

# Development and evaluation of germicidal materials and infrastructure

Gonzales Rivasplata, José Miguel<sup>1</sup>, Yupanqui Apolinario, Eduardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Científica del Sur, Perú, [jgonzalesr@cientifica.edu.pe](mailto:jgonzalesr@cientifica.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [n00429472@upn.pe](mailto:n00429472@upn.pe)

**Abstract-** *The development of germicidal infrastructure and antimicrobial materials can play a significant role in containing pathogenic microorganisms in public health, food safety, public transportation, and across all sectors. This study aimed to test the antimicrobial properties of candidate metals such as copper and three of its alloys in solid and powder (scraping) form using pathogenic microorganisms such as Staphylococcus aureus and E. coli, simulating environmental conditions in which these microorganisms could survive. The results surprisingly showed significant bactericidal and bacteriostatic power in all the tested alloys except stainless steel, presenting a promising scenario for the development of innovations, materials, products, and infrastructure with antimicrobial and germicidal properties for all sectors.*

**Keywords –** *Antimicrobial infrastructure, germicidal surfaces, germicidal metals, antimicrobial alloys, bactericides.*

# Desarrollo y evaluación de materiales e infraestructura germicida

Gonzales Rivasplata, José Miguel<sup>1</sup>, Yupanqui Apolinario, Eduardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Científica del Sur, Perú, jgonzalesr@cientifica.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, n00429472@upn.pe

**Resumen–** El desarrollo de infraestructura germicida y materiales antimicrobianos pueden desempeñar un enorme papel en la contención de microorganismos patógenos en Salud pública, seguridad alimentaria, transporte público y en todos los sectores. Este estudio tuvo como objetivo desafiar las propiedades antimicrobianas de metales candidatos como el cobre y 3 de sus aleaciones en estado sólido y polvo (rayaduras) utilizando microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus* y *E. Coli* simulando condiciones ambientales en las que estos podrían sobrevivir. Los resultados sorprendentemente mostraron un enorme poder bactericida y bacteriostático de todas las aleaciones ensayadas a excepción del acero inoxidable, lo que supone un escenario promotor para el desarrollo de innovaciones, materiales, productos e infraestructura con poder antimicrobiano y germicida para todos los sectores.

**Palabras clave–** Infraestructura antimicrobiana, superficies germicidas, metales germicidas, aleaciones antimicrobianas, bactericidas.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las consecuencias de la resistencia microbiana a los antibióticos y desinfectantes se hace cada vez más letal desencadenando un escenario aterrador para la propagación de enfermedades microbianas y virales [1]. De igual forma, las amenazas que suponen la presencia de microorganismos multidrogosresistentes (MDR) y extra drogoresistentes (XDR) en nuestro país nos obligan a pensar en la necesidad de utilizar mejores herramientas de control [2]. Sumado a esto, el tránsito diario en el transporte público, la falta de higiene y el peligro constante a la propagación bacteriana en los envases de los alimentos, nos predisponen a un enorme riesgo de transmisión y contagio en todos los ámbitos de la salud pública [3].

Así mismo, un análisis de la producción científica de documentos relacionados al proyecto de desarrollo de materiales y superficies germicidas se realizó usando la base de datos SCOPUS, se muestra una tendencia creciente de la investigación mundial al año 2025. Los resultados de la búsqueda produjeron 49 documentos relacionados, en los cuales solo dos universidades en EE. UU tienen (7 y 3 documentos respectivamente), en Latinoamérica sólo la Facultad de Medicina y la facultad de Física de La Universidad de Chile han producido (2 publicaciones cada una en este campo) [4]. Así mismo, investigadores como Otther [5] y Bagchi. B [6], trabajan en la producción de aleaciones con propiedades antimicrobianas y de rendimiento óptimo para la

elaboración de materiales e infraestructura con actividad germicida. También, la oportunidad para el desarrollo de innovaciones en el sector público - privado Michels. H [7] y Schmidt MG [2] llegan a la conclusión de que es un campo propicio para el desarrollo de investigaciones cuya riqueza se podría traducir en el desarrollo de innovaciones para el sector salud.

