



Evaluación del efecto antimicrobiano de propóleo en combinación con nanopartículas de plata contra el *Enterococcus faecalis*: estudio *in vitro*

Evaluation of the bacterial inhibition effect of propolis in combination with silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis*: in vitro assay

Recibido: 26 de noviembre 2026 | Aceptado: 19 de junio 2026 | Publicado: 23 de julio de 2026

León Francisco Espinosa Cristóbal² Burciaga-Schietekat Karen Lizeth¹ Donohue-Cornejo Alejandro²
Cuevas-González Juan Carlos² Fornelli Martin del Campo Luis Felipe³ Guzmán-Gastelum Dalia Abril⁴
Hernández-Cepeda Omar Alejandro³ Cuevas-González María Verónica²

leohamet@hotmail.com

¹Especialidad en Endodoncia, Departamento de Estomatología, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, C.P. 32310, Chihuahua, México.

²Maestría en Ciencias Odontológicas, Departamento de Estomatología, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, C.P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

³Especialidad en Ortodoncia, Departamento de Estomatología, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, C.P. 32310, Chihuahua, México

⁴Especialidad en Periodoncia, Departamento de Estomatología, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, C.P. 32310, Chihuahua, México.

DOI: <https://doi.org/10.31984/oactiva.v11i2.1228>

Resumen

Objetivo: Determinar el nivel antimicrobiano del propóleo (PPS) combinado con nanopartículas de plata (Ag-NPs) contra la *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*). **Materiales y métodos:** Se prepararon AgNPs a través de medios acuosos y se caracterización por dispersión dinámica de luz (DLS). La actividad antimicrobiana de las AgNPs, propóleo (PPS), PPS/AgNPs, hidróxido de calcio (CaOH), CaOH/PPS e hipoclorito de sodio (NaOCl) se determinó a través de la obtención de concentraciones mínimas inhibitorias para determinar el nivel de inhibición de proliferación bacteriana en una cepa de *E. faecalis*. Así mismo, se ensayos de sustantividad antimicrobiana y de halos de difusión de los distintos antimicrobianos utilizados. **Resultados:** Se obtuvieron AgNPs con un tamaño pequeño y de distribución uniforme (6.6 ± 0.8 nm) con cargas eléctricas definidas que señalan alta monodispersión (-35 ± 3.3 mV). La actividad antimicrobiana mostró que las AgNPs solas y combinadas con PPS tuvieron mayores inhibiciones de crecimiento bacteriano que el CaOH e NaOCl convencionales ($p < 0.05$). La prueba de difusión indicó que el PPS solo tuvo el mayor efecto antibacteriano que los demás grupos de antimicrobianos; sin embargo, el NaOCl tuvo la mejor actividad de inhibición ($p < 0.05$). **Conclusiones:** La combinación de PPS/AgNPs utilizada en este estudio demostró actividades antimicrobianas aceptables contra la bacteria *E. faecalis*, siendo una terapéutica antimicrobiana intraconducto potencial para el control de infecciones endodónticas persistentes.

Palabras claves: Actividad antimicrobiana, irrigantes, medicamentos intraconducto, propóleo, nanopartículas de plata.

Abstract:

Objective: To determine the bacterial inhibition effect of propolis (PPS) combined with nanosized silver (AgNPs) against *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*). **Objective:** To evaluate the indications and effective clinical strategies for the management of caries in primary molars using the Hall Technique. **Materials and methods:** AgNPs were used using aqueous media and analyzed by dynamic light scattering (DLS). The antimicrobial activity of AgNPs, propolis (PPS), PPS/AgNPs, calcium hydroxide (CaOH), CaOH/PPS and sodium hypochlorite (NaOCl) was determined by obtaining minimum inhibitory concentrations to determine the level of bacterial proliferation inhibition in a strain of *E. faecalis*. Likewise, antimicrobial substantivity and diffusion halo assays of the different antimicrobials used were performed. **Results:** AgNPs with a small size and uniform distribution (6.6 ± 0.8 nm) were obtained with defined electrical charges that indicate high monodispersity (-35 ± 3.3 mV). Antimicrobial activity showed that AgNPs alone and in combination with PPS had higher bacterial growth inhibition than conventional NaOCl and NaOCl ($p < 0.05$). Diffusion test indicated that PPS alone had the highest antibacterial effect than the other antimicrobial groups; however, NaOCl had the best inhibition activity ($p < 0.05$). **Conclusion:** The combination of PPS/AgNPs demonstrated acceptable antibacterial activities against *E. faecalis* bacteria, being a promising intracanal antimicrobial therapeutic for persistent endodontic infections.

Keywords: Antimicrobial activity, irrigants, intracanal medicaments, propolis, silver nanoparticles.

