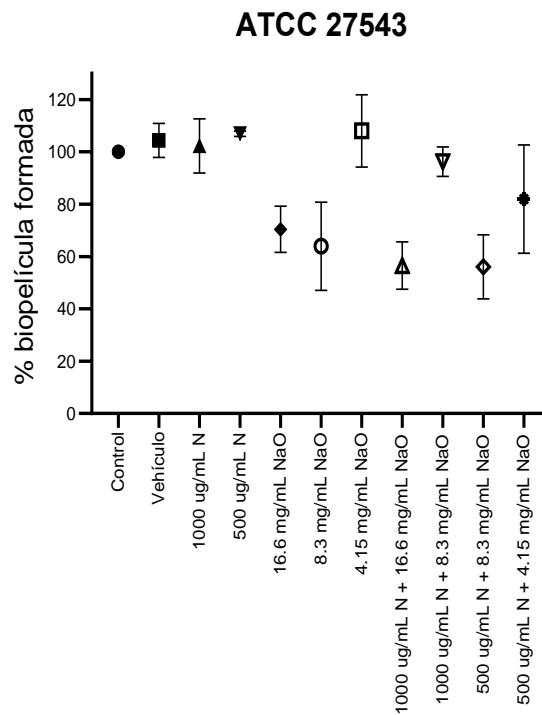


Figura 4. Efecto de la nisina y del octanoato de sodio sobre la biopelícula preformada del aislado ATCC 27543. Se permitió la formación de la biopelícula por 18 h, después se trató con distintas concentraciones de nisina (N) y octanoato de sodio (NaO), solos y en combinación, por 24 h. Se realizó un experimento por triplicado

4. Conclusiones

En conclusión, el octanoato es un agente prometedor para combatir patógenos de interés en la medicina veterinaria, como *S. aureus*, aunque su eficacia varía según la cepa. Además, el octanoato de sodio disruppe las biopelículas producidas por *S.*

aureus. No obstante, se requieren estudios adicionales para optimizar concentraciones y explorar combinaciones que mejoren su aplicación en el tratamiento de infecciones resistentes asociadas a mastitis bovina.

Referencias bibliográficas

Alva-Murillo, N., Ochoa-Zarzosa, A., & López-Meza, J. E. (2017). Sodium octanoate modulates the innate immune response of bovine mammary epithelial cells through the TLR2/P38/JNK/ERK1/2 pathway: Implications during *Staphylococcus aureus* internalization. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 7(MAR).
<https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00078>

Campos, B., Pickering, A. C., Rocha, L. S., Aguilar, A. P., Fabres-Klein, M. H., de Oliveira Mendes, T. A., Fitzgerald, J. R., & de Oliveira Barros Ribon, A. (2022). Diversity and pathogenesis of *Staphylococcus aureus* from bovine mastitis: current understanding and future perspectives. En *BMC Veterinary Research* (Vol. 18, Número 1).
<https://doi.org/10.1186/s12917-022-03197-5>

Ceotto-Vigoder, H., Marques, S. L. S., Santos, I. N. S., Alves, M. D. B., Barrias, E. S., Potter, A., Alviano, D. S., & Bastos, M. C. F. (2016). Nisin and lysostaphin activity against preformed biofilm of *Staphylococcus aureus* involved in bovine mastitis. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1).
<https://doi.org/10.1111/jam.13136>

Demontier, E., Ster, C., Chamberland, S., Ramanathan, S., Dufour, S., & Malouin, F. (2024). Biofilm dairy foods review: Effect of biofilm production on antimicrobial susceptibility of *Staphylococcus aureus* bovine mastitis strains from the most prevalent Canadian spa types. *Journal of Dairy Science*.
<https://doi.org/10.3168/jds.2024-25238>

Desbois, A. P., & Smith, V. J. (2010). Antibacterial free fatty acids: Activities, mechanisms of action and biotechnological potential. En *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 85, Número 6, pp. 1629–1642). <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2355-3>

