

Investigación original

Efectividad antibacteriana de un nanorecubrimiento de plata-cobre para mejorar los equipos de protección personal utilizados en las áreas médica y odontológica

Velia Mariana Pérez-Bucio¹, Alejandro Lee-Colín¹, Lorena Reyes-Carmona², Gina Prado-Prone², Sandra E. Rodil³, Argelia Almaguer-Flores²

¹ Especialidad en Periodoncia e implantología, División de estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Odontología, Universidad Nacional Autónoma de México.

² Laboratorio de Biointerfases, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Odontología, Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México.

Autor de correspondencia:

Dra. Argelia Almaguer Flores

E-mail: aalmaguer@comunidad.unam.mx

Recibido: 29 agosto 2024

Aceptado: 22 noviembre 2024

Citar como:

Pérez-Bucio VM, Lee-Colín A, Reyes-Carmona L, Prado-Prone G, Rodil SE, Almaguer-Flores A. Efectividad antibacteriana de un nanorecubrimiento de plata-cobre para mejorar los equipos de protección personal utilizados en las áreas médica y odontológica. [Antibacterial Effectiveness of a Silver-Copper Nano-Coating to Improve Personal Protective Equipment Used in the Medical and Dental Fields]. *Rev Odont Mex.* 2025; 29(1): 3-13. DOI: 10.22201/fo.1870199xp.2025.29.1.89244

RESUMEN

Introducción: el equipo de protección personal (EPP) se utiliza para proteger al personal de la salud, como médicos y dentistas, del contacto con microorganismos potencialmente patógenos que pueden estar presentes en los aerosoles generados por fluidos como la sangre y la saliva. **Objetivo:** evaluar el efecto antibacteriano del nanorecubrimiento de plata-cobre (SakCu®) depositado en

textiles de polipropileno sobre especies bacterianas frecuentemente asociadas a infecciones nosocomiales y microorganismos provenientes de muestras de biopelícula subgingival de pacientes con periodontitis, simulando el contacto con gotas contaminadas generadas durante la atención dental. **Materiales y Métodos:** el estudio experimental *in vitro* se llevó a cabo por medio de ensayos con cepas nosocomiales de las siguientes especies bacterianas: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*. Mientras que, para los ensayos clínicos, se tomaron muestras de biopelícula subgingival de cinco pacientes diagnosticados con periodontitis. Todos los ensayos consistieron en mantener el contacto de los microorganismos con el nanorecubrimiento durante 24 horas. **Resultados:** los resultados mostraron que hubo una disminución de la viabilidad celular de las cepas nosocomiales cuando estuvieron en contacto con el nanorecubrimiento, siendo *P. aeruginosa* la bacteria que presentó mayor sensibilidad al contacto seguida de *S. epidermidis* y *S. aureus*. Sin embargo, *E. coli* pareció no ser afectada por el nanorecubrimiento. Respecto a la evaluación de las bacterias provenientes de las muestras de biopelícula subgingival, hubo una disminución de entre 32.9% y 80% respecto al número de microorganismos que fueron expuestos al nanorecubrimiento, comparado con el número de bacterias presentes en los textiles del polipropileno sin recubrir. **Conclusiones:** los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran el potencial del nanorecubrimiento de plata-cobre para ser utilizado en equipo de protección personal fabricado con textiles de polipropileno como batas, gorros y cubrebocas, comúnmente usados en entornos clínicos.

Palabras clave: equipo de protección personal, nanorecubrimiento, antimicrobiano, plata, cobre.

INTRODUCCIÓN

Durante la atención dental, los pacientes y los dentistas están expuestos al contacto con bacterias, virus y hongos, entre otros microorganismos patógenos que pueden estar presentes en los aerosoles generados por fluidos como la sangre y la saliva, y la utilización de piezas rotatorias y equipos ultrasónicos. Es por eso que el principal objetivo del equipo de protección personal (EPP) es el de proteger al profesional de la salud y a los pacientes de estas salpicaduras o aerosoles. Uno de los primeros reportes documentados del uso del EPP data del siglo XIV, donde los médicos se protegían del contagio de la peste negra por el contacto con pacientes enfermos¹. No fue hasta la década de los 80, a raíz de la pandemia de VIH-SIDA y más recientemente, a la pandemia de SARS-CoV-2 (COVID-19), que el uso del EPP para el control de infecciones en el ámbito médico y odontológico se ha vuelto imprescindible^{2,3}.

La cavidad bucal alberga una gran cantidad de microorganismos que normalmente conviven de manera homeostática con el hospedero⁴. Sin embargo, existen enfermedades como la periodontitis que alteran dicha homeostasis y cuyo tratamiento incluye diversos procedimientos con equipos ultrasónicos⁵, los cuales provocan la generación de gotas y aerosoles que pueden estar contaminados con diversos microorganismos presentes en la cavidad oral⁶. Tales microorganismos pueden mantenerse viables durante minutos e incluso horas contaminando el aire de las clínicas odontológicas^{7,8}, el EPP y las superficies del consultorio dental^{9,10}.

