ISSN: 3084-7389

ANÁLISIS ANTIMICROBIANO EN MASCARILLA ELABORADA CON TEXTIL FUNCIONALIZADO CON NANOCOMPÓSITO DE COBRE EN TIEMPOS DE COVID-19

ANTIMICROBIAL ANALYSIS OF A MASK MADE WITH TEXTILE FUNCTIONALIZED WITH COPPER NANOCOMPOSITE IN TIMES OF COVID-19

Presentado: 03 de junio de 2025
Aceptado: 30 de octubre de 2025
Publicado: 30 de junio de 2026

Lida Velazque Rojas[1], Betsy Janine Vega Manga[2], Fernando Murillo Salazar[3], María del Carmen Peña Alegre[4], Dina Judith Ortega Arias[5]

[1]Cirujano Dentista, Doctor en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Medicina Humana, Departamento Académico de Odontología, Cusco - Perú., ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1219-7456
[2]Cirujano Dentista, Maestro en Salud Pública, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Medicina Humana, Departamento Académico de Odontología, Cusco - Perú., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0686-9896
[3]Cirujano Dentista, Maestro en Odontoestomatologia, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Medicina Humana, Departamento Académico de Odontología, Cusco - Perú., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2281-289X3
[4]Cirujano Dentista, Doctor en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Medicina Humana, Departamento Académico de Odontología, Cusco - Perú., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9741-3711
[5]Cirujano Dentista, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Medicina Humana, Departamento Académico de Odontología, Cusco - Perú., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2175-1626

*** Autor para correspondencia:**
Lida Velazque Rojas

RESUMEN

Introducción: El cobre posee una reconocida capacidad antimicrobiana y su aplicación en textiles ha cobrado relevancia durante la pandemia de COVID-19. *Objetivo*: Evaluar la actividad antimicrobiana de mascarillas elaboradas con textil funcionalizado con nanocompósito de cobre, considerando su efectividad tras sucesivos lavados y reutilización. *Material y métodos:* Estudio experimental realizado con 214 mascarillas de 15×8 cm fabricadas con textil funcionalizado con nanocompósito de cobre, en dos tipos de grosor (N y M). Las muestras fueron sometidas a 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y de 11 a 14 lavadas, y

ISSN: 3084-7389

posteriormente expuestas a un ambiente contaminado sin radiación solar. Se emplearon cinco medios de cultivo: nutritivo, MacConkey, sangre, Parker y Mueller-Hinton. Cada fragmento fue sembrado en nueve placas distribuidas según el tipo de medio selectivo. A partir de la lavada 11 se observaron microorganismos en medios MacConkey y nutritivo; desde la lavada 12 hasta la 14, en agar sangre. En los análisis de Parker, MacConkey y antibiograma se identificaron principalmente hongos o levaduras. *Resultados*: No se evidenció crecimiento bacteriano en agar Parker ni sensibilidad a antibióticos en Mueller-Hinton entre las lavadas 11 y 14. Sin embargo, se constató desarrollo fúngico a partir de la lavada 12, indicando disminución progresiva de la capacidad antimicrobiana. *Conclusión*: Las mascarillas funcionalizadas con nanocompósito de cobre mantienen su efectividad antimicrobiana hasta aproximadamente 11 lavadas; a partir de la lavada 12 se evidencia crecimiento de levaduras u hongos, lo que sugiere limitar su reutilización a este umbral.

Palabras clave: SARS-CoV-2; Nanopartículas de cobre; Mascarilla; Antimicrobiano. Según MeSH.

ABSTRACT

Introduction: Copper possesses a well-recognized antimicrobial capacity, and its application in textiles has gained relevance during the COVID-19 pandemic. *Objective*: To evaluate the antimicrobial activity of masks made with textile functionalized with a copper nanocomposite, considering their effectiveness after successive washing and reuse. *Material and methods*: An experimental study was conducted using 214 masks measuring 15×8 cm, made of textile functionalized with a copper nanocomposite, in two thickness types (N and M). The samples were subjected to 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 11 to 14 washing cycles, and subsequently exposed to a contaminated environment without solar radiation. Five culture media were used: nutritive, MacConkey, blood, Parker, and Mueller-Hinton. Each fabric fragment was inoculated into nine Petri dishes distributed according to the selective medium type. From the 11th wash, microorganisms were observed in MacConkey and nutritive media; between the 12th and 14th washes, growth appeared in blood agar. In Parker, MacConkey, and antibiogram analyses, mainly fungi or yeasts were identified. *Results*: No bacterial growth was observed in Parker agar or antibiotic sensitivity in Mueller-Hinton medium between washes 11 and 14. However, fungal growth was detected from the 12th wash, indicating a gradual reduction in antimicrobial capacity. *Conclusion*: Masks functionalized with copper nanocomposite maintain their antimicrobial effectiveness for up to approximately 11 washing cycles; from the 12th wash onward, yeast or fungal growth becomes evident, suggesting that reuse should be limited to this threshold.