Introducción

El tratamiento de conductos es una alternativa conservadora a la extracción dental ante la invasión bacteriana en la pulpa dental, que la gran mayoría de las veces se extiende hasta el periápice, produciendo primero pulpitis, necrosis pulpar y, posteriormente, enfermedades periapicales. Este tratamiento consiste en varias etapas, en las cuales el conducto es ensanchado, limpiado y desinfectado para posteriormente ser obturado.¹ Es importante realizar las diferentes etapas del tratamiento para que el medio intraconducto quede libre de bacterias, en la medida que sea posible, con ayuda de diferentes sustancias irrigantes y medicamentos antibacterianos, para que el tratamiento sea efectivo y evitar reinvasión bacteriana.² La irrigación es una parte crucial del tratamiento de conductos ya que en ella se realiza la limpieza química del tejido dental en aquellas zonas donde no es posible hacer una instrumentación mecánica, como en los conductos accesorios. Existen sustancias que cumplen con algunos o la mayoría de los requisitos que debe tener una sustancia irrigante como el hipoclorito de sodio, la clorhexidina y el EDTA.³ El hipoclorito de sodio (NaOCl) es un compuesto halogenado utilizado como irrigante debido a sus propiedades antibacterianas, proteolíticas y de desbridamiento al ser utilizado en un rango de concentración que va del 0.5% al 6%. Su acción antibacteriana radica en la interrupción

de la síntesis del ADN de las bacterias, disolviendo el tejido pulpar y restos de tejido dentinario.³⁻⁵

A pesar de ello, la instrumentación y la irrigación del conducto radicular en el tratamiento de conductos no es suficiente para eliminar el tejido infectado y las bacterias, por lo que el uso de medicamentos intraconducto son recomendados. El estándar de oro como medicamento intraconducto es el hidróxido de calcio gracias a sus excelentes propiedades bactericidas, antiinflamatorias y analgésicas.^{6,7} Esto es debido a su pH alto, su capacidad para disolver material orgánico, inhibir la reabsorción dental, formar tejido duro, y en endodoncia es conocido por promover una cicatrización perirradicular con pocos efectos adversos. A pesar de ser un agente antibacteriano se ha reportado que, de las bacterias evaluadas, el *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) es la que tiene mayor resistencia frente al hidróxido de calcio, lo que la hace menos susceptible a este medicamento y por lo tanto un nivel de fracaso mayor en terapias endodónticas.^{7,8} Se sabe que el *E. faecalis* es una bacteria oportunista, que está asociada a enfermedades perirradiculares persistentes post-tratamiento, pues se ha encontrado en un 22 a 77% de los casos de tratamientos endodónticos fallidos y compone la mayor parte de la flora bacteriana encontrada en conductos ya tratados. Su habilidad para vivir en situaciones adversas es debida a la capacidad de formar un biofilm y adherirse a los túbulos dentinarios, lo que la hace resistente a la

fagocitosis, anticuerpos y agentes antimicrobianos, representando un gran reto para la endodoncia en el éxito de sus tratamientos.^{8,9}

Por esta razón, es necesario explorar nuevas rutas terapéuticas antimicrobianas para el control de infecciones bacterianas endodónticas persistentes con enfoques del cuidado medio ambiental y tecnológicos. Una opción es el uso del propóleo (PPS) ya que es una sustancia compleja fabricada por las abejas, propuesta en la medicina y en la odontología debido a sus propiedades antiinflamatorias, cicatrizantes, analgésicas y, por supuesto, antibacterianas.^{9,10} En la endodoncia ha comenzado a estudiarse su uso como irrigante y medicamento intraconduto ya que sus efectos han sido comparables a las sustancias convencionales como el digluconato de clorhexidina y el hipoclorito de sodio.¹⁰⁻¹² Otra opción son las nanopartículas de plata (AgNPs) ya que han sido reconocidas como uno de los mejores agentes antimicrobianos basados en nanotecnología, al actuar sobre una amplia variedad de bacterias, incluso las AgNPs han sido propuestas como una alternativa a los irrigantes, selladores de conductos y productos farmacéuticos intraconduto.^{5,10,13,14}

A pesar de estos hallazgos, no existe información suficiente que apoye el uso del propóleo y las AgNPs como irrigante o medicamento intraconduto para el control de infecciones bacterianas asociadas con el *E. faecalis*. Esta investigación se centró en medir el nivel antimicrobiano del propóleo combinado con AgNPs contra el *E. faecalis* a través de ensayos microbiológicos *in vitro*. Los resultados derivados de este estudio propondrán un mejor panorama para la creación de nuevos medicamentos intraconduto e irrigantes económicos, de origen natural y biocompatibles, disminuyendo la frecuencia de retratamientos endodónticos controlando a su vez el gasto económico, desgaste físico y emocional tanto de los pacientes como del odontólogo.

Metodología

Diseño de estudio y lugar de recolección de la muestra

Se realizó un estudio experimental *in vitro* en el Laboratorio de Microbiología Oral y de Nanobio-materiales en el Departamento de Estomatología del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Univer-

sidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, durante el periodo agosto del 2023 a marzo del 2024. Todos los procedimientos experimentales fueron realizados bajo condiciones de laboratorio controladas. El estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Ética Institucional de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (RPI2022I-CB10).