La American Dental Association (ADA) ha reconocido a los aerosoles dentales como potenciales focos para el contagio de enfermedades como tuberculosis, influenza, infecciones por *Legionella* sp. y el síndrome respiratorio agudo severo (SARS)¹¹. Durante la pandemia de

COVID-19, un estudio publicó la estimación del riesgo de exposición y el uso del EPP de profesionales dentales hacia diversos procedimientos clínicos, siendo los procedimientos de mayor riesgo de exposición aquellos en los que se usa equipo de ultrasonido¹². También se ha investigado el potencial de contaminación de diversos componentes del EPP después de tratamientos que producen aerosoles, los resultados mostraron que los cubrebocas eran de los aditamentos más contaminados, siendo las bacterias más detectadas: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp., *Pseudomonas* spp. y *Escherichia coli*¹¹.

El polipropileno (PP) es uno de los materiales mayormente utilizados en la fabricación de los EPPs debido a sus propiedades físicas de filtración. Es un textil sintético no tejido y ligero, resultado de la polimerización del monómero de propileno¹³. Ejemplos de EPP hechos a base de textiles de PP, son los cubrebocas, batas, gorros, campos quirúrgicos, entre otros¹⁴. A pesar de sus cualidades como material filtrante, los textiles de PP no cuentan con propiedades antimicrobianas inherentes al material, por lo que la acumulación de diferentes microorganismos con el tiempo de uso podría convertirse en un fómite o fuente de infección.

Para aumentar la efectividad de los cubrebocas y del EPP, se ha estudiado la incorporación de elementos metálicos como el cobre (Cu)¹⁵ y nanopartículas de plata (Ag)¹⁶. Recientemente, se desarrolló un nanorecubrimiento de 30 nm de grosor de Ag y Cu depositado sobre textiles de PP llamado SakCu®. Este nanorecubrimiento demostró tener propiedades virucidas contra el SARS-CoV-2 y bacterias patógenas del grupo ESKAPE¹⁷.

El propósito del presente estudio fue evaluar el efecto antibacteriano del nanorecubrimiento SakCu® depositado sobre textiles de PP mediante dos aproximaciones: la primera consistió en la utilización de cepas de especies bacterianas frecuentemente asociadas a infecciones de tipo nosocomial como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*. En la segunda, propusimos evaluar la capacidad antimicrobiana de dicho nanorecubrimiento utilizando microorganismos provenientes de muestras de biopelícula subgingival de pacientes con periodontitis, simulando el contacto con gotas contaminadas generadas durante la atención dental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue un estudio experimental *in vitro*. El depósito del nanorecubrimiento bimetálico de Ag-Cu sobre los textiles de PP se realizó mediante la técnica de pulverización catódica o *magnetron sputtering*, en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Las condiciones del depósito y la caracterización fisicoquímica del nanorecubrimiento ya han sido publicadas previamente^{17,18}. Una vez hecho el depósito del nanorecubrimiento, se cortaron discos de 1 cm de diámetro tanto del PP recubierto con Ag-Cu como del PP sin recubrir (control).

Para los ensayos con las especies bacterianas asociadas a infecciones nosocomiales se utilizaron las cepas de *Escherichia coli* (ATCC® 33780), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC® 43636), *Staphylococcus aureus* (ATCC® 25923) y *Staphylococcus epidermidis* (ATCC® 14990). Las cepas se cultivaron en agar soya tripticasa (TSA) (BD BBL™ Trypticase™ Soy Agar, Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, Nueva Jersey, Estados Unidos) y se incubaron a 35°C durante 24 horas para posteriormente ser transferidas hasta obtener cultivos puros. De cada bacteria se obtuvo una suspensión en caldo de soya tripticasa (TSB) (BD BBL™ Trypticase™ Soy Broth, Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, Nueva Jersey, Estados Unidos) ajustada a una concentración de 1×10^7 células/mL. Una gota de 40 µL de esta suspensión fue colocada en

cada uno de los discos previamente esterilizados de PP sin recubrimiento y de PP con Ag-Cu, se dejaron incubar durante 24 horas a 35°C en condiciones aeróbicas. Los ensayos se realizaron por triplicado, colocando un disco extra en cada experimento para poder ser observado y analizado de manera cualitativa por microscopía óptica.

La evaluación antimicrobiana se llevó a cabo mediante el ensayo colorimétrico de viabilidad celular con MTT (bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolio) (Cell Proliferation Kit I (MTT), Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Alemania), el cual evalúa de manera indirecta la viabilidad celular de bacterias metabólicamente activas¹⁹. Después de la incubación, cada uno de los discos fue lavado dos veces con TSB y transferido a un pozo de una placa de cultivo nueva. Posteriormente, se adicionó TSB y el MTT. Las muestras fueron incubadas por 3 horas en oscuridad a 35°C y luego fueron procesadas para obtener alícuotas para ser analizadas en un espectrofotómetro (FilterMax™ F5 Multi-Mode Microplate Readers, Molecular Devices, LLC., San José, California, Estados Unidos) a una longitud de onda de $\lambda = 570$ nm.