Por otro lado, en este contexto las aleaciones de cobre ofrecen un escenario prometedor para el desarrollo de materiales, productos, infraestructura e innovaciones con poder antimicrobiano y más aun siendo el Perú junto a Chile los mayores productores de cobre a nivel mundial las iniciativas para investigar y desarrollar innovaciones germicidas suponen una oportunidad para nuestro país. Creemos que estos materiales pueden tener un potencial tremendo para el desarrollo de innovaciones en salud, seguridad alimentaria y el transporte público [4]. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la actividad germicida y antimicrobiana del Cobre y tres de sus aleaciones comparando su efectividad con el acero inoxidable al igual que otros autores [8,9] y utilizando protocolos de la EPA.

Así mismo, dado que el cobre posee propiedades antimicrobianas inherentes [10], hay investigadores que han evaluado su uso en dispositivos médicos para mejorar la higiene clínica y reducir la transmisión de infecciones asociadas a la atención médica, motivo por el cual se realizaron pruebas en los estetoscopios fabricados con aleaciones de cobre, mostrando una capacidad significativa para reducir la carga microbiana sin intervención activa, presentándose como una estrategia pasiva para el control de infecciones en el ámbito de la salud pública [11]. De igual manera, otro estudio confirma que las superficies de cobre pueden reducir la propagación de infecciones transmitidas por contacto manual en entornos de atención prolongada, lo que representa una estrategia efectiva para la prevención de infecciones asociadas a la atención sanitaria (IAAS), también reportaron que la efectividad del cobre varía según el tipo de infección, ya que no mostró impacto en infecciones transmitidas por el aire [12].

La creciente resistencia microbiana (MDR y XDR) sobre todo en el Perú, subraya la urgencia de desarrollar estrategias efectivas para evitar la diseminación bacteriana y mejorar el control en la mayor cantidad de ambientes posibles, es por ello que las aleaciones de cobre se perfilan como una alternativa prometedora, con aplicaciones en salud, seguridad alimentaria

y transporte. Las investigaciones y desarrollo en este campo no solo permitirían mejorar la infraestructura sanitaria, sino también aprovechar los recursos nacionales para impulsar la innovación y el crecimiento económico. El objetivo de este trabajo es evaluar y probar las propiedades antimicrobianas no sólo del cobre sino también de sus aleaciones teniendo en consideración las recomendaciones japonesas para la determinación de la actividad antimicrobiana, en ese sentido se opta por realizar pruebas experimentales de enfrentamiento de microorganismos como *Estafilococos aureus* y bacterias coliformes simulando condiciones ambientales a los distintos materiales con aparentes propiedades germicidas.

## II. METODOLOGÍA

### A. Preparación de las aleaciones

Se prepararon muestras de aleaciones de cobre - metal de 1mm de espesor por 2 cm por 2 cm (ancho - largo), se utilizó una lija estándar para obtener 2.5 mg de rayaduras en polvo de cada una. Las muestras fueron esterilizadas con alcohol al 98%. Las aleaciones escogidas fueron: Latón (CuZn<sub>37</sub>), Bronce de estaño (CuSn<sub>6</sub>), plata de níquel (CuNi<sub>18</sub>Zn<sub>20</sub>) además de Cobre 99.9% (Cu - ETP) como control positivo y Acero inoxidable como control negativo, antes de realizar las pruebas de enfrentamiento todas las aleaciones fueron desinfectadas con alcohol al 90%, dichas aleaciones son las más comerciales y utilizadas por diversas industrias.

TABLA 1  
PORCENTAJE DE COBRE EN LAS ALEACIONES

| Material                            | Porcentaje de cobre (%) |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Cu – ETP Cobre                      | 99.9                    |
| CuZn <sub>37</sub>                  | 63.2                    |
| CuNi <sub>18</sub> Zn <sub>20</sub> | 63.1                    |
| CuSn <sub>6</sub>                   | 94.1                    |
| Acero inoxidable                    | 0                       |

Elaboración propia

### B. Preparación de cepas

Se utilizó cepas de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* preparadas en solución salina (NaCl) al 0.5 escala de Mac Farland y utilizando una modificación del estándar japonés del método húmedo, los inóculos iniciales eran de 100 µL de cultivo diluidos en 900 µL de solución salina.