Síntesis y caracterización de las AgNP

El método de síntesis usado fue previamente reportado por Espinosa y cols. en el 2023¹⁵. 0.01 M de AgNO₃ (CTR Scientific, Monterrey, Mexico) fue disuelto en 100 mL de agua en estado desionizado durante 5 min con agitación magnética en un vaso de precipitado de 250 mL. Después se agregó a la solución 10 mL de agua desionizada con 0.1 g de ácido gálico (C₇H₆O₅, Sigma Aldrich, St. Louis, MI, USA); luego, el pH se ajustó inmediatamente a 11 usando NaOH. Para la caracterización de las AgNPs se utilizó la dispersión dinámica de luz (DLS, SZ-100 series, HORIBA Scientific, EE. UU.) operando con un láser DPSS a 532 nm a 90 grados de dispersión. Se realizó a una temperatura de 25 °C y una viscosidad del medio de dispersión de 0.895 mPa/s durante 60 segundos para cada muestra para evaluar el tamaño y potencial zeta de las AgNPs. Publicaciones en idioma español o inglés.

Preparación de soluciones de prueba

Se preparó una solución de 4 mL en una proporción 1:1 de PPS con AgNPs en un tubo de ensayo de 10 mL. El hidróxido de calcio (CaOH) se preparó en una concentración de 100 000 ppm en 4 mL de agua desionizada y se preparó otra solución con PPS y CaOH en proporción de 1:1. Para la combinación de PPS/AgNPs se mezclaron soluciones 1:1. Todas las muestras se colocaron en tubos Falcon de 10 mL.

Suspensión bacteriana estandarizada

Se inocularon 5 µL de una muestra de *E. faecalis* (ATCC 29212) dentro de un tubo con caldo Müller-Hinton (MH, BD™ Difco™, Rockville, MD, USA) y se incubó por 24 horas. La preparación anterior se analizó en un espectrofotómetro (Eppendorf BioPhotometer Plus, Alemania) configurado a una longitud de onda de 550 nm para estandarizar la concentración de la bacteria de 1.3 x 10⁸ unidades formadoras de colo-

nias por mililitro (UFC/mL) a una densidad óptica de 0.126 unidades de absorbancia (u.a.) de acuerdo con la escala de McFarland.

Concentración mínima inhibitoria (CMI) de las AgNPs

La actividad antimicrobiana se determinó a través de la obtención de concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) de AgNPs, PPS, PPS/AgNPs, CaOH, y CaOH/PPS, frente a la bacteria *E. faecalis*. Se usaron placas de 96 pocillos y se agregaron 200 µL de soluciones prueba por triplicado en la primera fila (control positivo). Se colocaron 100 µL de caldo MH a partir de la segunda columna. Se hicieron micro diluciones con micro pipetas de la columna 1 a la columna 11 en proporciones seriadas 1:1. La columna 12 fue el control negativo (sin tratamiento). Finalmente, se colocaron 100 µL de esta suspensión en todos los pocillos por triplicado. Todas las muestras se incubaron por 24 horas a 37 °C bajo humedad relativa. La CMI fue identificada por examinación visual directa a través de turbidez en el último pocillo con inhibición de crecimiento bacteriano.

Ensayo de sustantividad

En tubos de ensayo se colocaron 4 mL de caldo MH y se colocaron 20 µL de cada tratamiento (PPS, AgNPs, CaOH, PPS/AgNPs y PPS/CaOH) con 100 µL de la suspensión bacteriana estandarizada (1.3×10^8 CFU/mL) de *E. faecalis*. Todos los tubos fueron incubados a 37 °C y analizados usando un espectrofotómetro UV-Vis para determinar los cambios en la densidad óptica a 550 nm después de 30 minutos, 1, 3, 6, 8, 10, 24, 48 y 72 horas. La actividad de sustantividad se determinó con los cambios en los valores de absorbancia según la inhibición del crecimiento de la bacteria expuesta y no expuestas a las sustancias antimicrobianas. Cada grupo se analizó por triplicado.

Ensayo de halo de inhibición de las AgNPs

Se inocularon placas con medios nutritivos (agar infusión cerebro- corazón, BHI) de cada muestra bacteriana estandarizada con un asa bacteriológica para el desarrollo de un extendido bacteriano uniforme. Se colocaron cuatro discos de difusión de 5 mm de diámetro apilados por cada tratamiento en cada caja (PPS, AgNPs, CaOH, PPS/AgNPs, PPS/

CaOH, NaOCl y solución fisiológica (SF)). Los discos fueron embebidos en cada tratamiento por 10 segundos y colocados en las placas. Todas las cajas se almacenaron bajo incubación a 37 °C durante 24 horas por triplicado. La actividad de inhibición de crecimiento bacteriano se midió con un vernier digital a través de la diferencia del diámetro de la aureola de inhibición menos el diámetro de las muestras (disco de difusión) expresado en milímetros.