Ghapanvari, P., Taheri, M., Jalilian, F. A., Dehbashi, S., Dezfuli, A. A. Z., & Arabestani, M. R. (2022). The effect of nisin on the biofilm production, antimicrobial

susceptibility and biofilm formation of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *European Journal of Medical Research*, 27(1).
<https://doi.org/10.1186/s40001-022-00804-x>

Jozala, A. F., Novaes, L. C. de L., & Pessoa, A. (2015). Nisin. En *Concepts, Compounds and the Alternatives of Antibacterials*. InTech. <https://doi.org/10.5772/60932>

Karau, M. J., Koscianski, C. A., Badley, A. D., Bedard, N. A., Zinckgraf, J. W., & Patel, R. (2025). In vitro activity of nisin A against Staphylococci isolated from periprosthetic joint infection. *Antibiotics*, 14(5).
<https://doi.org/10.3390/antibiotics14050515>

Khoramian, B., Jabalameli, F., Niasari-Naslaji, A., Taherikalani, M., & Emaneini, M. (2015). Comparison of virulence factors and biofilm formation among *Staphylococcus aureus* strains isolated from human and bovine infections. *Microbial Pathogenesis*, 88.

<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2015.08.007>

Lee, J. H., Kim, Y. G., Khadke, S. K., & Lee, J. (2021). Antibiofilm and antifungal activities of medium-chain fatty acids against *Candida albicans* via mimicking of the

quorum-sensing molecule farnesol. *Microbial Biotechnology*, 14(4).
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.13710>

Lin, W. C., Hsu, K. C., You, M. F., Lee, K. H., Chi, C. H., & Chen, J. Y. (2023). Octanoic acid promotes clearance of antibiotic-tolerant cells and eradicates biofilms of *Staphylococcus aureus* isolated from recurrent bovine mastitis. *Biofilm*, 6.
<https://doi.org/10.1016/j.bioflm.2023.100149>

Nair, M. K. M., Joy, J., Vasudevan, P., Hinckley, L., Hoagland, T. A., & Venkitanarayanan, K. S. (2005). Antibacterial effect of caprylic acid and monocaprylin on major bacterial mastitis pathogens. *Journal of Dairy Science*, 88(10).
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73033-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73033-2)

Navarro-Acosta, F. A. (2023). *La mezcla de nisina y octanoato como alternativa potencial contra la formación de biopelículas de Staphylococcus aureus: implicaciones en la mastitis bovina* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Guanajuato.

Negash, A. W., & Tsehai, B. A. (2020). Current applications of bacteriocin. En *International Journal of Microbiology*

(Vol. 2020).
<https://doi.org/10.1155/2020/4374891>

Organización Mundial de la Salud (Ed.). (2016). *Plan de acción mundial sobre la resistencia a los antimicrobianos*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241509763>

P. Desbois, A. (2012). Potential applications of antimicrobial fatty acids in medicine, agriculture and other industries. *Recent Patents on Anti-Infective Drug Discovery*, 7(2).

<https://doi.org/10.2174/157489112801619728>

Peng, Q., Tang, X., Dong, W., Sun, N., & Yuan, W. (2023). A review of biofilm formation of *Staphylococcus aureus* and its regulation mechanism. En *Antibiotics* (Vol. 12, Número 1).