### C. Pruebas de enfrentamiento

Las muestras de metales en polvo - rayaduras se dispusieron en recipientes de plástico de 5 cm de diámetro por 7 cm de alto, posteriormente se inoculó 100 µL de cada bacteria durante el experimento, se mezcló el inóculo con las distintas aleaciones en polvo con una bagueta de vidrio y se cubrieron los recipientes cuidadosamente para permitir un cultivo en condiciones aeróbicas y evaluar en distintos tiempos (0, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos) a temperatura ambiente, según lo

indicado en los estándares de la Environmental Protection Agency (EPA) [13].

### D. Recuperación de cepas

Después de cierto periodo se adiciona 5 ml de caldo nutritivo (CN) con 20 perlas de vidrio y se sometió a agitación en Vortex (QUIA – IN VITRO, GERMAN), seguidamente se tomaron 100 µL de la suspensión y se preparó una batería de tubos con 4 diluciones seriadas, se tomó 100 µL de las preparaciones y se inocularon en medio sólido de agar nutritivo, se llevó a incubadora por 24 horas para cada punto temporal y se procedió al conteo de colonias [13].

Para cada aleación (metal y rayaduras en polvo) se sometió a un tiempo de exposición, de igual manera para cada microorganismo, se repitió por duplicado. Posteriormente, para el conteo de las Unidades Formadora de Colonia en placa UFC/ml se utilizó el promedio de los duplicados según la siguiente ecuación “(1)”:

$$UFC/mL = \frac{(N \times f \times V1)}{V2 \times V3} \dots\dots (1)$$

#### Donde:

N: número promedio de colonias / dilución en placa.

f: factor de dilución

V1: volumen del medio utilizado después de la exposición

V2: volumen aplicado a las aleaciones y rayaduras metálicas

V3: volumen de material plaqueado.

### E. Evaluación antimicrobiana

La efectividad antimicrobiana de las aleaciones se evaluó utilizando los criterios de Souli [14], según ello indica que de observarse una reducción de la población bacteriana de entre 2 y 3 logaritmos el material tendrá propiedades bacteriostáticas y si es mayor a 3 logaritmos tendrá propiedades bactericidas. Por tanto, si se tuviera una población inicial de  $12 \times 10^8$  UFC/ml y se observa una reducción de  $7 \times 10^5$  UFC/ml el producto tendrá propiedades bactericidas, como se observa en la tabla 3 el poder bactericida de las aleaciones en estado sólido es menor al de las aleaciones en polvo o rayaduras tabla 2, el poder bactericida de las rayaduras en polvo para cada una de las aleaciones es superior al de las aleaciones cuyas superficies permanecieron en estado sólido.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan en las tablas y figuras, las líneas punteadas representan los datos reales obtenidos y las líneas continuas las curvas ajustadas según su  $R^2$  para todas las aleaciones probadas (estándar y polvo de aleaciones: rayaduras) se utilizaron ambos microorganismos *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*.

TABLA 2  
PARÁMETRO R2 DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIA EN LA VARIANTE DEL EXPERIMENTO CON ALEACIONES METÁLICAS ESTÁNDAR (PLACAS).

| Presentación      | Aleación         | R <sup>2</sup>               |                |
|-------------------|------------------|------------------------------|----------------|
|                   |                  | <i>Staphylococcus aureus</i> | <i>E. Coli</i> |
| Estándar (Placas) | Cu – ETP Cobre   | 0.944                        | 0.956          |
|                   | CuZn37           | 0.934                        | 0.949          |
|                   | CuNi18Zn20       | 0.975                        | 0.945          |
|                   | CuSn6            | 0.920                        | 0.977          |
|                   | Acero Inoxidable | 0.967                        | 0.901          |

Elaboración propia

TABLA 3  
PARÁMETRO R2 DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIA EN LA VARIANTE DEL EXPERIMENTO CON ALEACIONES RAYADURAS METÁLICAS (POLVO).

| Presentación      | Aleación                            | R <sup>2</sup>               |                |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------|
|                   |                                     | <i>Staphylococcus aureus</i> | <i>E. Coli</i> |
| Polvo (Rayaduras) | Cu – ETP Cobre                      | 0.951                        | 0.881          |
|                   | CuZn37                              | 0.981                        | 0.948          |
|                   | CuNi <sub>18</sub> Zn <sub>20</sub> | 0.987                        | 0.936          |
|                   | CuSn6                               | 0.983                        | 0.827          |
|                   | Acero Inoxidable                    | 0.783                        | 0.97           |

Elaboración propia

Las mejores propiedades antimicrobianas se observaron en el cobre puro ETP tanto en polvo como en placa estándar, el bronce de estaño CuSn6 tuvo un gran poder germicida cuando estuvo en rayaduras (polvo). Todas las aleaciones mostraron poder germicida a excepción del acero inoxidable tanto en estado sólido como en polvo rayaduras.