Análisis estadístico

Todos los ensayos usaron reactivos a nivel químico desde compañías internacionales especializadas (CTR Scientific, Monterrey, Mexico; Sigma Aldrich, St. Louis, MI, USA; BD™ Difco™, Rockville, MD, USA). Los equipos de evaluación especializados pertenecen a compañías internacionales (DLS, SZ-100 series, HORIBA Scientific, EE. UU.) y fueron operados por expertos en el área de materiales nanoestructurados. Los microorganismos usados fueron cepas de referencia estandarizadas desde un catálogo internacional (ATCC, American Type Culture Collection, *Enterococcus faecalis*, 29212) y fueron asignados de forma aleatoria a todos los tratamientos antimicrobianos. Todas las pruebas antimicrobianas usaron a la SF como control negativo (sin efecto antimicrobiano) y soluciones a base de CaOH fueron usados como controles positivos (con efecto antimicrobiano). Para todos los casos, se usaron métodos microbiológicos internacionales estandarizados previamente reportados con examinadores previamente calibrados y expertos en las áreas odontológicas y microbiológicas. Todas las pruebas fueron desarrolladas por triplicado.

Los resultados se presentaron como medias acompañadas de sus respectivas desviaciones estándar. Las diferencias entre los grupos se evaluaron mediante las pruebas U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis para variables con distribución no paramétrica. El análisis estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics (versión 25, Chicago, IL, USA). Se consideró significancia estadística cuando el valor de p fue menor a 0.05.

1. Resultados

Las características de las nanopartículas utilizadas se observan en el Cuadro 1. Se obtuvieron AgNPs de tamaño pequeño (6.6 ± 0.8 nm) (Figura 1) y con un

potencial zeta que mostró cargas negativas estables y definidas (-35 ± 3.3 mV). Con las características ya mencionadas, se asegura que se obtuvo un material con partículas uniformes y eléctricamente estables.

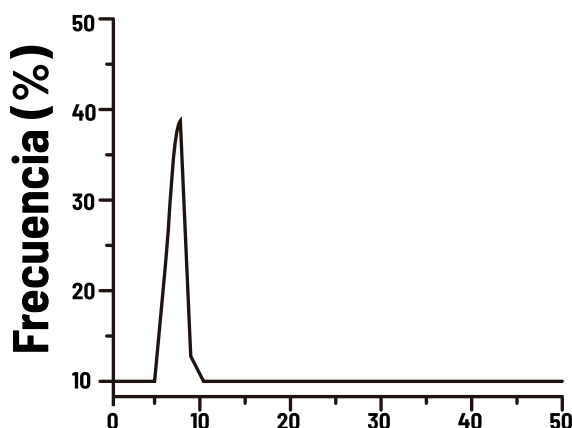


Figura 1. Distribución del tamaño de AgNPs analizadas por DLS.

Cuadro 1. Caracterización de AgNPs.		
Diámetro (DLS) (nm)	Concentración inicial (µg/mL)	Potencial zeta (mV)
6.6 ± 0.8	1070	-35 ± 3.3

DLS = dispersión dinámica de luz. DLS y potencial zeta son expresados en promedios y desviaciones estándar.

Los resultados de la prueba de concentración mínima inhibitoria de diferentes tratamientos contra la bacteria *E. faecalis* se muestran en la Figura 2 y en el Cuadro 2. En general, la distribución de las concentraciones fue muy variada. Particularmente, las AgNPs en combinación PPS mostraron un efecto inhibitorio mayor a comparación del resto de los tratamientos. Por otro lado, en el PPS el efecto inhibitorio es menor, requiriendo una mayor concentración para inhibir el crecimiento bacteriano (2916.66 ± 1262.95 µg/mL). Tanto AgNPS/PPS, PPS y AgNPs mostraron una actividad antimicrobiana estadísticamente significativa frente a los otros grupos. Dicho lo anterior, las AgNPs combinadas mostraron en esta prueba tener un buen efecto antibacteriano a la menor concentración (4.179 ± 0.0 µg/mL) que el resto de los tratamientos empleados.

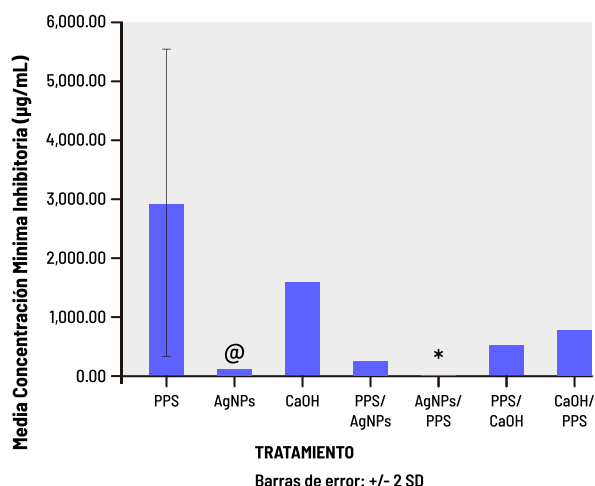


Figura 2. Actividad antimicrobiana de los diferentes tratamientos respecto a las CMIs. PPS=Propóleo, AgNPs =Nanopartículas de Plata, CaOH= Hidróxido de calcio

Los signos +, @ y * indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) con todos los grupos.