<https://doi.org/10.3390/antibiotics12010012>

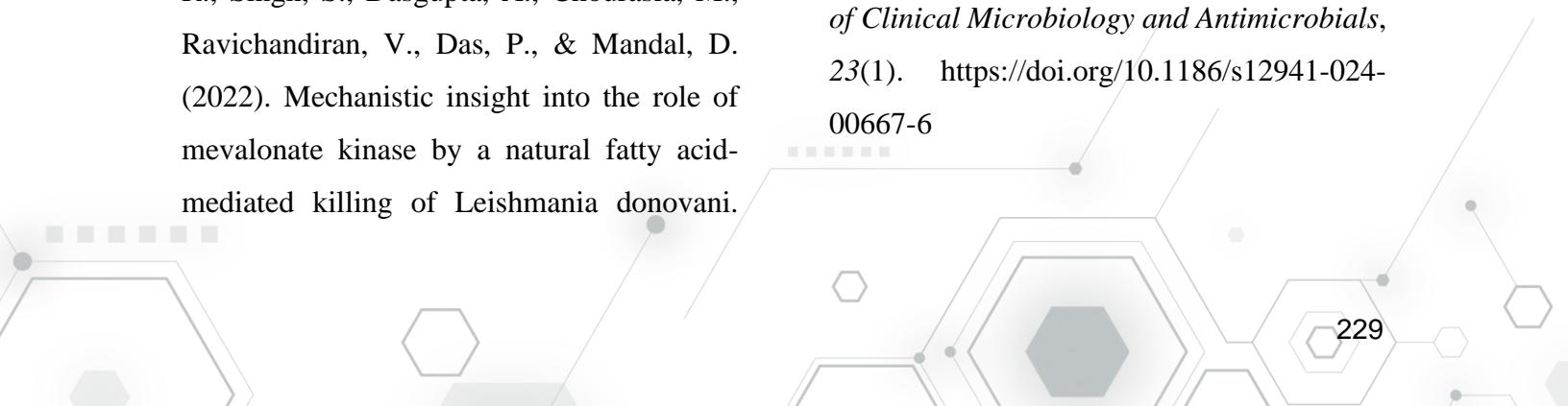
Prasad, S. R., Kumar, P., Mandal, S., Mohan, A., Chaurasia, R., Shrivastava, A., Nikhil, P., Aishwarya, D., Ramalingam, P., Gajbhiye, R., Singh, S., Dasgupta, A., Chourasia, M., Ravichandiran, V., Das, P., & Mandal, D. (2022). Mechanistic insight into the role of mevalonate kinase by a natural fatty acid-mediated killing of *Leishmania donovani*.

Scientific Reports, 12(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-20509-9>

Royce, L. A., Liu, P., Stebbins, M. J., Hanson, B. C., & Jarboe, L. R. (2013). The damaging effects of short chain fatty acids on *Escherichia coli* membranes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(18).
<https://doi.org/10.1007/s00253-013-5113-5>

Sánchez-Caja, M., Teresa Arceo-Martínez, M., Guadalupe Sandoval-Flores, M., Alva-Murillo, P. N., Jiménez-Mejía, R., & Loeza-Lara, P. D. (2018). Use of nisin and chitosan for the inhibition of antibiotic resistant *Staphylococcus aureus* bovine mastitis-associated. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 9(4).
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i4.4468>

Sharafi, T., Ghaemi, E. A., Rafiee, M., & Ardebili, A. (2024). Combination antimicrobial therapy: in vitro synergistic effect of anti-staphylococcal drug oxacillin with antimicrobial peptide nisin against *Staphylococcus epidermidis* clinical isolates and *Staphylococcus aureus* biofilms. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12941-024-00667-6>



Stepanović, S., Vuković, D., Hola, V., Di Bonaventura, G., Djukić, S., Ćirković, I., & Ruzicka, F. (2007). Quantification of biofilm in microtiter plates: Overview of testing conditions and practical recommendations for assessment of biofilm production by staphylococci. *APMIS*, 115(8).
https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2007.apm_630.x

Tong, Z., Zhang, L., Ling, J., Jian, Y., Huang, L., & Deng, D. (2014). An in vitro study on the effect of free amino acids alone or in combination with nisin on biofilms as well as on planktonic bacteria of *Streptococcus mutans*. *PLoS ONE*, 9(6).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099513>

Touaitia, R., Mairi, A., Ibrahim, N. A., Basher, N. S., Idres, T., & Touati, A. (2025). *Staphylococcus aureus: A review of the pathogenesis and virulence mechanisms*. En *Antibiotics* (Vol. 14, Número 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14050470>

Venkateswaran, P., Vasudevan, S., David, H., Shaktivel, A., Shanmugam, K., Neelakantan, P., & Solomon, A. P. (2023). Revisiting

ESKAPE pathogens: virulence, resistance, and combating strategies focusing on quorum sensing. En *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* (Vol. 13).
<https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1159798>