La Fig.1 muestra el poder germicida del cobre en estado puro en N - Cu - ETP, comparación con las aleaciones ensayadas, se observa un elevado poder bactericida contra *E. Coli* a partir de los 30 minutos de exposición y a los 60 minutos todas las aleaciones a excepción del acero inoxidable reducen la población bacteriana en más de 3 logaritmos confirmando su poder bactericida, en contraste se observa que en la superficie de acero inoxidable las poblaciones bacterianas, la aleación de cobre - estaño CuSn6 muestra una mayor actividad germicida a partir de los 45 minutos en comparación con la aleación de Niquel - Zinc (CuNi<sub>18</sub>Zn<sub>20</sub>) permanecen prácticamente intactas donde existe una pequeña recuperación de la cepa de *E.coli* pero

la curva de muerte microbiana continúa hacia los 60 minutos de exposición.

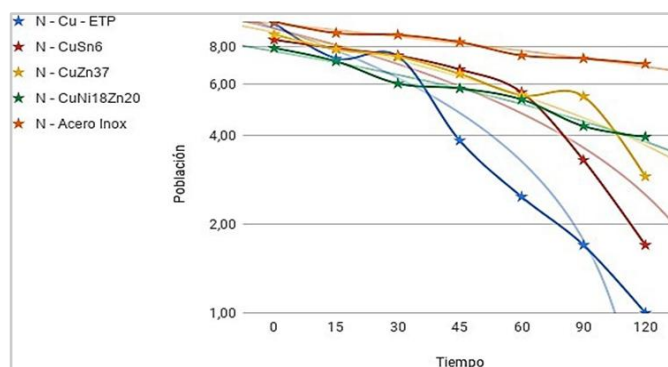


Fig. 1. Reducción de la población microbiana de *E. coli* (EC) (UFC/ml), en la variante del experimento con aleaciones metálicas estándar. (Elaboración propia)

En la Fig. 2 se observa el poder bactericida de las aleaciones estándar (en placa) a partir de 40 minutos cuando el microorganismo ensayado es *Staphylococcus aureus*, el poder bactericida se observa a partir de los 60 minutos para las aleaciones CuZn<sub>37</sub>, CuSn<sub>6</sub> y CuNi<sub>18</sub>Zn<sub>20</sub> en estado sólido, si bien las curvas de muerte microbiana se acentúan a partir de los 35 minutos, se evidencia que el mayor poder germicida de las aleaciones en estado sólido tienen mayor actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus* a partir del minuto 40, donde todas las aleaciones testeadas incrementan la curva de muerte microbiana en más de dos logaritmos.

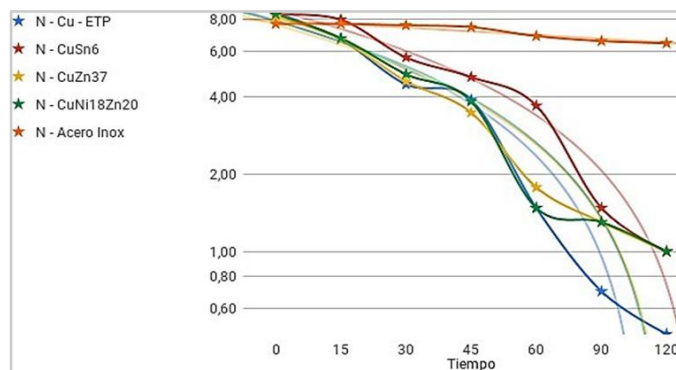


Fig. 2. Reducción de la población microbiana de *Staphylococcus aureus* (SA) (UFC/ml), en la variante del experimento con aleaciones metálicas estándar. (Elaboración propia)

La Fig. 3 muestra el ensayo con las aleaciones en polvo (rayaduras) se observa la reducción de la población microbiana en 2 logaritmos a partir de los 45 minutos cuando el microorganismo es *E. Coli*, observándose una caída de más de 3 logaritmos a partir del minuto 70, evidenciando las mismas características bactericidas como en el caso de las aleaciones en placa anteriormente testeadas .