Key words: SARS-CoV-2; Copper nanoparticles; Mask; Antimicrobial. According to MeSH.

ISSN: 3084-7389

INTRODUCCIÓN

El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró oficialmente la pandemia por COVID-19, debido al elevado número de casos registrados en 112 países fuera de China, cuya propagación comenzó a extenderse rápidamente por diversos continentes, convirtiéndose en un serio problema de salud pública por su aparición y diseminación exponencial[1,2,3].

En el Perú, el primer caso de COVID-19 se confirmó el 5 de marzo de 2020; desde entonces, y hasta el 31 de julio de 2022, se procesaron muestras de 33 131 204 personas con sospecha de infección, obteniéndose 3 909 870 casos confirmados, 29 221 334 casos negativos y 214 303 defunciones[1,4,5]. El país evidenció serias deficiencias en su respuesta sanitaria frente a la pandemia; incluso, la BBC News Mundo informó que "Perú duplica las muertes por COVID-19 tras revisión de cifras y se convierte en el país con la mayor tasa de mortalidad per cápita del mundo", reflejando la magnitud del problema sanitario[6,7,8].

Ante el incremento exponencial de casos, el objetivo prioritario fue controlar el riesgo de contagio. Para una enfermedad emergente y poco conocida, las estrategias debían centrarse en la protección tanto de la fuente de infección como del receptor[9,10,11]. La protección de la fuente se abordó mediante cuarentenas y aislamiento social, mientras que la distancia interpersonal se promovió como una medida bidireccional de protección. En esta búsqueda, el uso de mascarillas —ya habitual en el entorno sanitario— se convirtió en un componente esencial de los Equipos de Protección Personal (EPP)[11], siendo su empleo obligatorio por disposición del Ministerio de Salud como parte del levantamiento progresivo de la cuarentena domiciliaria[12,13].

En cuanto a la protección individual, estudios como los de Márquez Peiró y colaboradores, y Sedano Chiroque y coinvestigadores, concluyen que las mascarillas quirúrgicas ofrecen una protección adecuada durante la atención de pacientes con COVID-19, siempre que no se realicen procedimientos generadores de aerosoles[11,12,13,14].

Es fundamental considerar que el uso correcto de los distintos tipos de mascarillas disponibles en el mercado —quirúrgicas o de tela— constituye un elemento clave para garantizar la seguridad del profesional de salud. Sin embargo, durante los primeros años de la crisis sanitaria, la elevada demanda generó escasez[15] y sobrevaloración, lo que llevó a gran parte de la población a utilizar mascarillas caseras[10], elaboradas con tela conforme a la *Especificación Técnica para la confección de mascarillas faciales textiles de uso comunitario*, establecida en la Resolución Ministerial N.º 135-2020-MINSA[13].

En este contexto, la incorporación de mecanismos capaces de eliminar virus en el material de las mascarillas adquirió vital importancia para contener la propagación viral[15,16]. La elección del cobre se justifica por la sólida evidencia científica que respalda sus propiedades antibacterianas, antifúngicas y antivirales, siendo un material altamente eficaz

ISSN: 3084-7389

para prevenir la diseminación de enfermedades infecciosas, incluidos ciertos virus y hongos[17],[18],[19]. Diversos estudios han demostrado su acción contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*[20],[21], así como frente a hongos respiratorios como *Aspergillus*[22],[23].

Gracias a sus propiedades antimicrobianas, el cobre ha sido empleado en la funcionalización de diversos textiles[24], tal como en el presente estudio, que elaboró un prototipo de mascarilla confeccionada con textil funcionalizado mediante un nanocompósito basado en nanopartículas de cobre[25],[26],[27].

No obstante, considerando la realidad social en la que la reutilización de mascarillas de tela era una práctica extendida, el objetivo del presente trabajo fue determinar la capacidad antimicrobiana de una mascarilla elaborada con textil funcionalizado con nanocompósito de cobre tras múltiples lavados, con el propósito de sustentar científicamente su uso en la producción a gran escala y contribuir a la prevención de la propagación comunitaria del SARS-CoV-2.

