

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE MEDICINA HUMANA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE MEDICINA HUMANA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO CIRUJANO

Actividad bactericida de textil con hilo de cobre frente a bacterias resistentes a antibióticos y productoras de carbapenemasas causantes de infecciones Intrahospitalarias

Área de Investigación:

Microbiología - Salud Pública

Autor:

Domínguez Salvador, Julitza Yanet

Jurado evaluador:

Presidente: Castañeda Sabogal, Alex Napoleón

Secretario: Vásquez Tirado, Gustavo Adolfo

Vocal: Rodríguez Chávez, Luis Ángel

Asesor:

Esparza Mantilla, Mario Rodrigo

Código Orcid: [0000-0003-3604-6054](https://orcid.org/0000-0003-3604-6054)

TRUJILLO- PERÚ
2023

Fecha de sustentación: 07/12/2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

15%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

8%

2

www.scielo.org.pe

Fuente de Internet

7%

3

Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego

Trabajo del estudiante

1%

4

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

mafiadoc.com

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 1%

Excluir bibliografía

Activo



Dr. Mario Espinoza Hernández
CIENCIA - TECNOLOGIA - INNOVACION
UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APPLICADAS
PUCP. 18110000. Arequipa, Peru. mario@pucp.edu.pe

Declaración de originalidad

Yo, **Mario Rodrigo Esparza Mantilla**, docente del Programa de Estudio de Medicina Humana, de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada “ **Actividad bactericida de textil con hilo de cobre frente a bacterias resistentes a antibióticos y productoras de carbapenemasas causantes de infecciones Intrahospitalarias**”, autor **Dominguez Salvador Julitza Yanet**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 18 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el sábado 08 de diciembre de 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la universidad.

Lugar y fecha: Trujillo, 08 de diciembre de 2023

ASESOR

Dr. Esparza Mantilla, Mario Rodrigo
DNI: 18199986
Orcid: [0000-0003-3604-6054](https://orcid.org/0000-0003-3604-6054)
FIRMA:



Dr. Mario Esparza Mantilla
CIENCIA - TECNOLOGÍA - INNOVACIÓN
I + D + I
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
DNI: 18199986 Email: mesparzam2@upao.edu.pe

AUTOR

Dominguez Salvador Julitza Yanet
DNI:74549941
FIRMA:



DEDICATORIA

DEDICATORIA A DIOS:

Por ser mi fortaleza para continuar,
con mis metas propuestas.

A MI FAMILIA Y AMIGOS

Por apoyarme en momentos
difíciles, y estar siempre a mi lado.

A MI ASESOR

Quien, con participación activa,
siempre me ha guiado en el
desarrollo de Trabajo de
Investigación.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Siempre estoy y estaré agradecida porque si no fuera por él no estaría aquí, pues cada día me brinda vida, salud y fortaleza.

A MIS PADRES

Por motivarme constantemente de forma incondicional, y también por hacer posible la realización de este logro. Logro el cual puedan estar orgullosos.

COLABORADORES

Se agradece al Fondo de Apoyo a la Investigación (FAIN- 2021)-UPAO. Al Dr. Luis Angelats, Silva, del Laboratorio LABIM-UPAO por la colaboración en los análisis de XDR. También agradecer a la empresa Coopertex SAC (Lima) por donación de muestras de hilo de cobre para estudio y el apoyo en los análisis de microscopía electrónica realizados en Universidad Católica de Chile. Al Blgo. Hans Contreras Mogollón del Hospital de Huaraz - Víctor Ramos Guardia-Dpto de Anatomía y Patología Clínica. Área de Microbiología y Parasitología, por proporcionar la cepa de *S. aureus*.

RESUMEN

Introducción: Las infecciones intrahospitalarias (IIH) por bacterias resistentes a antibióticos es un problema de salud pública para los gobiernos, debido a que la infraestructura en hospitales constituye un reservorio favorable para diversos patógenos, sin contar con soluciones de control de los patógenos basadas en alternativas no antibióticas. Por ello, surge como opción sanitaria y efectiva para controlar el crecimiento y propagación de estos patógenos aplicaciones antibacterianas de textiles biomédicos que incluyan hilo de cobre para el uso del personal de salud y de pacientes.

Objetivo: Evaluar la actividad bactericida del hilo de cobre contra principales patógenos causantes de IIH resistentes a carbapenemasas *E. coli*, *Pseudomona aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*.

Diseño: Estudio experimental con muestreo no probabilístico.

Materiales y Métodos: 4 cepas bacterianas resistentes a carbapenemasas; *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K.pneumoniae* y *S. aureus*; textil biomédico con hilo de cobre (1cm²) de cobre y textil sin cobre (control-1cm²). Intervenciones: 4 cepas bacterianas fueron proporcionadas por UPAO. El análisis mediante ANOVA y Tukey (p<0,05), fueron aplicados para evaluar la capacidad bactericida del textil biomédico con hilo de cobre y textil sin cobre frente a las 4 cepas causantes de IIH, mediante el uso de programas estadísticos, Microsoft Excel RealStatistis respectivamente. Hay diferencias en el crecimiento de bacterias en textiles con hilo de cobre comparado a textiles sin hilo de cobre, respecto al tiempo de exposición (180min).

Resultados: Las cepas *K.pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *E. coli* y *S. aureus* expuestas a textil biomédico con cobre fueron eliminadas en 80, 90, 120 y 140 minutos, respectivamente. La carga bacteriana de las células (~1x10⁵ UFC/mL) expuestas en textil sin hilo de cobre permaneció constante y viable por periodos mayores a 180 minutos. Además, el hilo de cobre eliminó más rápido a bacterias Gram-negativas (*K.pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *E. coli*) que bacterias Gram positivas (*S. aureus*).

Conclusiones: El textil biomédico con hilo de cobre elimina completamente bacterias intrahospitalarias como *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, y *S. aureus*, a diferencia de textiles que carecen de cobre, en las que permanecen viables. De acuerdo a nuestros resultados, el hilo de cobre puede ser aplicado en indumentaria biomédica, o apósitos para prevenir o tratar infecciones por patógenos intrahospitalarios resistentes a carbapenemasas.

Palabras clave: cobre, patógenos, antimicrobiano, antibacteriano, carbapenemasas.

ABSTRACT

Introduction: Intra-hospital infections (IIH) by antibiotic-resistant bacteria is a public health problem for governments, due to the fact that hospital infrastructure constitutes a favorable reservoir for various pathogens, without having art-based pathogen control solutions. not antibiotics. For this reason, antibacterial applications of biomedical textiles that include copper wire for the use of health personnel and patients emerge as a sanitary and effective option to control the growth and spread of these pathogens.

Objective: To evaluate the bactericidal activity of copper wire against the main pathogens that cause IIH resistant to carbapenemases *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus aureus*.

Design: Experimental study with non-probabilistic sampling.

Materials and Methods: 4 bacterial strains resistant to carbapenemases; *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* and *S. aureus*; biomedical textile with copper wire (1cm²) and textile without copper (control-1cm²). Interventions: 4 bacterial strains were provided by UPAO. The analysis by means of ANOVA and Tukey (p<0.05), were applied to evaluate the bactericidal capacity of the biomedical textile with copper thread and textile without copper against the 4 strains that cause IIH, through the use of statistical programs, Microsof Excell RealStatistis respectively. There are differences in the growth of bacteria in textiles with copper wire compared to textiles without copper wire, with respect to exposure time (180min).

Results: *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *E. coli* and *S. aureus* strains exposed to copper biomedical textile were killed in 80, 90, 120 and 140 minutes, respectively. The bacterial load of the cells (~1x10⁵ CFU/mL) exposed in textile without copper wire remained constant and viable for periods longer than 180 minutes. In addition, the copper wire killed Gram-negative bacteria (*K.pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *E. coli*) faster than Gram-positive bacteria (*S. aureus*).

Conclusions: Biomedical textile with copper wire completely eliminates nosocomial bacteria such as *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, and *S. aureus*, unlike textiles that lack copper, in which they remain viable. According to our results, copper wire can be applied in biomedical clothing or dressings to prevent or treat infections caused by carbapenemase-resistant intrahospital pathogens.