En la Figura 3 se observa la cinética de actividad antibacteriana de los tratamientos aplicados en la bacteria *E. faecalis* a través del tiempo (inicial, 0.5, 1, 3, 6, 8, 24, 48 y 72 horas). De manera general, se aprecia una actividad variable entre un tratamiento y otro. Específicamente, el grupo de PPS mostró una actividad antibacteriana la mayor parte del tiempo y, en comparación del grupo control (sin tratamiento), tuvo un crecimiento bacteriano muy bajo. Por su parte las AgNPs mostraron un crecimiento bacteriano muy a la par del grupo control. Lo anterior sugiere que PPS tienen un efecto antibacteriano prolongado (72 horas) frente a la *E. faecalis*.

Cuadro 2. Concentraciones mínimas inhibitorias de los diversos materiales terapéuticos.

Tratamiento	Concentración Mínima Inhibitoria (µg/mL)*
PPS	2916.66 ± 1262.95
AgNPs	55.72 ± 19.305
CaOH	562.5 ± 0
PPS/AgNPs	273.43 ± 0
AgNPs/PPS	4.17 ± 0
PPS/CaOH	546.875 ± 0
CaOH/PPS	785.25 ± 0
Control	0 ± 0
Valor p	0.003

*Valores mostrados de promedio y desviación estándar.

Figura 2. Actividad antimicrobiana de los diferentes tratamientos respecto a las CMLs. PPS=Propóleo, AgNPs =Nanopartículas de Plata, CaOH= Hidróxido de calcio

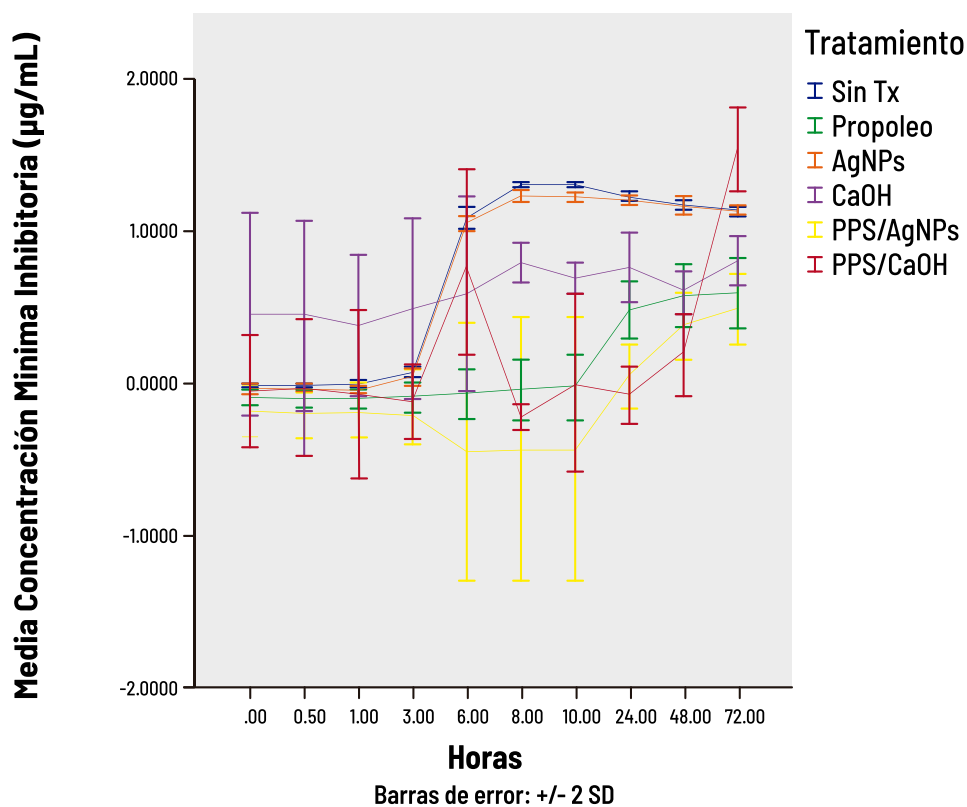


Figura 3. Prueba de sustentividad antibacteriana. PPS=Propóleo, AgNPs =Nanopartículas de Plata, CaOH= Hidróxido de calcio.

En el Cuadro 3 se muestran los valores promedios de los halos de inhibición en agar de los diferentes tratamientos. NaOCl y PPS mostraron una inhibición significativamente mayor en comparación con los demás grupos. La combinación de PPS/AgNPs mostró un halo de inhibición más grande que las AgNPs, pero menor que el propóleo. En esta prueba se mostró que PPS/AgNPs tuvieron un mayor efecto antibacteriano que el de las AgNPs; sin embargo, fue menor que el del PPS (Figura 5).