MÉTODO

Se realizó un estudio analítico, experimental y cuantitativo durante el año 2021. Se trabajó con 28 mascarillas confeccionadas con textil funcionalizado con nanocompósito de cobre, previamente fabricadas por los investigadores. Se elaboraron dos tipos de mascarillas (N y M), de la misma marca, diferenciadas únicamente por el grosor del material, con dimensiones estándar de 15 × 8 cm. La variable principal fue la presencia y tipo de microorganismos en las mascarillas, analizándose la posible asociación entre el número de lavadas y la presencia de crecimiento microbiano mediante la prueba estadística chi-cuadrado (χ^2).

Para la evaluación antimicrobiana del prototipo se siguieron cinco etapas consecutivas:

1. Recolección de la muestra. El textil funcionalizado con nanocompósito de cobre se obtuvo mediante el proceso de impregnación sobre tejido seco, utilizando un equipo *Foulard de impregnación*. Con este material se confeccionaron 28 mascarillas con dos grosores distintos, las cuales fueron expuestas directamente a contaminación ambiental controlada.

2. Toma de muestra para los cultivos. Se empleó la técnica del hisopo. Se prepararon tubos de ensayo rotulados con 10 mL de solución diluyente estéril, donde se humedecieron los hisopos, eliminando el exceso mediante un movimiento rotatorio en la pared del tubo. Luego, se frotó la superficie interna y externa de cada mascarilla para obtener la mayor cantidad de muestra. Posteriormente, el hisopo se colocó dentro del tubo, quebrando la parte manipulada con los dedos, y se dejó reposar por 15 minutos para permitir la liberación de los microorganismos a la solución salina. Luego, se procedió al sembrado en los distintos medios de cultivo. Este procedimiento se repitió para todas las muestras.

ISSN: 3084-7389

3. Preparación de los medios de cultivo. Se utilizaron tres medios generales (agar nutritivo, agar MacConkey y agar sangre) y dos medios selectivos (agar Mueller-Hinton y agar Parker)[28]. Cada medio fue preparado pesando la cantidad necesaria para 400 mL, disolviendo en 100 mL de agua destilada con agitación constante y aplicando calor en una hornilla eléctrica hasta su completa disolución. Luego, se añadió 300 mL adicionales de agua destilada y se esterilizó en autoclave a 121 ℃ durante 15 minutos. Los medios se distribuyeron homogéneamente en placas de Petri estériles (15–16 mL cada una) cerca de un mechero Bunsen para evitar contaminación, dejándolas solidificar. Para el agar Parker, una vez enfriado a 50 ℃, se incorporaron 2.25 mL de solución de yema de huevo con telurito, mezclando suavemente antes de verterlo en las placas. Para el agar sangre, al enfriar a 37 ℃, se adicionaron 28 mL de sangre ovina desfibrinada estéril, mezclando cuidadosamente para evitar burbujas y garantizando una distribución homogénea antes de su solidificación.

4. Lavado de telas. Las telas prototipo (N y M) se cortaron en piezas de 15 × 8 cm, obteniendo 14 muestras por tipo. Se sometieron a lavados de 1, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 ciclos, y posteriormente a 11, 12, 13 y 14 lavadas adicionales. Cada lavado se realizó con detergente doméstico común durante 15 segundos, seguido de enjuague con abundante agua limpia durante 30 segundos. Tras el lavado, las telas se secaron durante dos horas y fueron expuestas a un ambiente contaminado, sin contacto con radiación solar directa.

5. Procedimiento para cultivar las muestras. Los hisopos con las muestras fueron humedecidos y sembrados por estriado en zigzag sobre las placas Petri con los medios correspondientes, incubándolas a 37 ℃ durante 24 horas. Posteriormente, se realizó el recuento de microorganismos. Para los cultivos en agar Mueller-Hinton, se colocaron discos de sensibilidad antibiótica (*Antibiograma*) con ampicilina y ciprofloxacino. Las placas se incubaron a 37 ℃ durante 24 horas y se midió el diámetro de las zonas de inhibición. No se utilizaron controles positivos ni negativos.