Keywords: copper, pathogens, antimicrobial, antibacterial, carbapenemases.

PRESENTACIÓN

De acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, presento la Tesis Titulada “ACTIVIDAD BACTERICIDA DE TEXTIL CON HILO DE COBRE FRENTE A BACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS Y PRODUCTORAS DE CARBAPENEMASAS CAUSANTES DE INFECCIONES INTRAHOSPITALARIAS”, un estudio experimental no probabilístico, que tiene el objetivo de evaluar la actividad bactericida del hilo de cobre contra principales patógenos causantes de IIH resistentes a carbapenemasas E. coli, Pseudomona aeruginosa, Klebsiella pneumoniae y Staphylococcus aureus. Con la intención de contribuir en la reducción de Infecciones Intrahospitalarias mediante la acción bactericida que cumple el textil con hilo de cobre. Además de promover futuras investigaciones con hilo de cobre aplicado en la práctica médica.

Por lo tanto, someto la presente Tesis para obtener el Título de Médico Cirujano a evaluación del Jurado.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I.INTRODUCCIÓN:	10
II.ENUNCIADO DEL PROBLEMA:	12
III.HIPÓTESIS:	12
IV.OBJETIVOS:	13
GENERAL:	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
V.MATERIAL Y MÉTODOS:	13
DISEÑO DE ESTUDIO:	13
MUESTRA Y MUESREO:	13
Análisis estadístico:	15
VI.RESULTADOS	15
Análisis microscópico de textil biomédico con hilo de cobre	17
Caracterización por SEM/XRD de textil biomédico con hilo de cobre ...	17
Actividad antibacteriana del hilo de cobre en tejido textil	18
VII.DISCUSIÓN	19
VIII.CONCLUSIÓN	21
IX.FINANCIAMIENTO	21
X.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	22
XI.ANEXOS	28

I. INTRODUCCIÓN:

El cobre es un metal con efecto universal como agente antimicrobiano y como potente viricida (1,2,3). El cobre cumple funciones antivirales, antibacterianas (4,5), según Gabbay J, Borkow G “las fibras impregnadas de cobre reducen la colonización bacteriana sin propiedades sensibilizantes para la piel sin ningún otro efecto adverso” (6). Las máscaras respiratorias impregnadas con óxido de cobre; presentan características biocidas (7,8); siendo de utilidad como equipo de protección personal hospitalaria y posterior reducción de transmisión, por contacto, de diferentes microorganismos patógenos. El cobre en infraestructura biomédica presente en superficies metálicas tiene actividad bactericida contra las principales bacterias patógenas causantes de infecciones intrahospitalarias en el Perú, logrando la eliminación bacterias patógenas como *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* en 10, 15 y 60 minutos respectivamente (12).

Las tecnologías antimicrobianas basadas en cobre han ido evolucionando, en soluciones líquidas (ion cuproso/cúprico) o en formatos sólidos (nanopartículas a hilo de cobre), siendo investigada en diferentes estados y compuestos (peróxido de cobre, quelatos de cobre, óxido de cobre(18), complejo cuproso y cúprico, yoduro de cobre, iones de cobre, óxido cuproso, sulfuro de cobre, yoduro de cobre, cloruro de cobre en estado sólido, nanopartículas de sulfuro de cobre, óxido cuproso, lámina de cobre, nanocompuestos de polímero de cobre), y actuando como potente antimicrobiano frente a diferentes virus y microorganismos (*VIH* (1), *influenza* (9), *virus hepatitis C* (10), *norovirus*, *coronavirus*, *virus dengue*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium difficile*, tuberculosis micobacteriana(13), Gram (+/-)(11) y sars-covid19 (15).

El cobre, a nivel comercial es un metal escasamente utilizado en hospitales, su mecanismo de acción es su actividad biocida, eliminando patógenos nosocomiales, con capacidad de ceder y aceptar electrones, causando muerte celular de patógenos en pocas horas ⁽¹⁴⁾ por contact Killing (muerte celular), debido a la rapidez con la que aniquila a una bacteria ⁽¹²⁾; algunos estudios sugieren que el cobre, suspendido en la superficie juega un importante rol en el proceso de eliminación biocida y en concentraciones elevadas, un efecto tóxico sobre las bacterias, producto de la liberación de radicales de hidroperóxido ^(12,13 y 16). Interfiriendo inicialmente con la función de la membrana celular y luego a nivel citoplasmático, alterando la síntesis, e inhibiendo la formación de proteínas, o alterando la actividad de enzimas esenciales para el metabolismo bacteriano, el ion cobre posiblemente podría reemplazar al ion esencial para el metabolismo bacteriano como el hierro. Se demostró que puede inactivar, reducir, destruir, destruir irreversiblemente, degradar ADN y ARN, causar inhibición viral y destrucción de cápside en patógenos humanos ^(12,15,17).

La falta de un mecanismo de acción claro ha llevado a la creación de un modelo tentativo, en el que la bacteria patógena, al entrar en contacto con la superficie de cobre, en concentraciones pequeñas logra disolver e iniciar daño celular, produciendo pérdida del potencial de membrana y liberación citoplasmática al exterior; además de la inducción de Especies reactivas de oxígeno (ROS), logrando el daño celular y disolución de ADN ⁽¹¹⁾.

A la fecha no hay un control adecuado y preventivo de las infecciones intrahospitalarias por falta de tecnologías antimicrobianas (infraestructura e indumentaria médica) o equipos de protección para personal (EPP) en el sector salud que cuenten con vestimenta médica que eliminen agentes patógenos; a pesar de los avances con la nanotecnología, existen mascarillas de polipropileno con nanopartículas (NPs) de cobre, estas tecnologías no han escalado a otro tipo de indumentaria médica ⁽¹⁵⁾ por ser poco amigable con la piel versus los textiles de algodón, como mandiles, batas, medias, mascarillas de algodón, gorros, entre otro EPP que sea

amigable, confortable y cómodo para el personal de Salud. Escasas investigaciones han abordado nuevas e innovadoras estrategias tecnológicas con textiles biomédicos con capacidad antimicrobial ⁽¹⁹⁾, no hay evidencia de estudios sobre la acción de textiles de algodón que incluya hilo de cobre en la matriz textil y su efecto frente a bacterias intrahospitalarias.

Por tanto, esta investigación planteó determinar la capacidad del hilo de cobre como agente antimicrobiano, para ello se utilizó textiles de algodón con hilo de cobre, con el fin de comprender mejor el impacto bactericida frente a cepas bacterianas intrahospitalarias con resistencia a carbapenemasas (*S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* y *Klebsiella spp*).

II. ENUNCIADO DEL PROBLEMA:

¿El hilo de cobre tiene capacidad antimicrobiana frente a microorganismos patógenos que causen Infecciones Intrahospitalarias?

III. HIPÓTESIS:

Hipótesis nula: El hilo de cobre de (60 μm) presente en textil biomédico (Algodón 77.7%, Cobre 6.7%, nylon 14.8%, 0.8 elastano) no tiene capacidad antimicrobiana frente a microorganismos patógenos que causan infecciones intrahospitalarias,

Hipótesis alterna: El hilo de cobre de (60 μm) presente en textil biomédico (Algodón 77.7%, Cobre 6.7%, nylon 14.8%, 0.8 elastano) tiene capacidad antimicrobiana frente a microorganismos patógenos que causan infecciones intrahospitalarias.

IV. OBJETIVOS:

GENERAL:

- Evaluar la actividad bactericida del hilo de cobre contra principales patógenos causantes de IHH resistentes a carbapenemasas *E. coli*, *Pseudomona aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar por técnicas de microbiología y biología molecular bacterias causantes de Infecciones Intrahospitalarias.
- Aislar y cultivar bacterias causantes de Infecciones Intrahospitalarias (*E. coli*, *Pseudomona aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*).
- Evaluar actividad bactericida de hilo de cobre frente a bacterias causantes de Infecciones Intrahospitalarias.