Cuadro 3. Resultados de halos de inhibición	
Tratamiento	Halo de Inhibición (mm)
PPS	5.57 ± 4.27
AgNPs	0.66 ± 0.28
CaOH	0.81 ± 1.62
PPS/AgNps	1 ± 0.58
PPS/CaOH	0.96 ± 0.43
NaOCl	23.89 ± 5.48
Control	0 ± 0
Valor p	0.003
*Valores mostrados de promedio y desviación estándar.	



Figura 4. Caja de agar representativa con las diferentes actividades inhibitorias de los tratamientos utilizados.

DISCUSIÓN

En este estudio se evidenció que la combinación PPS/AgNPs tiene efectos de inhibición bacteriano y de substantividad eficientes para mantener los niveles bajos de crecimiento de la bacteria *E. faecalis*. También, el efecto antimicrobiano se vio aumentada en la combinación de PPS con CaOH, mientras

que cada uno de ellos tiene una menor actividad antibacterial de forma individual. Estos hallazgos ayudarán a promover la búsqueda de fórmulas antimicrobianas que auxilien en el combate de las enfermedades endodónticas persistentes en las que se ve involucrada la bacteria *E. faecalis*, teniendo mayor éxito en los tratamientos de endodoncia.

Se han realizado estudios similares al presente, en los que se han comparado el efecto antibacteriano de diversas sustancias con la bacteria *E. faecalis*, entre los que se destacan el propóleo, las AgNPs y el CaOH.¹⁶⁻¹⁸ Un estudio evaluó el efecto antimicrobiano del propóleo en soluciones alcohólicas y el aloe vera frente a la bacteria *E. faecalis*, y este último también se puso a prueba contra *Streptococcus mutans* (*S. mutans*) y *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*). Las concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) de los extractos etanólicos de propóleo, del gel de aloe vera y del extracto acuoso de propóleo (0 % de alcohol) fueron de 313 µg/ml, 750 µg/ml, 2250 µg/ml y ≥ 500 µg/ml, respectivamente, valores considerablemente superiores a los observados para la clorhexidina. En la prueba de contacto directo, a diferencia del aloe vera, los tres extractos de propóleo evidenciaron actividad antibacteriana frente a *E. faecalis*. El gel de aloe vera también mostró un efecto antibacteriano significativo contra *S. aureus* y *S. mutans*. Tanto los extractos hidroalcohólicos de

propóleo como el gel de aloe vera presentaron actividad antibacteriana contra *E. faecalis*; sin embargo, el propóleo demostró mayor potencia que el aloe vera.¹⁶ En otro estudio se examinó el efecto bactericida de pasta doble antibiótica (DAP), AgNPs y biovidrio multiporoso amorfo a medida (TAMP-BG) en biofilm de tres semanas de desarrollo de *E. faecalis*, en donde los resultados mostraron que 1000 µg/mL de DAP o AgNP al 0.02% proporcionaron efectos antibiofilm adecuados en 24 horas y en 7 días.¹⁷ Además, el efecto del CaOH en una pasta triple antibiótica y bromelina, en el cual se midió la densidad óptica de las virutas de dentina de dientes extraídos utilizando un espectrofotómetro, y se encontró que la eficiencia antimicrobiana de la bromelina es más efectiva que el CaOH y comparable a la de TAP contra *E. faecalis*.¹⁹ En este estudio se observó una actividad antibacteriana importante del propóleo y de la AgNPs, en donde se obtuvo inhibición de crecimiento bacteriano en ambos casos. Sin embargo, las AgNPs fueron más eficientes que el PPS, ya que la concentración requerida para inhibir a la *E. faecalis* fue menor.¹⁹ Este fenómeno puede explicarse debido a que las nanopartículas de plata (AgNPs) presentan un mecanismo de acción en el cual su carga positiva interactúa con las paredes celulares bacterianas de carga negativa. Esta interacción favorece su adhesión y posterior penetración en la célula bacteriana, lo que ocasiona alteraciones en la integridad y permeabilidad de la pared celular. Asimismo, las AgNPs muestran una actividad antibacteriana significativa frente a bacterias Gram positivas y Gram negativas, incluyendo cepas con resistencia a múltiples fármacos.¹⁹