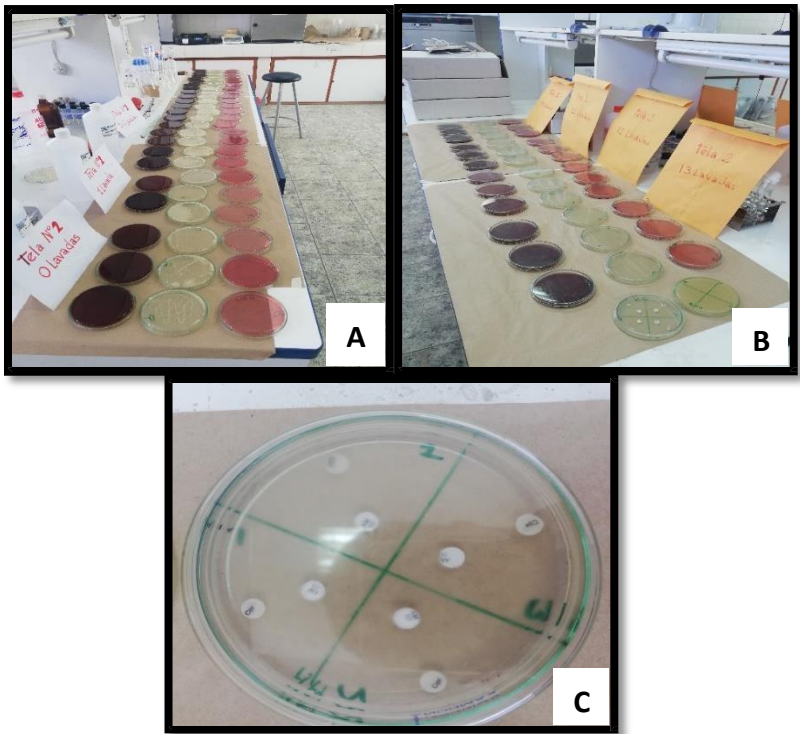
Se analizaron en total 214 muestras, distribuidas según número de lavadas y medio de cultivo de la siguiente manera:

- Telas de 1, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 lavadas: nueve placas cada una (tres de agar sangre, tres de agar nutritivo y tres de agar MacConkey).
- Debido a la aparición de microorganismos en las muestras de 15 lavadas en agar nutritivo y sangre, se realizaron lavados intermedios adicionales de 11, 12, 13 y 14 lavadas, con exposición ambiental durante tres horas antes del análisis microbiológico.
- Cada uno de estos grupos (11–14 lavadas) también se sembró en nueve placas (tres de cada tipo de agar).

ISSN: 3084-7389

Además, se realizaron cultivos diferenciados en agar Parker (cuatro placas por tipo de tela), específico para bacterias Gram positivas, y en agar Mueller-Hinton (cuatro placas por tipo de tela) para antibiogramas con los discos de ciprofloxacino y ampicilina (Figura 1).

Figura 1. A y B. Cultivos de muestras distribuidos homogéneamente. C. Presencia de microorganismos.



RESULTADOS

De las 214 muestras analizadas para la evaluación antimicrobiana de los dos tipos de tela prototipo (N y M), se evidenció que a partir de la lavada número 15 se presentó crecimiento microbiano en los medios selectivos para bacterias Gram positivas, Gram negativas y otros microorganismos. Por ello, se realizó un análisis adicional empleando medios más específicos y antibiogramas, con telas sometidas a 11, 12, 13 y 14 lavadas.

En estos ensayos, no se observaron bacterias en los medios MacConkey ni nutritivo para ninguno de los tipos de tela; sin embargo, se detectó la presencia de microorganismos en agar sangre desde la lavada 12 hasta la 14 en ambos tipos de tela. La identificación posterior mediante agar Parker (Gram positivos), MacConkey (Gram negativos) y el antibiograma permitió determinar que los microorganismos hallados en la placa correspondiente a la lavada 12 correspondían a hongos o levaduras. No se observaron

ISSN: 3084-7389

bacterias en el agar Parker entre las lavadas 11 y 14, ni crecimiento alguno frente a los antibióticos evaluados en agar Mueller-Hinton (Tabla 1).

Tabla 2. Distribución de microorganismos, hongos y levaduras según número de lavadas