V. MATERIAL Y MÉTODOS:

DISEÑO DE ESTUDIO: Experimental con muestreo no probabilístico.

MUESTRA Y MUESTREO:

Textil con hilo de cobre

Los textiles usados en esta investigación fueron proporcionados por Coopertex SAC (Lima). El textil con cobre estuvo conformado por 6.7% hilo de cobre, 77.7% algodón, 14.8 % nylon, y 0.8% elastano. El textil control sin hilo de cobre contiene 84.4% algodón, 14.8 % nylon, y 0.8% elastano.

Cepas bacterianas patógenas

Las cepas bacterianas con resistencia a carbapenemasas fueron proporcionadas por el Laboratorio GENERBIM de Universidad Privada

Antenor Orrego (UPAO) (Tabla 1). Las bacterias fueron replicadas desde sus cultivos puros, sembradas e incubadas independientemente en medio Luria-Bertani (LB) y agar nutritivo (*E. coli*, *Klebsiella* spp), agar Sangre (*Staphylococcus aureus*) y agar Pseudomonas (*Pseudomonas aeruginosa*). Cada cepa fue reactivada y almacenadas a 36°C para su posterior evaluación del hilo cobre.

Caracterización por difracción de rayos

Los patrones de difracción de rayos X (DRX) de tejidos de punto con partículas de hilo cobre se obtuvieron con un difractómetro D8 Advance Eco-Bruker (Laborario LABIM-UPAO), aplicando un voltaje de 30 kV y una corriente de 10 mA y una radiación de Cu-K a temperatura ambiente con una longitud de onda = 1.5418 Å. Los patrones XRD se registraron en una geometría Bragg-Brentano en el rango 2θ desde 10 hasta 80° a una velocidad de barrido $2\theta = 0.02^\circ$. Para el procesamiento y análisis se emplearon los softwares DIFFRAC.SUITE y Diffract.EVA. v.4.5, y complementado con el software Crystallographic Search Match v.2.1.

Caracterización por Microscopia electrónica SEM/EDX

Se trabajo con el microscopio electrónico de barrido de presión variable Hitachi TM3000, ubicado en la Pontificia Universidad Católica de Chile, para la obtención de imágenes SEM de muestras de tejidos de punto con partículas de hilo de cobre. Se realizaron adquisiciones de imágenes a aumentos de 50, 100 y 800x con el objetivo de evitar artefactos en la imagen, tales como la carga de la muestra, que puede presentarse durante el análisis del haz de electrones de alta energía.

Actividad bactericida del del hilo de cobre

Para evaluar la actividad bactericida del hilo de cobre, se realizó el protocolo descrito por Neciosup et al. ⁽¹²⁾. Los textiles con y sin hilo de cobre fueron cortados en tamaños de 1 cm², y posteriormente esterilizados en autoclave

121°C, 1 atm por 30 min; después 1 cm² de textil fue transferido a microtubos de 2 mL. Cada microtubo contenía un textil de 1 cm² sumergido en 1 mL de suero salino fisiológico estéril (SSFE) con suspensiones bacterianas (*E. coli*, *Klebsiella*, *P. aeruginosa* y *S. aureus*) independientes de ~1.0 x 10⁵ UFC/ mL. Cada suspensión bacteriana se distribuyó por homogenización sobre textil y se mezcló por agitación por 30 segundos. Luego se incubó en estufa cada microtubo conteniendo textil con y sin hilo de cobre por triplicado a 37°C, a diferentes tiempos de exposición (t₀ = 0 min, t₁ = 10 min, t₂ = 20 min, t₃ = 30 min, t₄ = 40 min, t₅ = 50 min, t₆ = 60 min, t₇ = 70 min, t₈ = 80 min, t₉ = 90, T₁₀ = 100, t₁₁ = 120, t₁₂ = 130, t₁₃ = 140, t₁₄ = 150, t₁₅ = 160, t₁₆ = 170, t₁₇ = 180). Después de cumplir el tiempo de incubación respectivo de exposición al textil se procedió a evaluar el efecto antimicrobiano; para ello, se tomó un inóculo (microgota) de 10 µl de cada tubo a diferentes tiempos de incubación por triplicado. Luego, cada suspensión con células bacterianas (10 µL) fue sembrada en placa de Petri con medio Agar LB y/ Agar Sangre por la técnica de la microgota ⁽¹²⁾ y se incubó a 37°C por 24 horas. Este procedimiento se siguió para todos los tiempos de exposición. Todos los ensayos de recuento celular (UFC/ml) bacteriano se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico:

Los resultados obtenidos de la acción antibacteriana en textiles con hilo de cobre fueron comparados con el textil control sin hilo de cobre y con la formación de UFC/ml de las cepas en estudio (Tabla 1). La significancia estadística se obtuvo mediante análisis de ANOVA, aplicando Microsoft Excel RealStatistis. Posteriormente, se realizó una prueba Tukey (P<0,05), para establecer el grupo determinado de estas diferencias significativas.

VI. RESULTADOS

Para determinar la actividad bactericida del hilo de cobre sobre las cepas de estudio (tabla 1), se utilizó como control textil de algodón sin cobre. El análisis de varianza ANOVA nos permitió determinar diferencias significativas en el crecimiento de las cepas estudiadas (F= 1.13225; P<0,05) y los distintos tiempos de exposición al hilo de cobre y al control: t₀= 0 min, t₁= 10 min, t₂= 20 min, t₃= 30 min, t₄= 40 min, t₅= 50 min, t₆= 60 min, t₇= 70 min, t₈= 80 min,

$t_9= 90$ min, $t_{10}= 100$ min, $t_{11}= 120$ min, $t_{12}= 140$ min, $t_{15}= 160$ min, $t_{17}= 180$ min ($F=1.77051$; $P<0,05$). Para encontrar dónde se hallaban estas significancias, se aplicó el análisis Tuckey, determinando que existen diferencias significativas en: 1 ° las cepas bacterianas incluidas en textil control ($P:7.0-1.19$) respecto a las cepas bacterianas incorporadas en textil con hilo de cobre ($P: 0.006-0.048$), 2 ° las cepas bacterianas con IC 95% demuestra un valor de $P<0.05$ (*E. coli* $P:0.026$, *P. aeruginosa* $P: 0.048$, *S. aureus* $P: 0.006$), 3 ° *Klebsiella Pneumoniae* $P<0.04$, con resultado($P:0.040$). Finalmente, no se encontraron diferencias significativas entre otros tiempos de exposición y el crecimiento microbiano ($P>0.05$)

Las 4 cepas bacterianas evaluadas fueron eliminadas entre 80 a 140 min en presencia de textil con hilo de cobre; además, el número de bacterias viables (UFC/ml) se redujo conforme aumentaba el tiempo de exposición. Por otro lado, en el control (sin cobre), todas las bacterias permanecieron viables después de su inoculación, incluso sin reducción en el número de células. En las figuras 5A y Figura 6, se observa el crecimiento (control) de *E. coli* todavía hasta el minuto 180, pero con textil de hilo de cobre se elimina $\sim 1 \times 10^5$ UFC/mL células de *E. coli* en 120 min. Resultados similares se muestran con la exposición al textil con cobre de *P. aeruginosa* y *K. pneumoniae*; aquí se observó la eliminación completa de bacterias 80 y 90 minutos respectivamente (figuras 5 C y D). Considerando los resultados para *S. aureus* (figura 5 B), estos difieren a los obtenidos con las bacterias Gram negativas; puesto que, su exposición al hilo de cobre mostró una eliminación completa en 140 minutos; además, es posible apreciar una mayor resistencia de *S. aureus* y en menor grado a *K. pneumoniae* (figura 5 D). Según las curvas de muerte bacteriana versus el tiempo (Figuras 5 y 6), en presencia del textil con hilo de cobre; se determinó que para eliminar las bacterias Gram negativas (*K. pneumoniae* *P. aeruginosa* y *E. coli*) son necesarios al menos 80 a 120 minutos y para Gram positivas (*S. aureus*) 140 minutos de exposición.