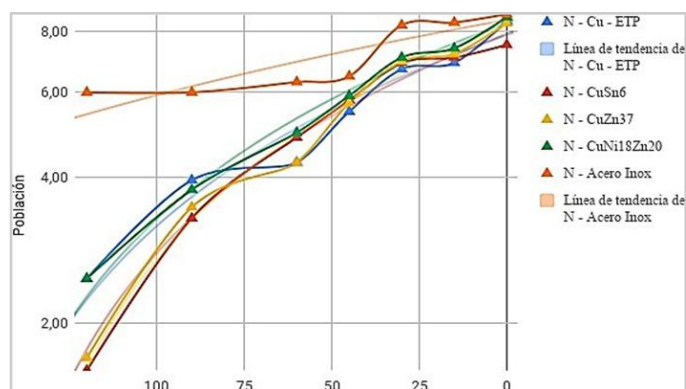


Fig. 3. Reducción de la población microbiana de *E. coli* (EC) (UFC/ml), en la variante del experimento con aleaciones metálicas en polvo (Rayaduras). (Elaboración propia)

En la Figura 4 se muestra el experimento con las con las aleaciones de cobre en polvo (rayaduras) cuando el microorganismo ensayado es *Staphylococcus aureus* (SA), la reducción de la población en más de 3 logaritmos para este microorganismo sorprendentemente comienza a partir de los 35 min de exposición, todas las aleaciones parecen tener un efecto similar cuando en su composición existe una mínima concentración de cobre.

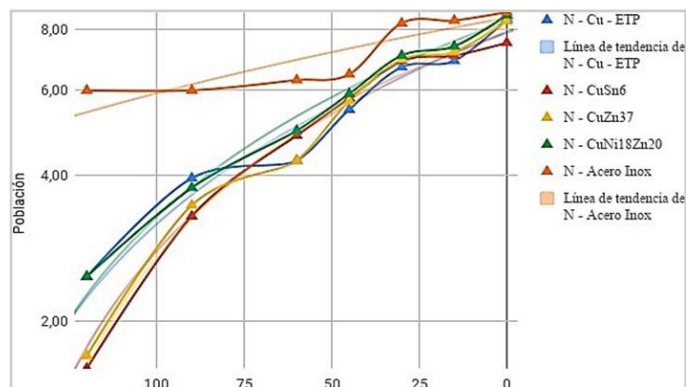


Fig. 4. Reducción de la población microbiana de *Staphylococcus aureus* (SA) (UFC/ml), en la variante del experimento con aleaciones metálicas en polvo (Rayaduras). (Elaboración propia)

#### IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este estudio tuvo como objetivo probar las propiedades antimicrobianas del cobre y 3 de sus aleaciones para proponer la formulación de proyectos de innovación y desarrollo en nuestro país que tengan que ver con el desarrollo de materiales y estructuras germicidas para el sector público y privado, la evaluación de las propiedades antimicrobianas se hizo utilizando los estándares de la Environmental Protection Agency (EPA) y el estándar japonés modificado.

Los resultados obtenidos en este trabajo confirman el poder germicida del cobre al igual que otros investigadores [15] y

también el poder bactericida de 3 de sus aleaciones, en el caso de las aleaciones procesadas en polvo (rayaduras), el tiempo de reducción fue significativamente menor que el reportado por otros investigadores [16] *Staphylococcus aureus* fue más sensible frente a las aleaciones en polvo que a su exposición a las aleaciones en placa a comparación de lo encontrado por otros autores [17].

A diferencia de otros autores [18] encontramos que los tiempos de reducción bacteriana de *E. Coli* era mucho más rápido cuando enfrentamos a *E. Coli* a las aleaciones en polvo el poder bacteriostático se observaba a los 25 minutos y el poder bacteriostático a los 45 minutos. Nuestros resultados fueron consistentes con la investigación de Souli en el caso de la eficacia bactericida del latón y cobre estaño.

La reducción completa de *E. Coli* en este estudio se pudo estimar de acuerdo con la tendencia de la curva de muerte microbiana y se estimó en 180 minutos para las aleaciones en polvo y 250 min para las aleaciones en placa, otros autores reportan tiempos de entre 120 y 300 minutos para cepas de *Staphylococcus aureus* [19].