El CaOH, por su parte, en este estudio no demostró alta eficiencia en cuanto a actividad antibacteriana, tal y como se compara en el estudio descrito. Se realizaron estudios en donde se combinaron diferentes sustancias de manera similar al presente para obtener una mayor acción antibacteriana contra diversas bacterias.^{13,20,21} En un estudio se evaluó la combinación de CaOH con PPS y el CaOH por sí solo por la actividad antimicrobiana contra cultivos polimicrobianos recolectados de 16 conductos radiculares necróticos y fistulas en molares primarios de niños de 4 a 8 años de ambos sexos. La asociación entre propóleo e hidróxido de calcio resultó eficaz para controlar las infecciones dentales *in vitro*.²⁰ Existen también reportes donde el PPS se combina con nanopartículas de diferentes materiales. En un

estudio se realizaron nanopartículas de propóleo con quitosano y se evaluó su efecto antimicrobiano frente a *E. faecalis* en diferentes concentraciones, siendo el de 250 µL el que mostró mayor efectividad a comparación del PPS solo y una actividad antibacteriana comparable a la CHX al 2%.²¹ En otro estudio se midió el resultado de suturas recubiertas de propóleo y BioAgNPs al entrar en contacto con diferentes bacterias, las cuales mostraron una potente actividad antibacteriana contra bacterias patógenas gramnegativas y grampositivas, *Escherichia coli* y *S. aureus*, respectivamente.¹³ En nuestro estudio, la combinación de PPS /AgNPs mostró buena actividad antimicrobiana contra *E. faecalis*. Se sugiere que existe una sinergia al combinarse PPS y AgNPs. El propóleo, entre sus componentes, contiene flavonoides que pueden causar daño a la pared celular e inhibición de la función de la membrana, junto con una baja cantidad de ATP y consecuentemente, baja reproducción bacteriana. También se han determinado numerosos componentes químicos responsables de la actividad antibacteriana del propóleo, como pinocembrina, naringenina, pb-3-o-ac y galangina.²²

Se pueden resaltar distintas fortalezas, en lo que se refiere al tema de investigación, ya que se encuentran reportados muy pocos artículos en los que se aplique PPS con AgNPs. También se puede destacar la fortaleza de la parte metodológica al incluir dos métodos para evaluar el efecto antimicrobiano de diferentes sustancias contra la *E. faecalis*. Asimismo, las limitaciones del estudio fueron identificadas primordialmente con la ausencia de toma de muestra clínica de pacientes con alguna condición endodóntica. Este estudio puede recomendar el desarrollo de otros estudios que incluyan evaluaciones microbiológicas en pacientes con diagnóstico de, por lo menos, absceso apical crónico con o sin tratamiento de endodoncia previo, y que posteriormente se evalúen efectos antibacterianos a largo plazo, citotóxicos, biocompatibles, cicatrizantes, teratogénicos, histopatológicos, entre otros. Aunque este estudio podría recomendar el uso potencial de PPS/AgNPs para el tratamiento y control del *E. faecalis* en tratamientos de endodónticos convencionales, es necesario proponer nuevos enfoques de protocolos de investigación que evalúen el uso seguro de las PPS/AgNPs como auxiliar en la prevención de enfermedades endodónticas en piezas dentales tratadas previamente.

CONCLUSIONES

La combinación de PPS/AgNPs utilizada en este estudio demostró actividades antimicrobianas aceptables contra la bacteria *E. faecalis*. Así mismo, se identificó una posible sinergia que potencializa el efecto antimicrobiano de las AgNPs y del PPS al combinarse entre sí. Hasta nuestro conocimiento, este es el primer estudio que evaluó la actividad bactericida de la combinación PPS/AgNPs contra la *E. faecalis*. Aunque PPS/AgNPs puede ser una opción complementaria para el tratamiento de enfermedades en piezas previamente tratadas endodónticamente, es recomendable continuar con el desarrollo de nuevas investigaciones utilizando diferentes y mejores modelos de simulación de los conductos radiculares en condiciones clínicas para proponer terapéuticas endodónticas más predecibles y seguras.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Departamento de Estomatología, a los programas de especialidad en Endodoncia y a la Maestría en Ciencias Odontológicas del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por el apoyo y las facilidades brindadas para el desarrollo de este estudio.

Conflicto de intereses.

Los autores manifiestan que no existe ningún conflicto de interés relacionado con este estudio.

Declaración de la contribución de los autores

KLBS, OAHC, FPMC, DAGG y LFEC conceptualizaron y diseñaron el estudio. KLBS, ADC, JCCG y LFEC participaron en el análisis y la interpretación de los datos. KLBS y LFEC elaboraron la redacción del borrador inicial. Todos los autores realizaron una revisión sustancial del manuscrito y aprobaron su última versión.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran que no presentan conflictos de interés.