Análisis microscópico de textil biomédico con hilo de cobre

La figura 1 muestra el análisis de microscopía óptica (40 X) de dos muestras de textil con hilo de cobre. El entramado de la matriz textil presenta 93.3 % de Algodón, nylon y elastano y 6,7% de hilo de cobre. Los hilos de cobre se observan alineados con la fibra de algodón como lo indican las flechas (figura 1), se puede apreciar las cantidades de hebras de algodón (93%) versus las de hilo de cobre, correspondiente a menos del 7% de cobre. En la figura 2, se aprecia el ensayo de actividad antibacterial de textil biomédico con hilo de cobre, frente a *E. coli*, el textil con y sin hilo de cobre (1 cm²) fue sumergido en SSFE (1mL) conteniendo suspensiones de bacterias de 1x10⁵ cel./mL, e incubadas a 37°C diferentes tiempos (hasta 180 min). Los procedimientos de actividad antibacteriana se trabajaron en cabina de bioseguridad tipo 2A (Labconco). Los conteos de viabilidad bacteriana se realizaron por la técnica de la microgota como se observa en la figura 2 y se usaron cuatro cepas bacterianas causantes de infecciones intrahospitalarias con resistencia a carbapenemasas como se indica en la tabla 1.

Caracterización por SEM/XRD de textil biomédico con hilo de cobre

La figura 3, muestra el análisis de XRD donde los picos más altos detectan la presencia de cobre (<10%) y los demás picos corresponde a matriz de algodón – poliéster (<90%). Como se puede ver en los datos presentados en la parte superior de la figura 3, sólo el Cu alcanza su punto máximo en $2\theta = 43,16^\circ$, $50,31^\circ$ y $73,95^\circ$ claramente dominan en el difracto grama de rayos X. En ese momento, solo dos picos de algodón se observaron en $2\theta = 002^\circ$ y 110° . Por lo tanto, se puede afirmar que el textil usado en este estudio tiene cobre en su formulación. La morfología del textil de algodón con hilo de cobre se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido. El hilo de cobre (60 μm de diámetro) se observa con superficies modernamente lisas, pero con profundidad rugosa y con aglomerados que se observan en imágenes SEM (Figura 4) a diferentes aumentos (50 \times , 800 \times). La composición química elemental de las muestras textiles se analizó utilizando mapeo de elementos presentados por difracción de rayos X (Figura 3) mostró la presencia de cobre en las muestras textiles estudiadas. Integrando los resultados del análisis de

difracción de rayos X y de microscopia electrónica (Figura 3 y 4), se confirma la presencia de cobre en matriz textil con algodón.

Actividad antibacteriana del hilo de cobre en tejido textil

Las actividades antibacterianas de las muestras de textiles con y sin hilo de cobre se estudiaron mediante pruebas antibacterianas por microgota (Figura 2) ⁽¹²⁾. Cuatro de las bacterias patógenas más comunes en ambientes hospitalarios (tabla 1, incluyen cepas con resistencia a carbapenemasas): *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* (Gram negativos) y *S. aureus* (Gram positivo) fueron seleccionadas para el estudio de la actividad antibacteriana del hilo de cobre (Figura 5 y 6). Las propiedades antibacterianas del cobre, las aleaciones de cobre y varios compuestos de cobre se estudiaron en muchos trabajos ⁽¹⁸⁾. Los estafilococos fueron identificados como una causa importante de infecciones nosocomiales y adquiridas los hospitales ^(31,32). *S. aureus* se encuentra naturalmente en la nasofaringe, la nariz y la piel y puede propagarse por contacto; los portadores sanos o las personas enfermas pueden transmitir estafilococos a otras personas a través de gotitas en el aire, así como a través de manos contaminadas. *E. coli* es habitante común del tracto intestinal humano y tiene la capacidad de crecer con y sin oxígeno ⁽³¹⁾, *P. aeruginosa*, es una bacteria con amplia resistencia a los antibióticos y es causante de infecciones de piel, es una de las principales causas de infecciones nosocomiales, y las cepas resistentes a los carbapenémicos son una gran amenaza para la seguridad del paciente ⁽³³⁾. *K. pneumoniae* es la responsable de la mayoría de infecciones asociadas a las vías respiratorias en los hospitales varias cepas adquieren genes asociados a la hipervirulencia y son productoras de carbapenemasas ⁽³⁴⁾. Es importante destacar que las del textil con hilo de cobre puede matar bacterias gramnegativas (*E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*) y bacterias grampositivas (*S. aureus*) y puede usarse para tratar heridas quirúrgicas, quemaduras e infecciones del pie diabético ⁽³⁵⁾.

Las actividades antibacterianas de textil de algodón con hilo de cobre se examinaron mediante una comparación con los tejidos de algodón (control). En experimentos para evaluar el comportamiento antimicrobiano del textil de

algodón con hilo de cobre frente a las bacterias ensayadas, se encontró que el textil sin hilo de cobre no presenta actividad antibacteriana debido a que se encontró desarrollo bacteriano hasta el minuto 180 (Figura 5 y 6, control). Las muestras de textil conteniendo hilo de cobre tuvieron una excelente actividad antibacteriana debido a la calidad, inhibición y muerte celular (Figura 5 y 6). Las muestras con hilo de cobre en suspensión con *S. aureus* presentaron inhibición bacteriana total a los 140 minutos (sin bacterias viables) versus que para las bacterias con resistencia a carbapenems *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, experimentaron inhibición y muerte celular desde los 80, 90 y 120 min respectivamente, indicando buena actividad bactericida; por tanto el hilo de cobre tiene efecto antibacteriano frente a *S. aureus* y con más eficacia contra *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* similar a lo descrito por Neciosup y cols ⁽¹²⁾ .

VII. DISCUSIÓN

La indumentaria médica con algodón es considerablemente utilizada en los establecimientos de salud por su bajo costo, fácil lavado, y su característica hipoalergénica; a pesar de ello en esta y otras investigaciones se demuestra que las bacterias causantes de IHH se encuentran presentes por tiempo prologado ⁽²⁰⁾; siendo un potencial portador de microorganismos patógenos ^(21,22,23); como *E. coli*, *P. aeruginosa* y *S. aureus* ⁽²⁰⁾. En cuanto a otros estudios señalan que el efecto de cobre sobre estas bacterias, tiene un tiempo de supervivencia: *E. coli* de 30 a 60 min ⁽²⁴⁾, *P. aeruginosa*, de 180 min ⁽²⁵⁾ y *S. aureus* muere entre 60 y 180 min ⁽²⁶⁾. Por el contrario, los resultados obtenidos mediante esta investigación indican que la cepa de *E. coli*, posee tiempos semejantes de muerte celular entre los 10 a 20 min, con eliminación completa a los 100 min (figura 5 y 6). La cepa de *P. aeruginosa*, en cambio, fue eliminada completamente a los 70 minutos, presentando un comportamiento similar (figura 6). Por lo tanto, la rápida destrucción de ambas bacterias Gram negativas es el resultado de la interacción directa de la membrana celular externa con el hilo de cobre; sin embargo, para la cepa, *S. Aureus* (Gram positiva), el tiempo de eliminación es más lento y progresivo, siendo totalmente a los 120 minutos. Un hallazgo interesante de nuestro trabajo fue

que la cepa de *S. aureus* tienen un mayor tiempo de supervivencia al hilo de cobre que las cepas de *E. coli* y de *P. aeruginosa*, lo que contradice los reportes mostrados por otros autores (26,25,27). La explicación a ello sería que probablemente su pared celular evitaría tempranamente el daño oxidativo de su membrana celular. Esto sugiere que la envoltura bacteriana no son un buen indicador del daño causado por el contacto con las superficies de cobre, ya que las bacterias Gram positivas y negativas, reaccionan por igual (28). En este proyecto demostramos que existe un efecto diferenciado del hilo de cobre frente a las bacterias estudiadas, ciertamente debido a la estructura de la pared bacteriana.