El poder bactericida de las aleaciones de cobre puede encontrar aplicaciones prácticas [20] en el sector salud [21], industria alimentaria [22] y el transporte público [23] los criterios para determinar el poder germicida de una superficie los dio a conocer Souli en una de sus investigaciones en las que propone que una superficie es germicida si puede reducir la población bacteriana en más de 3 logaritmos y es bacteriostática si lo hace en más de 2 pero menos de 3 logaritmos.

Así mismo, en el estudio desarrollado en la Ref. [24], se revisó las evaluaciones de efectividad del cobre en reducir la carga microbiana en entornos sanitarios, para ello se analizaron 15 estudios in situ publicados entre los años 2010 y 2022, encontrándose que dos tercios de los estudios mostraron una reducción significativa de la contaminación microbiana en superficies de cobre en comparación con superficies de control.

Así mismo existe hoy en día investigadores que están empleando el cobre como recubrimiento para distintos objetos de uso diario como por ejemplo en el recubrimiento de botones de interruptores eléctricos basado en la deposición dinámica de gas por pulverización de cobre sobre plástico de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) [25], esta investigación evalúa el poder de las aleaciones para este propósito.

Otro grupo de investigadores enfrenta el problema de la corrosión influenciada microbiológicamente (MIC) dentro de las tuberías de acero utilizadas para la transmisión de gas natural. En este estudio [26], se introdujeron recubrimientos antimicrobianos que contienen cobre (Cu) como una solución viable para abordar el problema, en esta investigación se evalúa

el poder germicida de 4 aleaciones del cobre para el desarrollo de recubrimientos en productos de uso común.

Los resultados experimentales del estudio respaldan la eficacia del cobre y sus aleaciones como materiales antimicrobianos, con tiempos de reducción de bacterias competitivos respecto a investigaciones previas como por ejemplo las nanopartículas de cobre para su incorporación en distintos materiales asociados a la industria de la salud [27] ya que uno de los desafíos más relevantes en la sociedad moderna son los brotes de enfermedades infecciosas, donde las tecnologías basadas en cobre pueden desempeñar un papel importante. Actualmente, las nanopartículas y superficies de cobre son las tecnologías anti microbianas basadas en cobre más comunes que se podrían utilizar para protección de las superficies de contacto [28] si tenemos en cuenta que hace falta evaluar aún más aleaciones de cobre que puedan sostener su poder bactericida frente a nuevos patógenos multidrogo resistente, en esta investigación se evaluó el poder germicida del cobre frente a *Acinetobacter baumani* con disminuciones sensibles de la carga bacteriana [29]. También, se reporta que las aleaciones en polvo demostraron mayor rapidez en la eliminación de microorganismos, lo que sugiere un alto potencial de aplicación en entornos sanitarios y otros sectores críticos para la higiene. La adopción de superficies de cobre podría representar una estrategia efectiva para mitigar la propagación de infecciones [30], por ello se recomienda continuar con investigaciones para evaluar su viabilidad como un nuevo mecanismo antimicrobiano evaluando la eficacia del cobre en la reducción de infecciones en distintos entornos sanitarios, incluyendo hospitales, residencias de ancianos y clínicas ambulatorias.

#### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo confirma las propiedades antimicrobianas de 3 aleaciones de cobre tanto en su estado estándar (placas) como en polvo (rayaduras), con una reducción significativa de microorganismos como *Staphylococcus aureus* y *E. coli*.

Las aleaciones procesadas (rayaduras) tienen un mayor poder germicida que las aleaciones estándar (placas), sugiriendo que a mayor superficie de contacto favorece la acción antimicrobiana.

Se observan mejores propiedades antimicrobianas en las aleaciones que tienen un mayor porcentaje de cobre, demostrado que la capacidad germicida está directamente relacionada con la concentración de cobre de la superficie.

El sector Salud, la industria alimentaria y el transporte público podrían beneficiarse del desarrollo de proyectos de infraestructura y materiales germicidas.