	AGAR				
N° de lavadas	**MacConkey**	**Nutritivo**	**Sangre**	**Parker**	**Mueller-Hinton**
1	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	
5	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	
10	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	
11	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos
12	Ausencia microorganismos	Presencia de hongos/levaduras	Presencia de hongos/levaduras	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos
13	Ausencia microorganismos	Presencia de hongos/levaduras	Presencia de hongos/levaduras	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos
14	Ausencia microorganismos	Presencia de hongos/levaduras	Presencia de hongos/levaduras	Ausencia microorganismos	Ausencia microorganismos
15	Presencia de Gram negativos	Presencia de hongos/levaduras	Presencia de microorganismos	Presencia de Gram positivos	
20	Presencia de Gram negativos	Presencia de hongos/levaduras	Presencia de microorganismos	Presencia de Gram positivos	
25	Presencia de Gram negativos	Presencia de hongos/levaduras	Presencia de microorganismos	Presencia de Gram positivos	
30	Presencia de Gram negativos	Presencia de hongos/levaduras	Presencia de microorganismos	Presencia de Gram positivos	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la Tabla 1 se observa que no hubo desarrollo bacteriano en los medios MacConkey y nutritivo para ninguno de los dos tipos de tela. Sin embargo, se evidenció crecimiento microbiano en el agar sangre a partir de las lavadas 12 a 14, en ambos tipos de textil. La identificación posterior mediante agar Parker (para Gram positivos), MacConkey (para Gram negativos) y los análisis de antibiograma permitió determinar que los microorganismos presentes en la placa correspondiente a la lavada 12 correspondían a hongos o levaduras. No se observó crecimiento bacteriano en el agar Parker en las muestras evaluadas entre las lavadas 11 y 14.

ISSN: 3084-7389

***Tabla 2*:** Distribución de microorganismos en medios de cultivo no selectivos

	Agar MacConkey		**Agar Nutritivo**		**Agar Sangre**	
	Frecuencia	**Porcentaje**	**Frecuencia**	**Porcentaje**	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Ausencia de microorganismos	7	63.6%	4	36.4%	4	36.4%
Presencia de microorganismos	4	36.4%	7	63.6%	7	63.6%
Total	11	100.0%	11	100.0%	11	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La Tabla 2 muestra que, tras 12 lavadas, el análisis antimicrobiano de los tres medios de cultivo no selectivos evidenció un mayor porcentaje de muestras sin crecimiento microbiano en el agar MacConkey, medio que permite aislar bacilos Gram negativos y entéricos. En contraste, en el agar nutritivo se observó un mayor porcentaje de muestras con presencia de microorganismos, patrón que también se repitió en el agar sangre, el cual permite el crecimiento de bacterias Gram positivas, Gram negativas y hongos.

***Tabla 3*:** Presencia de microorganismos en agares no selectivos según número de lavadas

		Agar MacConkey		**Agar Nutritivo**		**Agar Sangre**	
		Presencia de microorganismos					
		N	%	**N**	**%**	**N**	**%**
N° de lavadas	1	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	5	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	10	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	11	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	12	0	0.0%	1	9.1%	1	9.1%
	13	0	0.0%	1	9.1%	1	9.1%
	14	0	0.0%	1	9.1%	1	9.1%
	15	1	9.1%	1	9.1%	1	9.1%
	20	1	9.1%	1	9.1%	1	9.1%
	25	1	9.1%	1	9.1%	1	9.1%
	30	1	9.1%	1	9.1%	1	9.1%
	Total	7	36.4%	7	63.6%	7	63.6%

Fuente: Elaboración propia.

ISSN: 3084-7389

Nota: En la Tabla 3 se observa que el análisis antimicrobiano de los tres medios de cultivo no selectivos reveló que el agar MacConkey, utilizado para aislar bacilos Gram negativos y entéricos, presentó crecimiento microbiano a partir de las 15 lavadas, representando el 36.4% del total de muestras. En el agar nutritivo, el desarrollo de microorganismos se evidenció desde las 12 lavadas, alcanzando el 63.6%. De forma similar, en el agar sangre, que permite el crecimiento de bacterias Gram positivas, Gram negativas y hongos, se observó presencia microbiana a partir de las 12 lavadas, también con una frecuencia del 63.6%.

***Tabla 4*:** Distribución de microorganismos en agar Parker según número de lavadas

Agar Parker			
		Presencia de microorganismos	
		N	**%**
N° de lavadas	1	0	0.0%
	5	0	0.0%
	10	0	0.0%
	11	0	0.0%
	12	0	0.0%
	13	0	0.0%
	14	0	0.0%
	15	1	9.1%
	20	1	9.1%
	25	1	9.1%
	30	1	9.1%
	Total	7	36.4%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos con el agar Parker, medio selectivo utilizado para el aislamiento de bacterias Gram positivas. Se evidenció crecimiento microbiano a partir de las 15 lavadas, observándose presencia de microorganismos en ambos tipos de tela, lo que representa el 36.4% del total de las muestras analizadas. Este hallazgo sugiere que la capacidad antimicrobiana del textil funcionalizado con cobre se mantiene estable hasta aproximadamente la décimo cuarta lavada. A partir de ese punto, el incremento en la proliferación microbiana refleja una disminución progresiva de la efectividad antimicrobiana, posiblemente vinculada al desgaste del nanocompósito de cobre durante los sucesivos lavados.