En ambientes hospitalarios, la carga bacteriana es aproximadamente 6×10^3 UFC/cm² (12), esta carga microbiana es dos órdenes de magnitud menor a la aplicada en nuestra investigación ($\sim 1 \times 10^5$ UFC/cm²), condición que nos permitió evidenciar *in vitro* el mecanismo bactericida del hilo de cobre en condiciones ambientales con mayor carga celular bacteriana de forma similar a lo que ocurre en áreas altamente contaminadas por patógenos en un hospital o simulando a una carga de bacterias patógenas durante una infección de herida. Futuras investigaciones pueden abordar de forma más específica la carga bacteriana del personal médico y evaluar su efecto en el hilo de cobre. Actualmente ninguna bacteria resistente al cobre ha sido descrita en ambientes hospitalarios. Por lo cual no ha causado resistencia a este metal (29); incluso bacterias sensibles y resistentes a antibióticos con reparación rápida de ADN fueron eliminadas rápidamente que otras bacterias que carecen de dicha capacidad (25,28,30). Es posible que estos mecanismos independientes o en conjunto apoyen la susceptibilidad de las bacterias utilizadas en este estudio (figuras 5,6 y 7); Por ello, el cobre se convierte en el metal de elección para su uso en el entorno hospitalario e indumentaria textil biomédica en lugar de solo matriz textil de algodón, poliéster o drill carentes de cobre; las cuales siguen siendo reservorio de patógenos.

El efecto bactericida del hilo de cobre se sustenta en la liberación de partículas de cobre adsorbidas físicamente en las muestras de algodón. Una mayor capacidad de adsorción de Cu²⁺iones en algodón en comparación con otros cationes fue observado por Monier et al. (36). Debido a la hinchazón del

algodón, un gran flujo de Cu^{2+} Los iones podrían ser adsorbidos no sólo en la superficie, sino también en todo el volumen del tejido de algodón. En consecuencia, se formaron más partículas de cobre en las muestras de algodón abarcando una mayor superficie modificada.

VIII. CONCLUSIÓN

El hilo de cobre (60 μm) presente en textil biomédico (Algodón 77.7%, Cobre 6.7%, nylon 14.8%, 0.8 elastano) tiene capacidad antimicrobiana frente a microorganismos patógenos *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumoniae*, que causan infecciones intrahospitalarias (IIH) y surge como modelo de desarrollo de aplicaciones en Bioseguridad para contener infecciones polimicrobianas al aplicarlo en indumentaria médica y en sistema antimicrobial hospitalario; esta aplicación es importante para el control de los patógenos productores de carbapenemasas con resistencia a los antibióticos y disminuir las IIH.

IX. FINANCIAMIENTO

Fondo de Apoyo a la Investigación (FAIN- 2021)-Universidad Privada Antenor Orrego, Resolución Vicerrectoral N° 49-2021-VIN-UPAO.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Karlström AR, Levine RL. Copper inhibits the protease from human immunodeficiency virus 1 by both cysteine-dependent and cysteine-independent mechanisms. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1991;88(13):5552-6. doi.org/10.1073/pnas.88.13.5552
2. Sagripanti JL, Routson LB, and Lytle D. Virus inactivation by copper or iron ions alone and in the presence of peroxide. *Applied and Environmental Microbiology*[Internet]. 1993 [citado el 25 de junio de 2023];59(12):4374-4376 <https://journals.asm.org/doi/epdf/10.1128/aem.59.12.4374-4376.1993>
3. Miyamoto D, Kusagaya Y, Endo N, Sometani A, Takeo S, Suzuki T, et al. Thujaplicin–copper chelates inhibit replication of human influenza viruses. *Antiviral Research*.1998;39(2):89-100. [doi.org/10.1016/s0166-3542\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/s0166-3542(98)00034-5)
4. Borkow G, Gabbay J. Putting copper into action: copper-impregnated products with potent biocidal activities. *The FASEB Journal*. 2004;18(14):1728-30. <https://doi.org/10.1096/fj.04-2029fje>
5. Lin Y, Yan X, Cao W, Wang C, Feng J, Duan J, et al. Probing the structure of the SARS coronavirus using scanning electron microscopy. *Antivir Ther*. [Internet] 2004 [citado el 30 de junio del 2023];9(2):287-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15134191/>
6. Gabbay J, Borkow G, Mishal J, Magen E, Zatcoff R, Shemer-Avni Y. Copper oxide impregnated textiles with potent biocidal activities. *Journal of Industrial Textiles*. 2006;35(4):323-35. doi.org/10.1177/1528083706060785
7. Borkow G, Zhou SS, Page T, Gabbay J. A Novel Anti-Influenza copper oxide containing respiratory face mask. *PLOS ONE*. 2010;5(6):11295. doi.org/10.1371/journal.pone.0011295

8. Borkow G, Gabbay J. Copper, An ancient remedy returning to fight microbial, fungal and viral infections. *Current Chemical Biology*.2009;3(3):272-278. Doi: [10.2174/2212796810903030272](https://doi.org/10.2174/2212796810903030272)
9. Imai K, Ogawa H, Bui VN, Inoue H, Fukuda J, Ohba M, et al. Inactivation of high and low pathogenic avian influenza virus H5 subtypes by copper ions incorporated in zeolite-textile materials. *Antiviral Research*. 2012;93(2):225-33. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2011.11.017>
10. Hang X, Peng H, Song H, Qi Z, Miao X, Xu W. Antiviral activity of cuprous oxide nanoparticles against Hepatitis C Virus in vitro. *Journal of Virological Methods*. 2015;222:150-7. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2015.06.010>
11. Giannousi K, Lafazanis K, Arvanitidis J, Pantazaki A, Dendrinou-Samara C. Hydrothermal synthesis of copper based nanoparticles: Antimicrobial screening and interaction with DNA. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2014;133:24-32. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2013.12.009>
12. Neciosup E, Vergara M, Pairazamán O, Apablaza M, Esparza M. Cobre antimicrobiano contra patógenos intrahospitalarios en Perú. *An Fac med*. 2015;76(1):9-14. <https://doi.org/10.15381/anales.v76i1.11069>
13. Prado J V, Vidal A R, Durán T C. Aplicación de la capacidad bactericida del cobre en la práctica médica. *Revista médica de Chile*.2012;140(10):1325-32. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872012001000014>
14. Warnes SL, Summersgill EN, Keevil CW. Inactivation of murine norovirus on a range of copper alloy surfaces is accompanied by loss of capsid integrity. *Applied and Environmental Microbiology*.2015;81(3):1085-1091. doi.org/10.1128/AEM.03280-14
15. Albarqouni L, Byambasuren O, Clark J, Scott AM, Looke D, Glasziou P. Does copper treatment of commonly touched surfaces reduce healthcare-acquired infections? A systematic review and meta-analysis. *J Hosp Infect*. 2020;106(4):765-73. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.09.005>

16. Sunada K, Minoshima M, Hashimoto K. Highly efficient antiviral and antibacterial activities of solid-state cuprous compounds. *Journal of Hazardous Materials*. 2012;235-236:265-70. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.052>
17. Warnes SL, Caves V, Keevil CW. Mechanism of copper surface toxicity in *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* involves immediate membrane depolarization followed by slower rate of DNA destruction which differs from that observed for Gram-positive bacteria. *Environmental Microbiology*. 2012;14(7):1730-1743. doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02677.x
18. Ivanauskas R, Bronusiene A, Ivanauskas A, Šarkinas A, Ancutiene I. Antibacterial activity of copper particles embedded in knitted fabrics. *Materials*. 2022;15(20):7147. doi.org/10.3390/ma15207147
19. Aillón-García P, Parga-Landa B, Guillén-Grima F. Effectiveness of copper as a preventive tool in health care facilities. A systematic review. *Am J Infect Control*. 2023;S0196-6553(23)1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.02.010>
20. Schneider G, Vieira LG, Carvalho HEF de, Sousa ÁFL de, Watanabe E, Andrade D de, et al. Textiles impregnated with antimicrobial substances in healthcare services: systematic review. *Frontiers in Public Health*[Internet]. 2023 [citado el 25 de junio de 2023];11(6):1-24 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2023.1130829>
21. Kramer A, Schwebke I, Kampf G. How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review. *BMC Infectious Diseases*. 2006;6(1):130. doi.org/10.1186/1471-2334-6-130
22. Bhalla A, Pultz NJ, Gries DM, Ray AJ, Eckstein EC, Aron DC, et al. Acquisition of nosocomial pathogens on hands after contact with environmental surfaces near hospitalized patients. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2004;25:164-167. doi.org/10.1086/502369