Los experimentos ejecutados en este estudio apoyan el inicio del desarrollo y evaluación de materiales y superficies a base de aleaciones de cobre.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Científica del Sur el apoyo.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Walkowicz, P. Osuch, T. Knych, A. Mamala, B. Smyrak, and S. Bocheńska, "Analysis of the Antimicrobial Copper Alloys Registered by the Environmental Protection Agency," *Key Engineering Materials*, vol. 682, pp. 46–52, Feb. 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.682.46.
- [2] M. G. Schmidt, A. L. Banks, and C. D. Salgado, "Role of the Microbial Burden in the Acquisition and Control of Healthcare Associated Infections: The Utility of Solid Copper Surfaces," in *Use of Biocidal Surfaces for Reduction of Healthcare Acquired Infections*, Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 59–83. Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08057-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08057-4_4)
- [3] M. P. Muller et al., "Antimicrobial surfaces to prevent healthcare-associated infections: a systematic review," *Journal of Hospital Infection*, vol. 92, no. 1, pp. 7–13, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.jhin.2015.09.008.
- [4] J. Sánchez-Venegas et al., "Actividad inhibitoria del crecimiento bacteriano por cobre nanoestructurado obtenido de minerales de la región Maraón: comparación con cobre comercial," *Revista Peruana de Biología*, vol. 23, no. 3, pp. 305–310, Dec. 2016, doi: 10.15381/rpb.v23i3.12866.
- [5] J. A. Otter, "An Overview of the Options for Antimicrobial Hard Surfaces in Hospitals," in *Use of Biocidal Surfaces for Reduction of Healthcare Acquired Infections*, Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 137–166. Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08057-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08057-4_7).
- [6] B. Bagchi et al., "Antimicrobial efficacy and biocompatibility study of copper nanoparticle adsorbed mullite aggregates," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 32, no. 7, pp. 1897–1905, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.msec.2012.05.011.
- [7] H. Michels, W. Moran, and J. Michel, "Antimicrobial Properties of Copper Alloy Surfaces, With a Focus on Hospital-Acquired Infections," *International Journal of Metalcasting*, vol. 2, no. 3, pp. 47–56, Jul. 2008, doi: 10.1007/bf03355432.
- [8] M. G. Schmidt et al., "Copper surfaces are associated with significantly lower concentrations of bacteria on selected surfaces within a pediatric intensive care unit," *American Journal of Infection Control*, vol. 44, no. 2, pp. 203–209, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.ajic.2015.09.008.
- [9] I. Salah, I. P. Parkin, and E. Allan, "Copper as an antimicrobial agent: recent advances," *RSC Advances*, vol. 11, no. 30, pp. 18179–18186, 2021, doi: 10.1039/d1ra02149d.
- [10] M. Fernandez, J. Thompson, and A. Calle, "Novel feed additive delivers antimicrobial copper and influences fecal microbiota in pigs," *Microbiology Spectrum*, vol. 12, no. 6, Jun. 2024, doi: 10.1128/spectrum.04280-23.
- [11] M. G. Schmidt et al., "Antimicrobial copper alloys decreased bacteria on stethoscope surfaces," *American Journal of Infection Control*, vol. 45, no. 6, pp. 642–647, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.ajic.2017.01.030.
- [12] S. Zerbib et al., "Copper for the Prevention of Outbreaks of Health Care–Associated Infections in a Long-term Care Facility for Older Adults," *Journal of the American Medical Directors Association*, vol. 21, no. 1, pp. 68–71.e1, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.jamda.2019.02.003.
- [13] Oppts/opp/ad, "US EPA - Test Method for the Continuous Reduction of Bacterial Contamination on Copper Alloy Surfaces," Office of Pesticide Programs, 2015.
- [14] M. Souli et al., "Antimicrobial activity of copper surfaces against carbapenemase-producing contemporary Gram-negative clinical isolates," *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, vol. 68, no. 4, pp. 852–857, Dec. 2012, doi: 10.1093/jac/dks473.
- [15] M. G. Schmidt et al., "Copper surfaces are associated with significantly lower concentrations of bacteria on selected surfaces within a pediatric intensive care unit," *American Journal of Infection Control*, vol. 44, no. 2, pp. 203–209, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.ajic.2015.09.008.
- [16] Z. Ibrahim, A. J. Petrusan, P. Hooke, and S. M. Hinsla-Leasure, "Reduction of bacterial burden by copper alloys on high-touch athletic center surfaces," *American Journal of Infection Control*, vol. 46, no. 2, pp. 197–201, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.ajic.2017.08.028.
- [17] S. Chyderiotis, C. Legeay, D. Verjat-Trannoy, F. Le Gallou, P. Astagneau, and D. Lepelletier, "New insights on antimicrobial efficacy of copper surfaces in the healthcare environment: a systematic review," *Clinical Microbiology and Infection*, vol. 24, no. 11, pp. 1130–1138, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.cmi.2018.03.034.
- [18] H. Palza, M. Nuñez, R. Bastias, and K. Delgado, "In situ antimicrobial behavior of materials with copper-based additives in a hospital environment," *International Journal of Antimicrobial Agents*, vol. 51, no. 6, pp. 912–917, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.ijant.2018.03.034.