Con las absorbancias obtenidas del ensayo de MTT se determinó el porcentaje de viabilidad celular (VC %) mediante la siguiente fórmula:

$$VC\% = \left(\frac{O.D \text{ muestra} - O.D \text{ blanco}}{O.D \text{ control} - O.D \text{ blanco}} \right) \times 100$$

En donde:

O.D. muestra: corresponde a la absorbancia de las alícuotas de las muestras de las bacterias que estuvieron en contacto con el nanorecubrimiento.

O.D control: corresponde a la absorbancia de las muestras de bacterias que estuvieron en contacto con el PP sin recubrimiento.

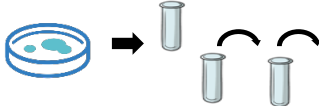
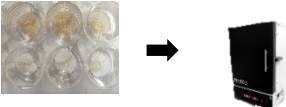
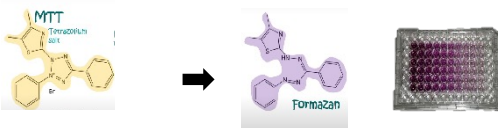
O.D blanco: corresponde a la absorbancia del medio de cultivo sin bacterias después de la incubación con el PP con y sin el nanorecubrimiento.

El análisis cualitativo mediante microscopía óptica se llevó a cabo utilizando un microscopio serie Eclipse Ni (Nikon Instruments Inc., Tokyo, Japón). La Tabla 1 presenta la secuencia metodológica de este ensayo.

Respecto al ensayo con microorganismos de biopelícula subgingival, esta parte del estudio comprendió la toma de muestras de biopelícula subgingival de pacientes diagnosticados con periodontitis, estadio III o IV, tratados en la Clínica de Periodoncia e Implantología de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Odontología, UNAM. El estudio fue realizado con la aprobación del Comité de Ética e Investigación de la Facultad de Odontología (CIE/0102/08/2022) y todos los pacientes asintieron a firmar el Consentimiento informado para participar. Fueron incluidos cinco pacientes que no hubieran recibido ningún tipo de tratamiento periodontal más allá de profilaxis, que no tuvieran compromiso sistémico y que tuvieran presente alguno de los primeros molares con profundidad al sondaje de ≥ 5 mm. Cada paciente recibió una evaluación periodontal completa realizada por un especialista experimentado de acuerdo con el procedimiento previamente descrito en la literatura²⁰⁻²².

Después de la evaluación clínica, se recolectaron las muestras de biopelícula subgingival del sitio mesiobucal de cualquiera de los primeros molares presentes en cada paciente, utilizando curetas Gracey 11/12 estériles (Harmony™ Handle, Hu-Friedy Mfg. Co., Chicago, Illinois, Estados Unidos). Cada muestra fue colocada en un tubo para microcentrifuga con caldo de cultivo de *Mycoplasma*, (BBL™ Mycoplasma Broth Base, Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, Nueva Jersey, Estados Unidos) enriquecido con 0.3 µg/mL de vitamina K (Menadione, Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, Missouri, Estados Unidos) y 5 µg/mL de hemina (Hemin, Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, Missouri, Estados Unidos). En seguida, cada muestra fue dispersada mediante vortex

Tabla 1.
Secuencia metodológica del ensayo con cepas asociadas a infecciones nosocomiales.

Paso	Descripción	
I	Cultivos puros de las cepas bacterianas y obtención de una solución con 1x10 ⁷ células/mL de cada cepa.	
II	Inoculación de cada cepa sobre discos del PP sin recubrir y PP con Ag-Cu e incubación por 24 horas.	
III	Ensayo de viabilidad celular con MTT.	
IV	Análisis cuantitativo (MTT, absorbancia) y cualitativo (Microscopía óptica).	

para obtener una suspensión bacteriana homogénea y una gota de 40 µL de esta fue colocada sobre los discos de PP con y sin el nanorecubrimiento. Las muestras fueron incubadas por 24 h a 35°C en una cámara de anaerobiosis (Coy Laboratory Products Inc., Grass Lake, Michigan, Estados Unidos) con atmósfera de 80% N₂, 10% CO₂ y 10% H₂ (Figura 1. A). Después del tiempo de incubación, cada disco fue procesado para desprender las bacterias presentes en cada uno (Figura 1. B). De cada muestra se realizaron cinco diluciones seriales 1:10 y se sembraron 5 µL de cada una de ellas en cajas de Petri con agar enriquecido (TSA, Brain Heart Infusion Agar, Yeast extract, suplementado con 25 mL de sangre de carnero desfibrinada (5%), 5 mL vitamina K (0.3 µg/mL) y 5 mL de hemina (5 µg/mL)). Una vez sembradas todas las diluciones, las cajas Petri fueron incubadas a 35°C en condiciones anaeróbicas por 5 días. Después de la incubación, se realizaron los conteos de las unidades formadoras de colonias (UFCs) de cada una de las diluciones sembradas (Figura 1. C). La efectividad antibacteriana del nanorecubrimiento de Ag-Cu sobre los microorganismos cultivables de cada una de las muestras de biopelícula subgingival, fue expresada como porcentaje de inhibición de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = \left(\frac{A1 - A2}{A1} \right) \times 100$$

Donde:
A1: número de UFCs que crecieron en el PP sin recubrimiento (control negativo).
A2: número de UFCs que crecieron en el PP en presencia del nanorecubrimiento de Ag-Cu (experimental).