23. Espírito Santo C, Lam EW, Elowsky CG, Quaranta D, Domaille DW, Chang CJ, et al. Bacterial killing by dry metallic copper surfaces. *Appl Environ Microbiol*. 2011;77(3):794-802. doi:10.1128/AEM.01599-10
24. Borkow G, Gabbay J. Copper as a biocidal tool. *Current Medicinal Chemistry* [Internet]. 2005[citado el 25 de junio de 2023]; 12(18):2163-2175. <https://www.eurekaselect.com/article/5876>
25. Mehtar S, Wiid I, Todorov SD. The antimicrobial activity of copper and copper alloys against nosocomial pathogens and *Mycobacterium tuberculosis* isolated from healthcare facilities in the Western Cape: an *in-vitro* study. *Journal of Hospital Infection*. 2008;68(1):45-51. doi.org/10.1016/j.jhin.2007.10.009
26. Noyce JO, Michels H, Keevil CW. Potential use of copper surfaces to reduce survival of epidemic methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in the healthcare environment. *Journal of Hospital Infection*. 2006;63(3):289-97. doi.org/10.1016/j.jhin.2005.12.008
27. Casey AL, Adams D, Karpanen TJ, Lambert PA, Cookson BD, et al. Role of copper in reducing hospital environment contamination. *Journal of Hospital Infection*. 2010;74 (1): 72. doi.org/10.1016/j.jhin.2009.08.018
28. Oie S, Hosokawa I, Kamiya A. Contamination of room door handles by methicillin-sensitive/methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Hospital Infection*. 2002;51(2):140-3. doi.org/10.1053/jhin.2002.1221
29. Cabrera CE, Gómez RF, Zúñiga AE. La resistencia de bacterias a antibióticos, antisépticos y desinfectantes una manifestación de los mecanismos de supervivencia y adaptación. *Colombia Médica* [Internet]. 2007 [citado el 25 de junio de 2023];38(2):149-58. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95342007000200008

30. Hota B, Weinstein RA. Contamination, disinfection, and cross-colonization: are hospital surfaces reservoirs for nosocomial infection? Clin Infect Dis. 2004;39(8):1182-9. doi.org/10.1086/424667
31. Obaid MA, Hellal KH, Abd AN. Study the effect of antibacterial on the chemically prepared copper oxide. Materials Today: Proceedings. 2021; 47:6006-10. doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.554
32. Cuevas O, Cercenado E, Vindel A, Guinea J, Sánchez-Conde M, Sánchez-Somolinos M, et al. Evolution of the antimicrobial resistance of *Staphylococcus* spp. in Spain: five nationwide prevalence studies, 1986 to 2002. Antimicrob Agents Chemother. 2004; 48 (11): 4240 - 5. doi.org/10.1128/AAC.48.11.4240-4245.2004
33. Shi Q, Huang C, Xiao T, Wu Z, Xiao Y. A retrospective analysis of pseudomonas aeruginosa bloodstream infections: prevalence, risk factors, and outcome in carbapenem-susceptible and -non-susceptible infections. Antimicrobial Resistance & Infection Control. 2019;8(1):68. doi.org/10.1186/s13756-019-0520-8
34. Rödel J, Pfeifer Y, Fischer MA, Edel B, Stoll S, Pfister W, et al. Screening of *Klebsiella pneumoniae* isolates for carbapenemase and hypervirulence-associated genes by combining the eazyplex superbug CRE and hvKp assays. antibiotics. 2023;12(6):959. doi.org/10.3390/antibiotics12060959
35. Marković D, Deeks C, Nunney T, Radovanović Ž, Radoičić M, Šaponjić Z, et al. Antibacterial activity of Cu-based nanoparticles synthesized on the cotton fabrics modified with polycarboxylic acids. Carbohydrate Polymers. 2018; 200:173-82. doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.001

36. Monier M, Ayad DM, Sarhan AA. Adsorption of Cu(II), Hg(II), and Ni(II) ions by modified natural wool chelating fibers. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;176(1):348-55. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.11.034
37. Butler, DL, Major Y, Bearman G, & Edmond, M. B. Transmission of nosocomial pathogens by white coats: an in-vitro model. *The Journal of hospital infection*. (2010); 75(2), 137–138. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.11.024>
38. Das I, Lambert P, Hill D, Noy M, Bion J, Elliott T. Carbapenem-resistant *Acinetobacter* and role of curtains in an outbreak in intensive care units. *Journal of Hospital Infection*. 2002; 50(2):110_114 DOI: [10.1053/jhin.2001.1127](https://doi.org/10.1053/jhin.2001.1127).
39. Ohi M, Schweizer M, Graham M, Heilmann K, Boyken L, Diekema D. Hospital privacy curtains are frequently and rapidly contaminated with potentially pathogenic bacteria. *American Journal of Infection Control*. 2012; 40(10):904_906 DOI: [10.1016/j.ajic.2011.12.017](https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.12.017).
40. Butlera DL, Majorb Y, Bearmana G, Edmond MB. Transmission of nosocomial pathogens by white coats: an in-vitro mode. *Journal of Hospital Infection*. 2010; 75 (2010) 136–147. Doi: [10.1016/j.jhin.2009.11.024](https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.11.024)

XI. ANEXOS

Tablas y figuras

Tabla 1. Características de las cepas bacterianas causantes de infecciones intrahospitalarias (IIH) usadas en este estudio de hilo de cobre.

Cepa bacteriana	IIH Asociada	Observaciones	Respuesta al Gram	PCR de Carbapenemasas
<i>E. coli</i>	Infección urinaria	Lactosa (+)	Negativa	Positivo
<i>K. pneumoniae</i>	Infección Branquial	Lactosa (+)	Negativa	Positivo
<i>P. aeruginosa</i>	Infección de Piel	Lactosa (-)	Negativa	Positivo
<i>S. aureus</i>	Infección de Piel	Lactosa (-)	Positivo	ND*

Las cepas de *E. coli*, *K. pneumoniae* y *P.aeruginosa* fueron proporcionadas por el Hospital Virgen de la Puerta – Trujillo y analizadas por Biología Molecular (PCR) para detección de fenotipos (IMP⁽⁺⁾, NDM⁽⁺⁾, GES⁽⁻⁾, VIM⁽⁻⁾, OXA⁽⁻⁾, KPC⁽⁻⁾) de carbapenemasas en Laboratorio GENERBIM-UPAO. * *S. aureus* fue proporcionada por Hospital de Huaraz Víctor Ramos Guardia, ND: No Determinado la presencia de genes de carbapenemasas.

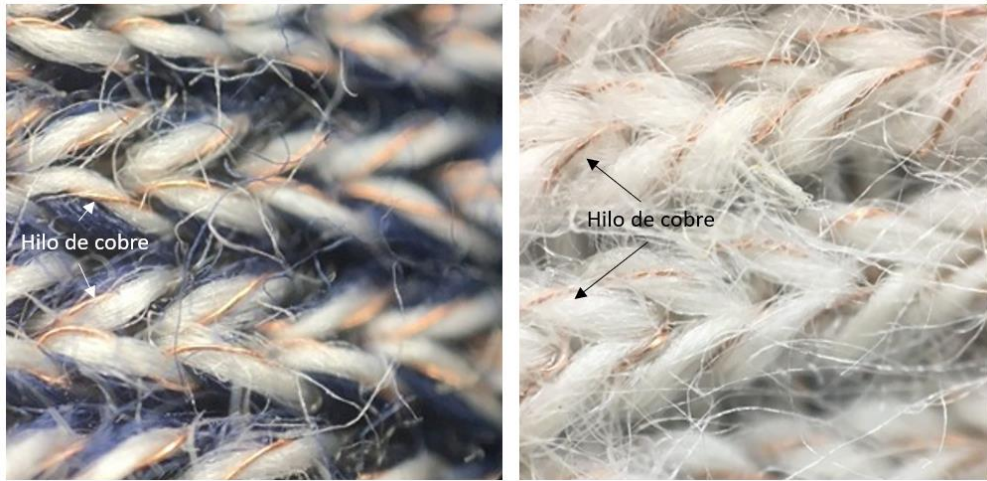


Figura 1. Textil biomédico de hilo de cobre (con 77.7% algodón, 14.8 % nylon, hilo de cobre 6.7% y 0.8% elastano (Coopertex SAC).
Observación a microscopio óptico 40 X.