***Tabla 5*:** Distribución de microorganismos en agar Mueller-Hinton según número de lavadas

ISSN: 3084-7389

		Agar Mueller- Hinton	
		Ausencia de microorganismos	
		N	%
N° de lavadas	11	1	25.0%
	12	1	25.0%
	13	1	25.0%
	14	1	25.0%
Total		4	100.0%

Fuente: instrumento de observación de datos

Nota: En la Tabla 5 se observa que, en el agar Mueller-Hinton, las muestras correspondientes a las telas con 11, 12, 13 y 14 lavadas no evidenciaron crecimiento microbiano en ninguno de los tipos de textil evaluados. Este resultado indica que, hasta dicho número de lavadas, la actividad antimicrobiana del nanocompósito de cobre se mantuvo efectiva, impidiendo el desarrollo de microorganismos en el medio de cultivo.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que la incorporación de nanocompósitos de cobre en textiles utilizados para mascarillas faciales proporciona una efectiva capacidad antimicrobiana frente a cepas bacterianas comunes, como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Estos hallazgos se alinean con múltiples estudios previos que han resaltado el efecto biocida del cobre[18],[19],[21]. La acción del cobre puede explicarse por su capacidad para generar especies reactivas de oxígeno (ROS), inducir daño oxidativo, alterar la estructura de la membrana celular bacteriana y degradar el material genético[15].

Durante la pandemia de COVID-19, el uso de mascarillas se consolidó como una medida crucial de protección personal[9],[10]. Sin embargo, la preocupación por la efectividad sostenida de estos dispositivos, especialmente en ambientes de alta exposición, motivó el desarrollo de tecnologías avanzadas. En este contexto, la funcionalización de textiles con nanopartículas metálicas surge como una estrategia innovadora que no solo actúa como barrera física, sino también como escudo activo contra microorganismos[26],[30]. La elección del cobre como agente antimicrobiano no es casual. Su uso ha sido validado en contextos médicos y ambientales por su bajo costo, alta disponibilidad y amplio espectro de acción[22],[23]. Además, estudios recientes han demostrado que los textiles tratados con óxidos de cobre presentan propiedades duraderas incluso tras múltiples lavados[25],[27]. Esto sugiere que la mascarilla desarrollada no solo es eficaz en el corto plazo, sino también viable como solución reutilizable.

ISSN: 3084-7389

La emergencia sanitaria vivida en el Perú, uno de los países más golpeados por la pandemia[1,6], evidenció la necesidad urgente de tecnologías de protección más efectivas y accesibles. El desarrollo de este tipo de mascarillas, adaptadas a las especificaciones técnicas del MINSA[13] y con base en investigaciones locales[24], representa un avance importante hacia la autosuficiencia tecnológica y la mejora en la respuesta sanitaria. En el presente estudio, en el que se realizó el análisis antimicrobiano de la reutilización del textil funcionalizado con nanocompósito de cobre, se evaluó *in vitro* la capacidad antimicrobiana de la mascarilla elaborada con este textil, no solo frente a cepas bacterianas, sino también frente a hongos y levaduras. Se comprobó que, hasta la undécima lavada, no se encontró crecimiento microbiano de ningún tipo; sin embargo, a partir de la duodécima lavada se aislaron especies de hongos y levaduras, y el crecimiento bacteriano fue detectado a partir de la decimoquinta lavada.

Estos resultados son alentadores, pues demuestran que la mascarilla fabricada con textil funcionalizado con nanocompósito de cobre puede ser reutilizada sin perder sus propiedades antimicrobianas después de once lavadas, reduciendo así la contaminación ambiental asociada al uso de mascarillas desechables o de tela convencional. No obstante, aunque los resultados de laboratorio son prometedores, es necesario evaluar su efectividad en condiciones reales de uso, incluyendo pruebas clínicas y estudios de durabilidad a largo plazo. Asimismo, deben considerarse factores como la posible toxicidad por exposición prolongada al cobre y el impacto ambiental de su disposición final[16].

El presente estudio no solo confirma las propiedades antimicrobianas de textiles funcionalizados con cobre, sino que también especifica su eficiencia de protección según el número de lavadas. No se encontraron estudios previos que demuestren la efectividad de la reutilización de mascarillas faciales hechas de tela con estas características.