Para el análisis estadístico, todos los resultados se expresaron como valores de la Media ± EEM (error estándar de la media). La significancia estadística se determinó mediante la prueba *t* de student pareada y se consideraron diferencias estadísticamente significativas a partir de una *p*<0.05, utilizando el programa GraphPad Prism versión 8.0.1 (GraphPad Software Inc., San Diego, California, Estados Unidos).

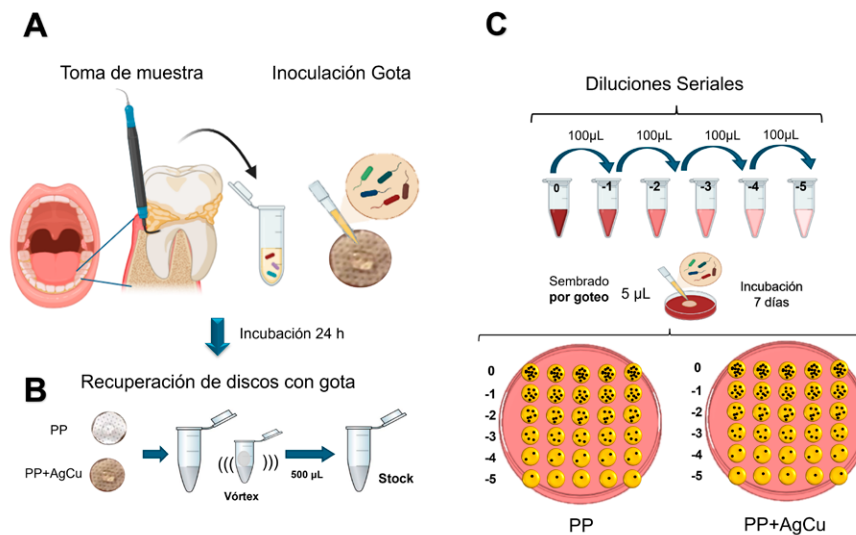


Figura 1. Procesamiento de muestras de biopelícula. A. Toma de la muestra de biopelícula e inoculación sobre los textiles de PP con y sin el nanorecubrimiento de Ag-Cu. **B.** Recuperación de los discos inoculados con microorganismos expuestos por 24 hrs al PP sin recubrir y PP con Ag-Cu. **C.** Diluciones seriadas y sembrado en cajas de Petri con agar para la cuantificación de las UFCs.

RESULTADOS

Los resultados del análisis cuantitativo para determinar la capacidad antibacteriana del nanorecubrimiento mediante el ensayo de viabilidad celular con MTT de las bacterias nosocomiales utilizadas en este estudio, se presentan en la Figura 2. A. Se puede observar que hubo una disminución de la viabilidad celular cuando las bacterias estuvieron en contacto con el nanorecubrimiento, siendo *P. aeruginosa* la que presentó mayor sensibilidad al contacto con una viabilidad de $44.2 \pm 4.9\%$, seguida de *S. epidermidis* y *S. aureus* con un 59.4 ± 14.9 y $69.3 \pm 3.4\%$ de viabilidad, respectivamente. Sin embargo, *E. coli* pareció no ser afectada por el nanorecubrimiento, ya que su porcentaje de viabilidad celular se incrementó hasta $113.7 \pm 6\%$.

Respecto a la evaluación del efecto antibacteriano del nanorecubrimiento de Ag-Cu en contra de las especies bacterianas provenientes de las muestras de biopelícula subgingival de pacientes, la Figura 2. B muestra los resultados de los conteos de las UFCs de las bacterias expuestas a los textiles con y sin el nanorecubrimiento de Ag-Cu de cada muestra. En dichos resultados se observa una disminución en el crecimiento de microorganismos cuando fueron expuestos al PP con Ag-Cu, comparado con las bacterias presentes en el PP sin recubrir, de todas las muestras evaluadas. Esta disminución fue estadísticamente significativa en las muestras bacterianas que fueron expuestas al nanorecubrimiento vs. las que no fueron expuestas ($p < 0.05$ y $p < 0.001$).

El análisis cualitativo de las muestras con microscopía óptica (Figura 3) confirmó los hallazgos encontrados con el ensayo de MTT. Debido a la naturaleza del reactivo de MTT, a mayor cantidad de tinción morada, mayor cantidad de bacterias viables. En las microfotografías se puede observar que la tinción de la cepa de *E. coli* es muy similar cuando se comparó el PP sin recubrir y el PP con Ag-Cu, mientras que en las demás cepas se puede distinguir un efecto antibacteriano del nanorecubrimiento. Es importante observar que la topografía de las fibras del PP se mantiene aún después del depósito del nanorecubrimiento.