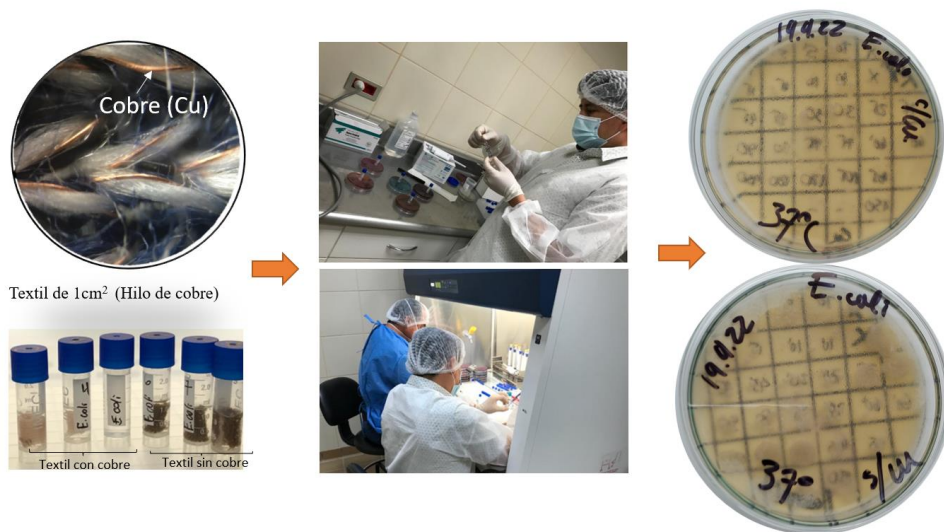


Figura 2. Ensayo de actividad antibacterial de textil biomédico con hilo de cobre, frente a *E. coli*.

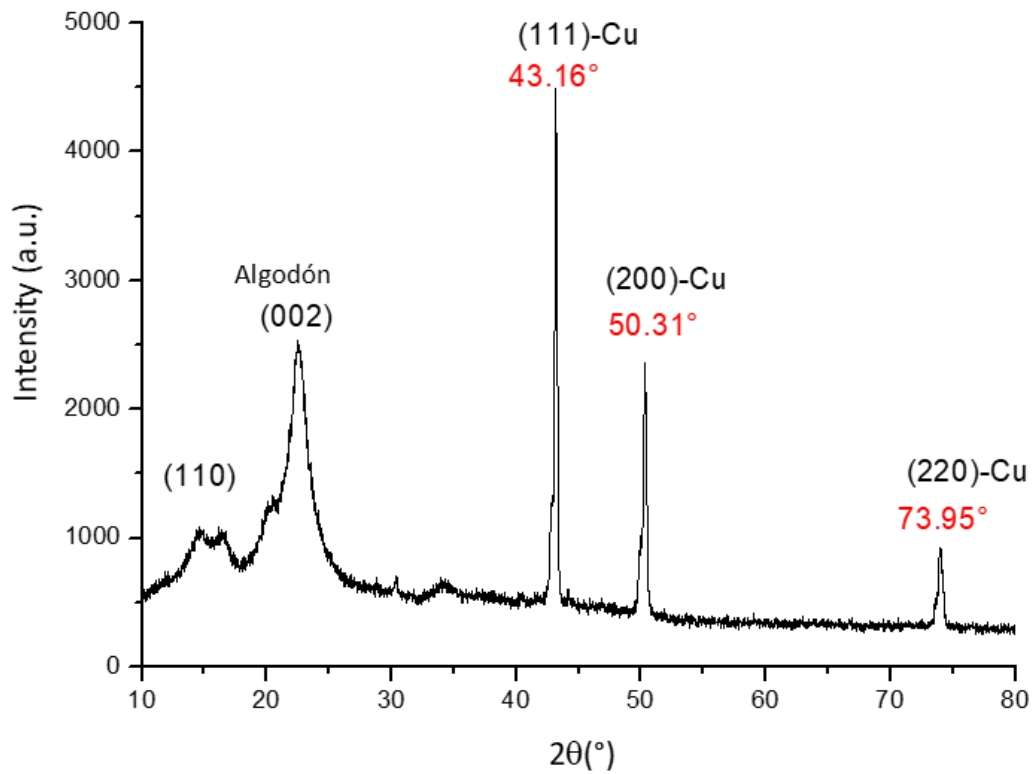


Figura 3. Patrón de difracción de rayos X de la muestra de textil de algodón conteniendo hilos de cobre (Cu).

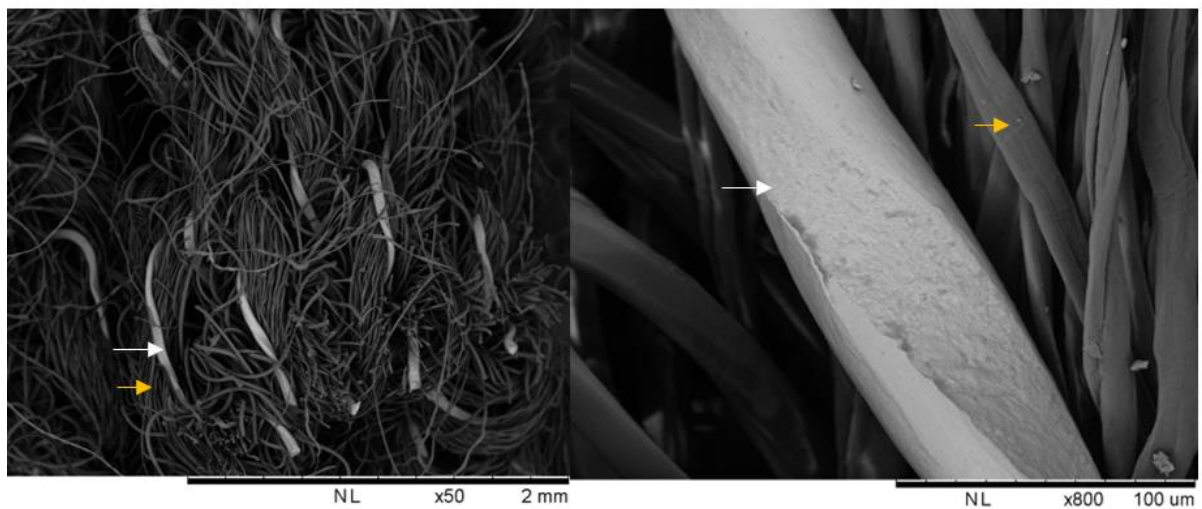


Figura 4. Microscopia electrónica por SEM de 50 ×, 800× aumentos y distribución de fibras de algodón (flecha amarilla) con hilo de cobre (Cu) (flecha blanca).