En cuanto a las limitaciones del estudio, se reconoce que, aunque los ensayos de laboratorio mostraron eficacia, se requieren estudios de campo que incluyan análisis antivirales del textil funcionalizado con cobre. Dichas investigaciones deberían profundizar en las propiedades antimicrobianas y antivirales de las mascarillas elaboradas con nanocompósitos de cobre, a fin de comparar sus resultados con estudios recientes que reportan una alta actividad antiviral del cobre frente a la variante Ómicron del SARS-CoV-2[30]. Asimismo, sería necesario evaluar la posible toxicidad por inhalación de nanopartículas y optimizar la fijación del textil. Finalmente, el tamaño muestral reducido y la ausencia de controles positivos o negativos podrían haber limitado la replicabilidad estadística del estudio.

CONCLUSIONES

El textil funcionalizado con nanocompósito de cobre evaluado en este estudio constituye una alternativa eficaz, segura y sostenible para reforzar la protección individual frente a agentes infecciosos, aportando además al desarrollo de innovación tecnológica local en

ISSN: 3084-7389

contextos de emergencia sanitaria.
Los resultados demostraron que la mascarilla elaborada con dicho material mantiene su capacidad antimicrobiana efectiva hasta la undécima lavada, sin evidenciar crecimiento microbiano, bacteriano ni fúngico; a partir de la duodécima lavada, se detectó presencia de hongos y levaduras, indicando una disminución progresiva de su efectividad.
Se recomienda realizar ensayos de campo y estudios de escalado industrial para validar su aplicación masiva, evaluar su desempeño en condiciones reales de uso y optimizar los procesos de funcionalización del textil con nanopartículas de cobre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Respuesta a la emergencia por COVID-19 en Perú – Información epidemiológica [Internet]. 2020 [citado 19 mar 2025]. Disponible en: https://www.paho.org/es/respuesta-emergencia-por-covid-19-peru
2. Singh S, McNab C, Olson RM, Bristol N, Nolan T, et al. How an outbreak became a pandemic: a chronological analysis of crucial junctures and international obligations in the early months of the COVID-19 pandemic. Lancet. 2021;398(10316):2109–24. doi:10.1016/S0140-6736(21)01897-3
3. Allam Z. The first 50 days of COVID-19: a detailed chronological timeline and extensive review of literature documenting the pandemic. Surveying the COVID-19 Pandemic and Its Implications [Internet]. 2021 [citado 19 mar 2025]. doi:10.1016/B978-0-12-824313-8.00001-2
4. Lossio J. COVID-19 en el Perú: respuestas estatales y sociales. Hist Cienc Saude-Manguinhos. 2021;28:581–5. doi:10.15381/anales.v81i2.17858
5. Cáceres-Bernaola U, Becerra-Núñez C, Mendívil-Tuchía de Tai S, et al. First deceased by COVID-19 in Peru. An Fac Med. 2020;81(2):201–4. doi:10.15381/anales.v81i2.17858
6. BBC News Mundo. Perú duplica las muertes por COVID-19 tras una revisión de cifras y se convierte en el país con la mayor tasa de mortalidad per cápita del mundo [Internet]. 2021 [citado 19 mar 2025]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-57310960
7. Llerena R, Narváez S. Emergencia, gestión, vulnerabilidad y respuestas frente al impacto de la pandemia COVID-19 en el Perú [Internet]. 2020 [citado 19 mar 2025]. doi:10.1590/scielopreprints.94
8. Cabezas C. Pandemia de la COVID-19: tormentas y retos. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2020;37(4):603–4. doi:10.17843/rpmesp.2020.374.6866
9. Caicoya M. El papel de las mascarillas en el control de la epidemia COVID-19. J Healthc Qual Res. 2020;35(4):203–5. doi:10.1016/j.jhqr.2020.05.001
10. Aranaz J, Gea T, Vicente-Guijarro J, et al. Mascarillas como equipo de protección individual durante la pandemia de COVID-19: cómo, cuándo y cuáles deben utilizarse. J Healthc Qual Res. 2020;35(4):245–52. doi:10.1016/j.jhqr.2020.06.001