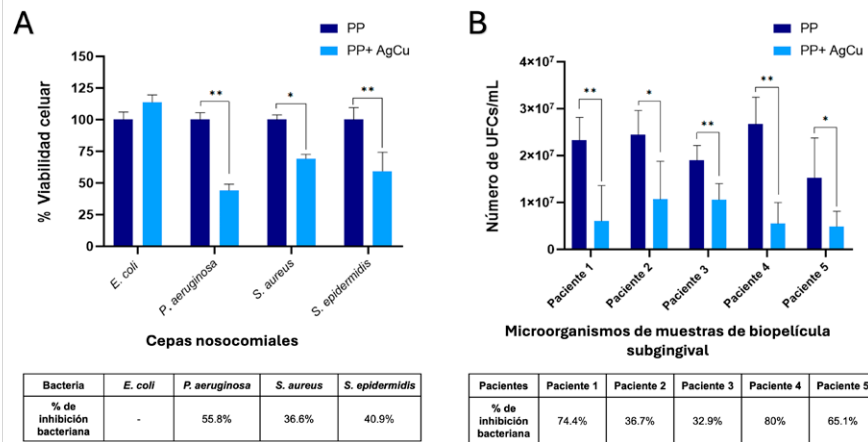


Figura 2. Viabilidad celular de los microorganismos expuestos a los textiles de PP con y sin el nanorecubrimiento. **A.** Resultados del ensayo con las cepas nosocomiales. **B.** Resultados del conteo de las UFCs/mL de microorganismos provenientes de las muestras de biopelícula subgingival de 5 pacientes con periodontitis. En la parte inferior de cada gráfica se presenta el porcentaje de inhibición de cada cepa o microorganismos obtenidos de las muestras de biopelícula subgingival. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

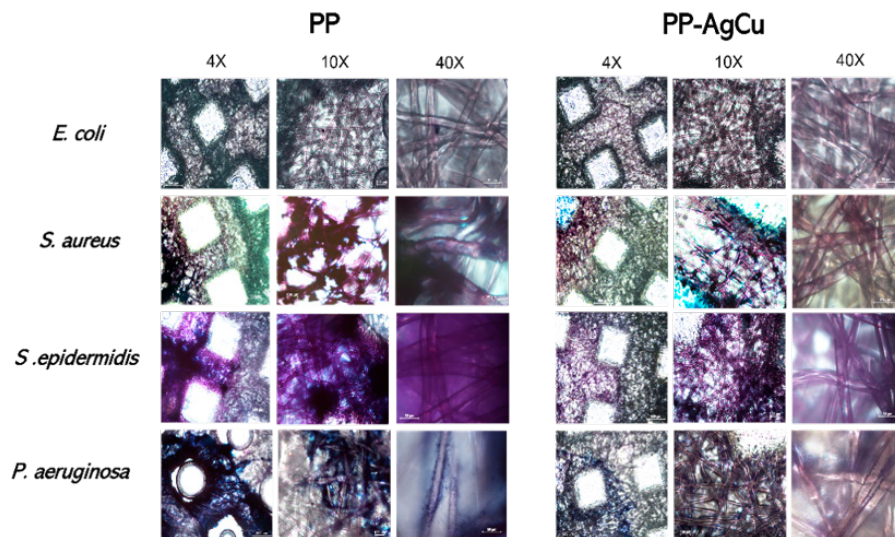


Figura 3. Análisis cualitativo de las cepas nosocomiales expuestas a los textiles de PP con y sin el nanorecubrimiento después de haber realizado el ensayo con MTT. Imágenes de microscopía óptica a 4X, 10X y 40X aumentos.

DISCUSIÓN

El principal objetivo de la presente investigación fue determinar el potencial antibacteriano de un recubrimiento de espesor nanométrico de plata-cobre (Ag-Cu) depositado sobre textiles de polipropileno (PP), para ser incorporado en la fabricación de equipo de protección personal (EPP), como cubrebocas, batas y gorros, y mejorar el control de infecciones en la medicina y

la odontología. La efectividad antimicrobiana del nanorecubrimiento fue examinada mediante dos pruebas; la primera, utilizando cepas de especies bacterianas frecuentemente asociadas a infecciones de tipo nosocomial y la segunda, evaluando microorganismos provenientes de muestras de biopelícula subgingival de pacientes con periodontitis.

El nanorecubrimiento fue depositado mediante la técnica de pulverización catódica o “*magnetron sputtering*”, un método físico que permite el depósito de películas nanométricas en superficies de distinta naturaleza^{23,24}. La efectividad antibacteriana del nanorecubrimiento en contra de las cuatro cepas bacterianas asociadas a infecciones nosocomiales probadas^{25,26}, mostró una alta efectividad especialmente contra *P. aeruginosa*, *S. aureus* y *S. epidermidis*. Nuestros resultados son congruentes con otros estudios que han reportado la sensibilidad de estas cepas a la plata y el cobre²⁷⁻²⁹. Más aún, en un estudio realizado previamente por nuestro grupo de trabajo se reportó un porcentaje de inhibición del 70 al 92 % al contacto con aerosoles contaminados con las mismas cepas¹⁸. Aunque los resultados en el presente estudio mostraron un menor porcentaje de inhibición (del ~37 al ~56 %), es importante aclarar que la metodología utilizada en este estudio fue diferente, ya que se utilizó el reactivo MTT para medir la viabilidad celular y en el estudio antes mencionado, se realizó la cuantificación directa de las unidades formadoras de colonias (UFCs). Un resultado inesperado fue que la cepa *E. coli* mostró una sensibilidad similar al contacto entre el PP con nanorecubrimiento y el PP sin recubrir. Esto pudiera explicarse por la poca capacidad intrínseca de *E. coli* para adherirse a las superficies de PP, como ha sido previamente descrito en la literatura^{30,31}.