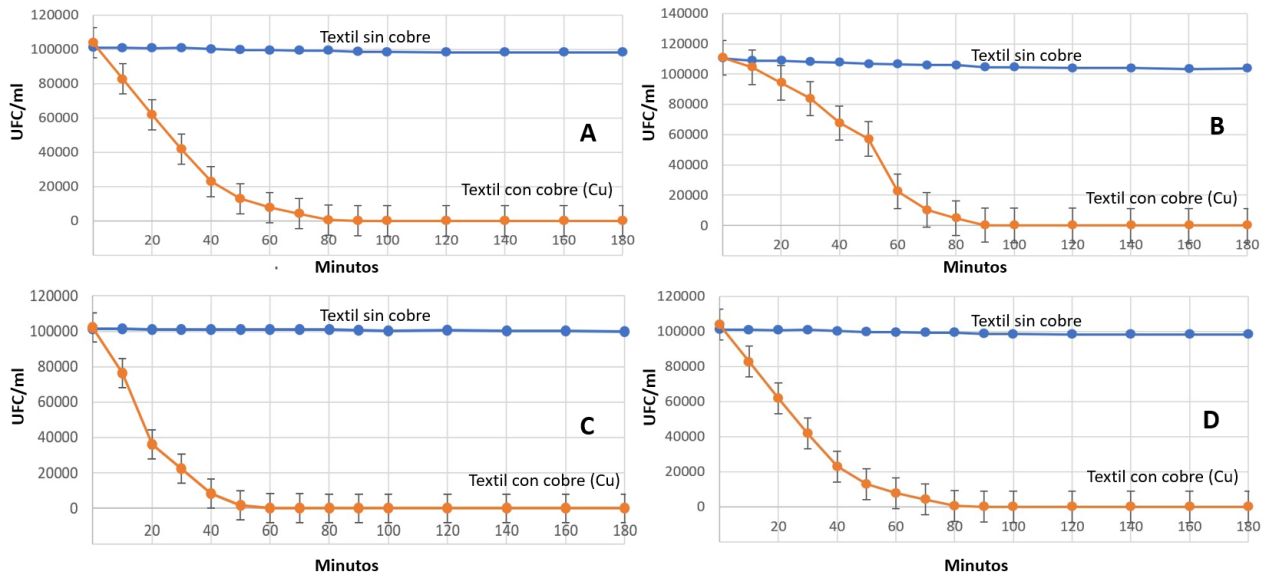
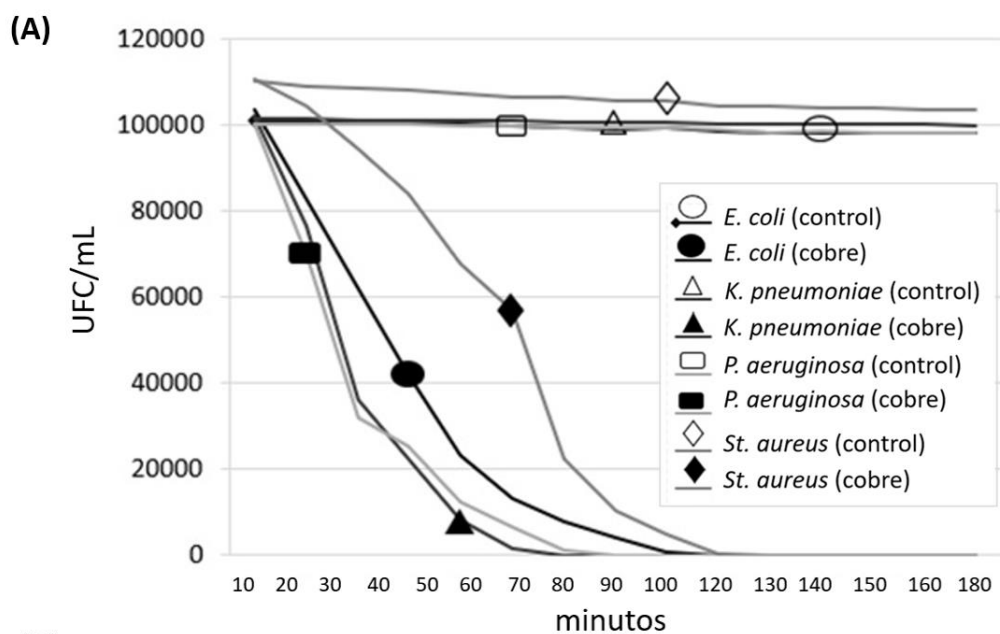


Figura 5. Curva de muerte para las bacterias patógenas intrahospitalarias *Escherichia coli* (A), *Staphylococcus aureus* (B), *Pseudomonas aeruginosa* (C) y *Klebsiella pneumoniae* (D) expuestas a textil con hilo de cobre durante 180 minutos. Recuentos de colonias crecidas en medio de cultivo sólido LB, después de ser expuestas a textil de algodón (control, línea azul) y textil con hilo de cobre (Cu, línea naranja). Los experimentos se realizaron por triplicado (barras de error) con inóculo inicial de 1×10^5 UFC/mL.



(B)

Bacteria patógena intrahospitalaria	Textil control	Textil hilo de cobre	p>0.05
<i>E. coli</i>	7.081 _a	0.026 _a	Significancia estadística
<i>K. pneumoniae</i> *	3.068 _a	0.074 _a	
<i>P. aeruginosa</i>	1.19 _a	0.048 _a	
<i>St. aureus</i>	1.854 _a	0.006 _a	
IC	Intervalo de confianza del 95%		

Figura 6. Efecto del cobre frente a las bacterias patógenas intrahospitalarias (A) *Escherichia coli* (círculo negro), *Staphylococcus aureus* (rombo negro), *Pseudomonas aeruginosa* (rectángulo negro) y *Klebsiella pneumoniae* (triángulo negro) expuestas a textil con hilo de cobre durante 180 minutos. Los experimentos se realizaron por triplicado (control sin cobre) con inóculo inicial de 1×10^5 UFC/mL. (B) Análisis estadístico con $p < 0.05$ del efecto antibacteriano del textil control vs textil hilo de cobre frente a todas las cepas bacterianas. **K. pneumoniae* presento significancia estadística $p = 0.074$, las demás cepas con $p < 0.05$.

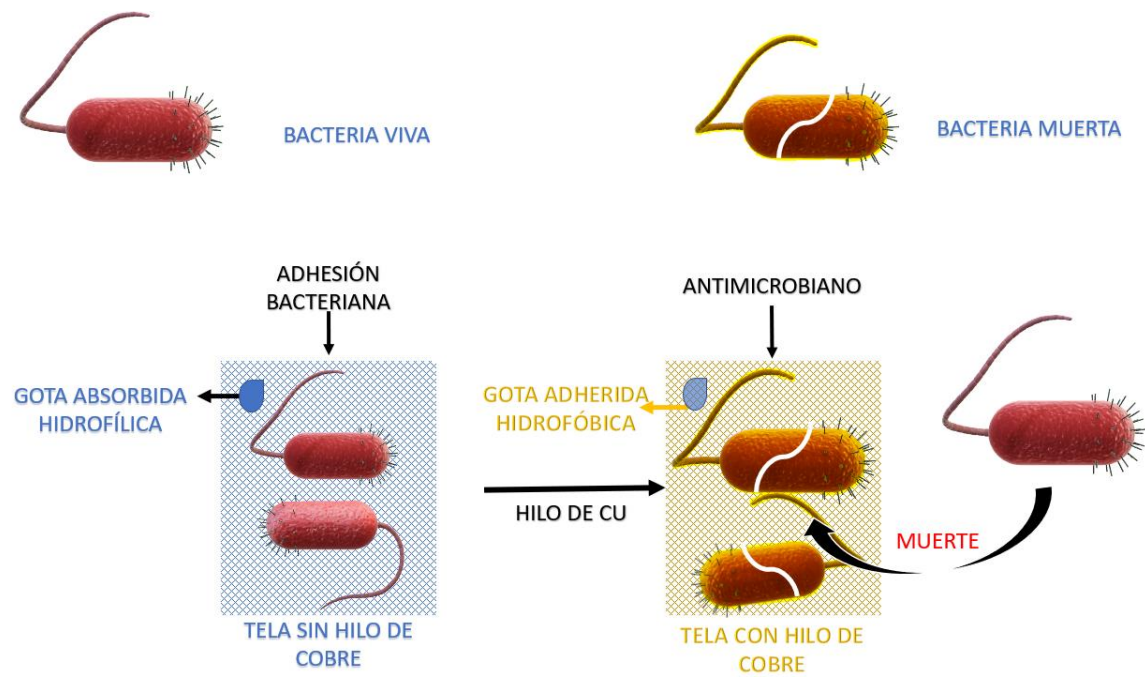


Figura 7. Modelo biológico y secuencia de eventos de actividad bactericida del hilo de cobre.