Aspectos éticos de la investigación

El presente estudio contó con la aprobación del Comité de Investigación de la Maestría en Ciencias Odontológicas y del Comité de Bioética, ambos del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, como parte del proyecto con número de registro RPI2022ICB10.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Society Of Cariology And Endodontology CSAC. Guidelines for Root Canal Therapy. Chinese J Dent Res. 2015;18(4):213-216. DOI: <https://doi.org/10.3290/j.cjdr.a35144>
2. Siqueira Junior JF, Rôças I das N, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Ricucci D. Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. Braz Oral Res. 2018;32(suppl 1):e65. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0065>
3. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. Br Dent J. 2014;216(6):299-303. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.204>
4. Abuhaimed TS, Abou Neel EA. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. Biomed Res Int. 2017;2017:1930360. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/1930360>
5. Bhandi S, Mehta D, Mashyakhy M, et al. Antimicrobial Efficacy of Silver Nanoparticles as Root Canal Irrigant's: A Systematic Review. J Clin Med. 2021;10(6):1-11. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm10061152>
6. Ibrahim AM, Zakhary SY, Amin SAW. Calcium hydroxide intracanal medication effects on pain and flare-up: a systematic review and meta-analysis. Restor Dent Endod. 2020;45(3):e26. DOI: <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e26>
7. Kim D, Kim E. Antimicrobial effect of calcium hydroxide as an intracanal medicament in root canal treatment: a literature review - Part I. In vitro studies. Restor Dent Endod. 2014;39(4):241-252. DOI: <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.4.241>
8. Valverde ME, Baca P, Ceballos L, Fuentes MV, Ruiz-Linares M, Ferrer-Luque CM. Antibacterial efficacy of several intracanal medicaments for endodontic therapy. Dent Mater J. 2017;36(3):319-324. DOI: <https://doi.org/10.4012/dmj.2016-102>

9. Vasudeva A, Sinha DJ, Tyagi SP, Singh NN, Garg P, Upadhyay D. Disinfection of dentinal tubules with 2% Chlorhexidine gel, Calcium hydroxide and herbal intracanal medicaments against *Enterococcus faecalis*: An in-vitro study. *Singapore Dent J*. 2017;38:39-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdj.2017.06.001>
10. Ahangari Z, Naseri M, Vatandoost F. Propolis: Chemical Composition and Its Applications in Endodontics. *Iran Endod J*. 2018;13(3):285-292. DOI: <https://doi.org/10.22037/iej.v13i3.20994>
11. Al-Shaher A, Wallace J, Agarwal S, Bretz W, Baugh D. Effect of propolis on human fibroblasts from the pulp and periodontal ligament. *J Endod*. 2004;30(5):359-361. DOI: <https://doi.org/10.1097/00004770-200405000-00012>
12. Parolia A, Kundabala M, Rao NN, et al. A comparative histological analysis of human pulp following direct pulp capping with Propolis, mineral trioxide aggregate and Dycal. *Aust Dent J*. 2010;55(1):59-64. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2009.01179.x>
13. Baygar T. Characterization of silk sutures coated with propolis and biogenic silver nanoparticles (AgNPs); an eco-friendly solution with wound healing potential against surgical site infections (SSIs). *Turkish J Med Sci*. 2020;50(1):258-266. DOI: <https://doi.org/10.3906/sag-1906-48>
14. Adomavičiūtė E, Stanys S, Žilius M, Juškaitė V, Pavilionis A, Briedis V. Formation and Biopharmaceutical Characterization of Electrospun PVP Mats with Propolis and Silver Nanoparticles for Fast Releasing Wound Dressing. *Biomed Res Int*. 2016;2016:4648287. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/4648287>
15. Hernández-Venegas PA, Martínez-Martínez RE, Zaragoza-Contreras EA, et al. Bactericidal Activity of Silver Nanoparticles on Oral Biofilms Related to Patients with and without Periodontal Disease. *J Funct Biomater*. 2023;14(6):311. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfb14060311>
16. Ehsani M, Amin Marashi M, Zabihi E, Issazadeh M, Khafri S. A Comparison between Antibacterial Activity of Propolis and Aloe vera on *Enterococcus faecalis* (an In Vitro Study). *Int J Mol Cell Med [Internet]*. 2013 [citado: 14/08/2024];2(3):110-116. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3920536/>
17. Sadek RW, Moussa SM, El Backly RM, Hammouda AF. Evaluation of the Efficacy of Three Antimicrobial Agents Used for Regenerative Endodontics: An In Vitro Study. *Microb Drug Resist*. 2019;25(5):761-771. DOI: <https://doi.org/10.1089/mdr.2018.0228>
18. Chandwani ND, Maurya N, Nikhade P, Chandwani J. Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of calcium hydroxide, triple antibiotic paste and bromelain against *Enterococcus faecalis*: An In Vitro study. *J Conserv Dent*. 2022;25(1):63-67. DOI: https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_461_21
19. Halkai K, Mudda J, Shivanna V, Rathod V, Halkai R. Antibacterial efficacy of biosynthesized silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis* Biofilm: An in vitro study. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(2):237. DOI: https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_828_17
20. Mendez-Pfeiffer P, Ballesteros-Monrreal MG, Gaona-Ochoa J, et al. Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Seasonal Samples of Sonoran Desert Propolis: Evaluation of Its Antibacterial Activity against Clinical Isolates of Multi-Drug Resistant Bacteria. *Pharmaceutics*. 2022;14(9):1853. DOI: <https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS14091853/S1>
21. Parolia A, Kumar H, Ramamurthy S, Davamani F, Pau A. Effectiveness of chitosan-propolis nanoparticle against *Enterococcus faecalis* biofilms in the root canal. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):339. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01330-0>
22. Forma E, Bryś M. Anticancer Activity of Propolis and Its Compounds. *Nutrients*. 2021;13(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13082594>