Respecto a los resultados cuando se utilizaron microorganismos provenientes de biopelícula dental subgingival de pacientes con periodontitis, es interesante observar la variabilidad de la sensibilidad al contacto con el nanorecubrimiento entre las diferentes muestras provenientes de cada uno de los pacientes. Sin embargo, la variabilidad entre las muestras confirma la noción de que la sensibilidad de un mismo tipo de cepa a un agente antimicrobiano, ya sea antibiótico, antiséptico o como en este caso a dos elementos metálicos con potencial biocida, puede variar debido a factores como resistencia intrínseca, o resistencia adquirida por exposición previa^{32,33}. Si bien no se realizó una identificación de los microorganismos presentes en las muestras, se da por entendido que todas las muestras contenían bacterias anaeróbicas y facultativas tanto Gram positivas, como Gram negativas³⁴. Es importante mencionar que, aunque el número de muestras clínicas incluidas fue limitado, el objetivo en esta parte de la investigación fue evaluar la capacidad antibacteriana contra las cepas de aislados clínicos de manera complementaria a las evaluaciones hechas utilizando cepas tipo (ATCC). Este enfoque metodológico permitió analizar el comportamiento del nanorecubrimiento de Ag-Cu contra bacterias periodontales aisladas de muestras de biopelícula dental.

La importancia de evitar la contaminación con aerosoles o gotas durante la atención odontológica es evidente, puesto que está comprobado que la microaspiración bacteriana es posible, causando daño a nivel pulmonar, a pesar de existir salud pulmonar en las personas³⁵. La presencia de microorganismos patógenos orales se puede asociar a la gravedad o sinergia con otras enfermedades sistémicas. Los microorganismos transportados por el aire y el microbioma oral son las principales fuentes de infecciones pulmonares, y dado que la cavidad oral es el punto de entrada para el sistema digestivo y parte del sistema respiratorio, no es sorpresa que se compartan algunos microorganismos del microbioma de ambos sistemas. Debido a que la orofaringe y el árbol traqueobronquial son contiguos, la microaspiración continua probablemente inocule a los pulmones con bacterias orales^{36,37}.

La utilización de pequeñas cantidades de plata y cobre en textiles del PP representa una excelente opción para el control de infecciones durante la atención odontológica. Ambos

metales en tamaño nanométrico se han reportado como una alternativa al uso de antibióticos con excelentes resultados contra una gran diversidad de bacterias orales, así como en la adición a enjuagues bucales y dentífricos con la finalidad de evitar la formación de la biopelícula dental, específicamente contra *Streptococcus* spp. en su estado planctónico y contra especies como *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, SARM (*Staphylococcus aureus* resistente a meticilina), *Streptococcus mutans* y *Candida albicans*. También, se ha reportado su uso en sistemas adhesivos y materiales de restauración mejorando las propiedades de los mismos^{38,39}.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran el potencial del nanorecubrimiento de plata-cobre para ser utilizado en equipo de protección personal fabricado con textiles de polipropileno como batas, gorros y cubrebocas en entornos clínicos. Dicho equipo podría disminuir la exposición del personal de salud a estos y otros patógenos, e incluso disminuir el riesgo de infecciones de tipo nosocomial en los pacientes hospitalizados. De igual manera, la disminución de la viabilidad de bacterias periodontopatógenas en contacto con el nanorecubrimiento de Ag-Cu, abre la puerta para más investigaciones respecto a mayores aplicaciones clínicas en el ámbito periodontal e implantológico.

AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada gracias a los Programas UNAM-PAPIIT # IN207824 y # TA100424. Lorena Reyes-Carmona agradece al CONAHCYT por la beca doctoral (CVU: 917708). Velia Mariana Pérez-Bucio y Alejandro Lee-Colín agradecen a la DGOAE-UNAM, por conducto de la Dirección de Becas y Enlace con la Comunidad, por las becas de titulación (Folios 1238101 y 1238123). Los autores agradecen el apoyo técnico de la laboratorista Leticia Cruz-Fonseca de la Facultad de Odontología, UNAM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Glatzer KA, Finkelman P. History of the plague: An ancient pandemic for the age of COVID-19. *Am J Med*. 2021; 134(2): 176-181. DOI: 10.1016/j.amjmed.2020.08.019
2. Honda H, Iwata K. Personal protective equipment and improving compliance among health-care workers in high-risk settings. *Curr Opin Infect Dis*. 2016; 29(4): 400-406. DOI: 10.1097/qco.0000000000000280
3. Amato A, Caggiano M, Amato M, Moccia G, Capunzo M, De Caro F. Infection control in dental practice during the COVID-19 pandemic. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(13): 4769. DOI: 10.3390/ijerph17134769
4. Aas JA, Paster BJ, Stokes LN, Olsen I, Dewhirst FE. Defining the normal bacterial flora of the oral cavity. *J Clin Microbiol*. 2005; 43(11): 5721-5732. DOI: 10.1128/jcm.43.11.5721-5732.2005
5. Sanz M, Herrera D, Kebschull M, Chapple I, Jepsen S, Beglundh T, et al. Treatment of stage I-III periodontitis – the EFP S3 level clinical practice guideline. *J Clin Periodontol*. 2020; 47(S22): 4-60. DOI: 10.1111/jcpe.13290