ISSN: 3084-7389

11. Márquez-Peiró JF, Gaspar-Carreño M, García-Cases S, Achau-Muñoz R. Mascarillas: producto imprescindible en la pandemia COVID-19. Rev OFIL. 2020;30(3):189–91. doi:10.4321/s1699-714x2020000300007
12. Gobierno del Perú. Decreto de urgencia Nº 050-2020. Decreto que dicta medidas extraordinarias en materia económica y financiera para la adquisición de equipos de protección personal en el marco de la emergencia nacional por el COVID-19 [Internet]. El Peruano. 2020 [citado 19 mar 2025]. Disponible en: https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-de-urgencia-n-050-2020-1865869-1
13. Ministerio de Salud (MINSA). Especificación técnica para la confección de mascarillas faciales textiles de uso comunitario [Internet]. 2020 [citado 24 may 2023]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/462876-135-2020-minsa
14. Sedano-Chiroque FL, Rojas-Miliano C, Vela-Ruiz JM. COVID-19 desde la perspectiva de la prevención primaria. Rev Fac Med Humana. 2020;20(3):494–501. doi:10.25176/rfmh.v20i3.3031
15. Ishida T. Actividades antivirales de los iones Cu^{2+} en la prevención viral, replicación, degradación del ARN y eficacia antiviral del virus lítico. Rev Toxicol. 2018;99:148–68.
16. Molina AT. Desarrollo de nuevos elementos antimicrobianos de protección individual: mascarillas, pantallas faciales y crema labial antimicrobiana [tesis doctoral]. Valencia (España): Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir; 2020. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12466/4163
17. Arones B, Carrasco A. Mascarillas a base de microfibras de cobre [tesis de bachiller]. Lima (Perú): Universidad San Ignacio de Loyola; 2020. Disponible en: https://repositorio.usil.edu.pe/bitstreams/4dcd3d1b-52c4-4346-a163-a6eb4bf1c6c2/content
18. Prado V, Vidal R, Durán C. Aplicación de la capacidad bactericida del cobre en la práctica médica. Rev Med Chile. 2012;140(10):1325–32. doi:10.4067/S0034-98872012001000014
19. Neciosup E, et al. Cobre antimicrobiano contra patógenos intrahospitalarios en Perú. An Fac Med. 2015;76(1):9–14. doi:10.15381/anales.v76i1.11069
20. He X, Liu X, Wu P, et al. Reduction of pathogenic bacteria from irrigation water through a copper-loaded porous ceramic emitter. Environ Pollut. 2023;330:121776. doi:10.1016/j.envpol.2023.121776
21. Olea C. Efecto biocida del cobre frente a Escherichia coli y Staphylococcus aureus [tesis de ingeniería en alimentos]. Santiago (Chile): Universidad de Chile; 2016. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170431
22. Fernández M. Evaluación del comportamiento de mortero de revestimiento con adición de cobre para la obtención de propiedades fungicidas [tesis de ingeniería]. Valparaíso (Chile): Universidad de Valparaíso; 2019. Disponible en: http://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvscl/2537

ISSN: 3084-7389

23. Palomo JM, Losada-García N, Abian O, et al. Agente de recubrimiento basado en un biohíbrido de nanopartículas de cobre y su uso como agente biocida [Internet]. 2022 [citado 19 mar 2025]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10261/285698
24. Condori C, Vivas D. Obtención a nivel industrial de nanopartículas de óxido de cobre (CuO) a partir de sulfato de cobre pentahidratado y su aplicación en tejidos textiles como actividad antimicrobiana [tesis de ingeniería química]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería; 2016. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.14076/4996
25. Cazorla J, Banda A, Canales C. Impregnación de nanopartículas de CuO en tejidos de algodón con acabado antimicrobiano. Veritas. 2023;23(1):61–4. ISSN 2617-8818.
26. Sánchez-López P, Moyado SF, Petranovskii V, et al. Nanomateriales a la vanguardia para combatir el virus SARS-CoV-2. Ciencia Ergo Sum. 2022;29(4):1–9. doi:10.30878/ces.v29n4a3
27. Amézquita-Amésquita MJ. Obtención de textiles antimicrobianos funcionalizados in situ con nanopartículas de óxido de cobre por el método de agotamiento [tesis de ingeniería química textil]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería; 2016. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.14076/4993
28. Monge-Montero A. Aseguramiento y control de calidad en la producción de medios de cultivo microbiológicos. Rev Col Microb Quím Clin Costa Rica. 2017;23(2):45–52. ISSN 2215-3713.
29. Lagarón J, Pardo M, Chiva A. Filtro multicapa con propiedades antimicrobianas y su uso en aplicaciones de respiradores y mascarillas protectoras. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos [Internet]. 2020 [citado 19 mar 2025]. Disponible en: https://digital.csic.es/handle/10261/242170
30. Da Silva DJ, Durán A, Fonseca FLA, et al. Omicron SARS-CoV-2 antiviral on poly(lactic acid) with nanostructured copper coating: Wear effects. Appl Surf Sci. 2023;623:157015. doi:10.1016/j.apsusc.2023.157015