- 10.1016/j.ijantimicag.2018.02.007.
- [19] A. Róžańska et al., "Antimicrobial Properties of Selected Copper Alloys on Staphylococcus aureus and Escherichia coli in Different Simulations of Environmental Conditions: With vs. without Organic Contamination," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 7, p. 813, Jul. 2017, doi: 10.3390/ijerph14070813.
  - [20] M. Hans, S. Mathews, F. Mücklich, and M. Solioz, "Physicochemical properties of copper important for its antibacterial activity and development of a unified model," *Biointerphases*, vol. 11, no. 1, Nov. 2015, doi: 10.1116/1.4935853.
  - [21] J. Kredl, J. Kolb, U. Schnabel, M. Polak, K.-D. Weltmann, and K. Fricke, "Deposition of Antimicrobial Copper-Rich Coatings on Polymers by Atmospheric Pressure Jet Plasmas," *Materials*, vol. 9, no. 4, p. 274, Apr. 2016, doi: 10.3390/ma9040274.
  - [22] S. Kar et al., "Synthesis and characterization of Cu/Ag nanoparticle loaded mullite nanocomposite system: A potential candidate for antimicrobial and therapeutic applications," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, vol. 1840, no. 11, pp. 3264–3276, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.bbagen.2014.05.012.
  - [23] M. Sportelli et al., "Investigation of Industrial Polyurethane Foams Modified with Antimicrobial Copper Nanoparticles," *Materials*, vol. 9, no. 7, p. 544, Jul. 2016, doi: 10.3390/ma9070544.
  - [24] P. Aillón-García, B. Parga-Landa, and F. Guillén-Grima, "Effectiveness of copper as a preventive tool in health care facilities. A systematic review," *American Journal of Infection Control*, vol. 51, no. 9, pp. 1038–1048, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.ajic.2023.02.010.
  - [25] Emelyanenko, AM, Omran, FS, Teplonogova, MA, Chernukha, MY, Avetisyan, LR, Tselikina, EG, Putsman, GA, Zyryanov, SK, Butranova, OI, Emelyanenko, KA y Boinovich, LB (2024). Recubrimiento compuesto de cobre y plástico antimicrobiano: caracterización y estudio in situ en un entorno hospitalario. *Revista internacional de ciencias moleculares* , 25 (8), 4471. <https://doi.org/10.3390/ijms25084471>
  - [26] Hongshou Huang, Surinder Singh, Albert Juhasz, Anthony Roccisano, Andrew Siao Ming Ang, Nikki Stanford, Influence of copper distribution in thermally sprayed Cu-bearing coatings on corrosion and microbial activity, *Surface and Coatings Technology*, Volume 478, 2024, 130430, ISSN 0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130430>.
  - [27] Ivanova, IA, Daskalova, DS, Yordanova, LP y Pavlova, EL (2024). Aplicaciones del cobre y las nanopartículas de cobre y su papel contra las infecciones: una mini revisión. *Processes* , 12 (2), 352. <https://doi.org/10.3390/pr12020352>
  - [28] Ramos-Zúñiga, J., Bruna, N., y Pérez-Donoso, JM (2023). Mecanismos de toxicidad de nanopartículas de cobre y superficies de cobre en células bacterianas y virus. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares* , 24 (13), 10503. <https://doi.org/10.3390/ijms241310503>
  - [29] Blehm, CJ, Monteiro, MSG, Bessa, MC et al. Superficies hospitalarias revestidas de cobre: reducción de la carga bacteriana total y de la resistencia de *Acinetobacter* spp. *AMB Expr* 12 , 146 (2022). <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01491-x>
  - [30] Copper surfaces are associated with significantly lower concentrations of bacteria on selected surfaces within a pediatric intensive care unit Schmidt, Michael G. et al. *American Journal of Infection Control*, Volume 44, Issue 2, 203 - 209