6. Rautemaa R, Nordberg A, Wuolijoki-Saaristo K, Meurman JH. Bacterial aerosols in dental practice – a potential hospital infection problem? *J Hosp Infect.* 2006; 64(1): 76-81. DOI: 10.1016/j.jhin.2006.04.011
7. Chatoutsidou SE, Saridaki A, Raisi L, Katsivela E, Tsiamis G, Zografakis M, et al. Airborne particles and microorganisms in a dental clinic: Variability of indoor concentrations, impact of dental procedures, and personal exposure during everyday practice. *Indoor Air.* 2021; 31(4): 1164-1177. DOI: 10.1111/ina.12820
8. Mirhoseini SH, Koolivand A, Bayani M, Sarlak H, Moradzadeh R, Ghamari F, et al. Quantitative and qualitative assessment of microbial aerosols in different indoor environments of a dental school clinic. *Aerobiologia.* 2021; 37(2): 217-224. DOI: 10.1007/s10453-020-09679-z
9. Kramer A, Schwebke I, Kampf G. How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review. *BMC Infect Dis.* 2006; 6(1): 130. DOI: 10.1186/1471-2334-6-130
10. Wissmann JE, Kirchhoff L, Brüggemann Y, Todt D, Steinmann J, Steinmann E. Persistence of pathogens on inanimate surfaces: a narrative review. *Microorganisms.* 2021; 9(2): 343. DOI: 10.3390/microorganisms9020343
11. Gund MP, Naim J, Rupf S, Gärtner B, Hannig M. Bacterial contamination potential of personal protective equipment itself in dental aerosol-producing treatments. *Odontology.* 2024; 112(2): 309-316. DOI: 10.1007/s10266-023-00848-3
12. Wan Q, Han L, Yang X, Yu S, Zheng X. Dental professionals' use of personal protective equipment during COVID-19: A cross-sectional study in China. *Front Public Health.* 2023; 11: 1183580. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1183580
13. Maddah HA. Polypropylene as a promising plastic: A review. *Am J Polym Sci.* 2016; 6(1): 1-11. DOI: 10.5923/j.ajps.20160601.01
14. Centers for Diseases Control and Prevention. *Summary of infection prevention practices in dental settings: basic expectations for safe care.* Atlanta, GA: CDC, Dept of Health and Human Services, 2016: 6-15. Disponible en: <https://www.cdc.gov/dental-infection-control/media/pdfs/2024/07/safe-care2.pdf>
15. Jung S, Yang JY, Byeon EY, Kim DG, Lee DG, Ryoo S, et al. Copper-coated polypropylene filter face mask with SARS-CoV-2 antiviral ability. *Polymers.* 2021; 13(9): 1367. DOI: 10.3390/polym13091367
16. López-Martín R, Rodrigo I, Ballesta C, Arias A, Mas A, Santos Burgos B, et al. Effectiveness of silver nanoparticles deposited in facemask material for neutralising viruses. *Nanomaterials.* 2022; 12(15): 2662. DOI: 10.3390/nano12152662
17. Bello-Lopez JM, Silva-Bermudez P, Prado G, Martínez A, Ibáñez-Cervantes G, Cureño-Díaz MA, et al. Biocide effect against SARS-CoV-2 and ESKAPE pathogens of a noncytotoxic silver-copper nanofilm. *Biomed Mater.* 2021; 17(1): 015002. DOI: 10.1088/1748-605X/ac3208
18. Reyes-Carmona L, Sepúlveda-Robles OA, Almaguer-Flores A, Bello-Lopez JM, Ramos-Vilchis C, Rodil SE. Antimicrobial activity of silver-copper coating against aerosols containing surrogate respiratory viruses and bacteria. *PLoS One.* 2023; 18(12): e0294972. DOI: 10.1371/journal.pone.0294972
19. Oh YJ, Hong J. Application of the MTT-based colorimetric method for evaluating bacterial growth using different solvent systems. *LWT.* 2022; 153: 112565. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112565
20. Haffajee AD, Socransky SS, Goodson JM. Clinical parameters as predictors of destructive periodontal disease activity. *J Clin Periodontol.* 1983; 10(3): 257-265. DOI: 10.1111/j.1600-051x.1983.tb01274.x
21. Almaguer-Flores A, Moreno-Borjas JY, Salgado-Martinez A, Sanchez-Reyes MA, Alcantara-Maruri E, Ximenez-Fyvie LA. Proportion of antibiotic resistance in subgingival plaque samples from Mexican subjects. *J Clin Periodontol.* 2006; 33(10): 743-748. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2006.00975.x
22. Reyes-Carmona L, Camps E, Campos-González E, Mercado-Celis G, Cervantes-Garduño A, Pérez-Ibarra EA, et al. Antimicrobial evaluation of bismuth subsalicylate nanoparticles synthesized by laser

- ablation against clinical oral microorganisms. *Opt Laser Technol.* 2023; 158: 108930. DOI: 10.1016/j.optlastec.2022.108930
23. Tan XQ, Liu JY, Niu JR, Liu JY, Tian JY. Recent progress in magnetron sputtering technology used on fabrics. *Materials.* 2018; 11(10): 1953. DOI: 10.3390/ma11101953
24. Markowska-Szczupak A, Paszkiewicz O, Michalkiewicz B, Kamińska A, Wróbel RJ. Fabrication of antibacterial metal surfaces using magnetron-sputtering method. *Materials.* 2021; 14(23): 7301. DOI: 10.3390/ma14237301
25. Kollef MH, Torres A, Shorr AF, Martin-Loeches I, Micek ST. Nosocomial infection. *Crit Care Med.* 2021; 49(2): 169-187. DOI: 10.1097/ccm.0000000000004783
26. Vincent JL. Nosocomial infections in adult intensive-care units. *The Lancet.* 2003; 361(9374): 2068-2077. DOI: 10.1016/S0140-6736(03)13644-6
27. Pormohammad A, Turner RJ. Silver antibacterial synergism activities with eight other metal(loid)-based antimicrobials against *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus*. *Antibiotics.* 2020; 9(12): 853. DOI: 10.3390/antibiotics9120853
28. Jang J, Lee JM, Oh SB, Choi Y, Jung HS, Choi J. Development of antibiofilm nanocomposites: Ag/Cu bimetallic nanoparticles synthesized on the surface of graphene oxide nanosheets. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2020; 12(32): 35826-35834. DOI: 10.1021/acsami.0c06054
29. Takahashi C, Yamada T, Yagi S, Murai T, Muto S. Preparation of silver-decorated Soluplus® nanoparticles and antibacterial activity towards *S. epidermidis* biofilms as characterized by STEM-CL spectroscopy. *Mater Sci Eng C.* 2021; 121: 111718. DOI: 10.1016/j.msec.2020.111718
30. Adnan M, Sousa AM, Machado I, Pereira MO, Khan S, Morton G, *et al.* Role of *bolA* and *rpoS* genes in biofilm formation and adherence pattern by *Escherichia coli* K-12 MG1655 on polypropylene, stainless steel, and silicone surfaces. *Acta Microbiol Immunol Hung.* 2017; 64(2): 179-189. DOI: 10.1556/030.63.2016.018
31. Varshney S, Sain A, Gupta D, Sharma S. Factors affecting bacterial adhesion on selected textile fibres. *Indian J Microbiology.* 2021; 61(1): 31-37. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12088-020-00903-5>
32. Souque C, Gonzalez Ojeda I, Baym M. From Petri dishes to patients to populations: Scales and evolutionary mechanisms driving antibiotic resistance. *Annu Rev Microbiol.* 2024; 78: 361-382. DOI: 10.1146/annurev-micro-041522-102707
33. Maillard JY, Pascoe M. Disinfectants and antiseptics: Mechanisms of action and resistance. *Nat Rev Microbiol.* 2024; 22(1): 4-17. DOI: 10.1038/s41579-023-00958-3
34. Socransky SS, Haffajee AD. Periodontal microbial ecology. *Periodontol 2000.* 2005; 38(1): 135-187. DOI: 10.1111/j.1600-0757.2005.00107.x
35. Koh WJ, Lee JH, Kwon YS, Lee KS, Suh GY, Chung MP, *et al.* Prevalence of gastroesophageal reflux disease in patients with nontuberculous mycobacterial lung disease. *Chest.* 2007; 131(6): 1825-1830. DOI: 10.1378/chest.06-2280
36. Cvejic L, Harding R, Churchward T, Turton A, Finlay P, Massey D, *et al.* Laryngeal penetration and aspiration in individuals with stable COPD. *Respirology.* 2011; 16(2): 269-275. DOI: 10.1111/j.1440-1843.2010.01875.x
37. Pathak JL, Yan Y, Zhang Q, Wang L, Ge L. The role of oral microbiome in respiratory health and diseases. *Respir Med.* 2021; 185: 106475. DOI: 10.1016/j.rmed.2021.106475
38. Yin IX, Zhang J, Zhao IS, Mei ML, Li Q, Chu CH. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *Int J Nanomedicine.* 2020; 15: 2555-2562. DOI: 10.2147/ijn.S246764
39. Xu VW, Nizami MZI, Yin IX, Yu OY, Lung CYK, Chu CH. Application of copper nanoparticles in dentistry. *Nanomaterials.* 2022; 12(5): 805. DOI: 10.3390/nano12050805