

Biotempo (Lima)

latindex
catálogo



<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo>

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

DEVELOPMENT OF A MICROBICIDAL AQUEOUS PAINT TO AVOID INFECTATIONS BY CONTACT SURFACES

DESARROLLO DE UNA PINTURA ACUOSA MICROBICIDA PARA EVITAR LAS INFECCIONES VIA SUPERFICIES DE CONTACTO

Luz Castañeda-Pérez^{1,2,3*}; Teresa Defilippi-Shinzato²; María Alfaro-Bardales¹; Daniel Rosales-Intti^{3,4};
Gloria Saez-Flores³; Luis Figueroa Ramos⁵; Rafael Zafra-Saavedra³ & Sara Pineda-Heresi¹

- ¹ Red Internacional de Investigación, Desarrollo, Innovación y Emprendimiento /RIDIEP-EUPG -Universidad Nacional Federico Villarreal/Lima-Perú.
- ² Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental, GISA-EUPG/Universidad Nacional Federico Villarreal/Lima-Perú.
- ³ Facultad de Ciencias Naturales y Matemática-Universidad Nacional Federico Villarreal/Lima-Perú.
- ⁴ Maestría en Química-Universidad Nacional de Ingeniería/Lima-Perú.
- ⁵ LAR Representaciones SAC. /Lima-Perú.

*Corresponding author: lcastaneda@unfv.edu.pe

Luz Castañeda-Pérez: <https://orcid.org/0000-0001-6684-8205>
Teresa Defilippi-Shinzato: <https://orcid.org/0000-0002-6149-3334>
María Alfaro-Bardales: <https://orcid.org/0000-0003-4601-6748>
Daniel Rosales-Intti: <https://orcid.org/0000-0002-0680-2042>
Gloria Saez-Flores: <http://orcid.org/0000-0001-9093-0065>
Luis Figueroa-Ramos: <https://orcid.org/0000-0002-9564-7602>
Rafael Zafra-Saavedra: <https://orcid.org/0000-0001-7169-8715>
Sara Pineda-Heresi: <http://orcid.org/0000-0002-2648-35>

ABSTRACT

This research develops a microbicidal aqueous paint to prevent infections on high-touch surfaces. Based on the experimental tests, two chemical formulations were proposed consisting of an acrylic latex resin, silicone resin, titanium oxide, zinc omazide, copper oxide nanoparticles and additives. The results showed that the formulation 2 paint presented good homogenization, gloss and stability, its average drying time is 30 min, it has adequate metal coating thickness (49.2 μm) and viscosity (60 s in Ford No. 4 cup), according to the standards ASTM D 1186 01 and ASTM D 1200, respectively; Based on these characteristics, it is considered to be of acceptable quality. The bioassays carried out with bacteria of *Staphylococcus aureus* Rosenbach, 1884 and *Escherichia coli* (Escherich, 1885) by the incorporation method, showed that the two formulations have antifungal and antimicrobial properties. In determining the antifungal effect of environmental fungi such as *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp. (filamentous fungi) and *Rodotorula* sp. (yeast) in formulation 1 up to the 1/10⁶ dilution no growth is observed and in formulation 2 it did not grow until the last dilution that was used (1/10¹⁰). It is concluded that its use in the painting of high contact surfaces would be efficient to avoid infections by bacteria such

as *S. aureus* and *E. coli*. In the toxicity test of the paint of both formulations, we can say that from 37 ug it inhibits 50% of cell growth, which we can deduce that there is an effect on prokaryotes such as bacteria. It is recommended to continue bioassays to expand their study with other bacteria, fungi and parasites.

Keywords: aqueous paint – copper oxide nanoparticles – microbicidal paint – zinc omazide

ABSTRACT

La presente investigación desarrolla una pintura acuosa microbicida para evitar infecciones en superficies de alto contacto. En base a los ensayos experimentales se propusieron dos formulaciones químicas constituidas por una resina látex acrílico, resina siliconada, óxido de titanio, omazide de zinc, nanopartículas de óxido de cobre y aditivos. Los resultados demostraron que la pintura de la formulación 2 presentó buena homogenización, brillo y estabilidad, su tiempo de secado promedio es de 30 min, tiene adecuado grosor de recubrimiento en metal (49,2µm) y viscosidad (60s en copa Ford N°4), según las normas ASTM D 1186 01 y ASTM D 1200, respectivamente; en base a estas características se considera de calidad aceptable. Los bioensayos realizados con bacterias de *Staphylococcus aureus* Rosenbach, 1884 y *Escherichia coli* (Escherich, 1885) por el método de incorporación, demostraron que las dos formulaciones tienen propiedades antimicrobianas. En la determinación del efecto antifúngico de hongos ambientales como *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp. (hongos filamentosos) y *Rodotorula* sp. (levadura) en la formulación 1 hasta la dilución 1/10⁶ no se observa crecimiento y en la formulación 2 no creció hasta la última dilución que fue empleada (1/10¹⁰). Se concluye que su uso en el pintado de superficies de alto contacto sería eficiente para evitar infecciones por hongos ambientales y bacterias como *S. aureus* y *E. coli*. En el ensayo de toxicidad de la pintura de ambas formulaciones podemos decir que a partir de 37 ug inhibe el 50% de crecimiento celular lo que podemos deducir que hay efecto en procariontes como bacterias. Se recomienda continuar los bioensayos para ampliar su estudio con otras bacterias, hongos y parásitos.

Palabras clave: nanopartículas de óxido de cobre – omazide de zinc – pintura acuosa – pintura microbicida

INTRODUCCIÓN

El planeta enfrenta diversas amenazas por la proliferación de patógenos que afectan la calidad de vida de la población, tal como ocurre con la actual pandemia que ha causado más de 285 millones de infectados por el virus del SARS-CoV2, ello obliga a buscar soluciones que contribuyan a disminuir la transmisión de este agresivo coronavirus, y pensar en aquellas bacterias, hongos y parásitos que pueden mantenerse en diversas superficies por muchas horas o incluso días, generando una rápida transmisión de enfermedades en la población. Es posible descontaminar las superficies con desinfectantes, pero es imposible que esta desinfección se realice en todo momento, por ello, una solución apropiada es aplicar sobre las superficies de pasamanos, manijas, mostradores, entre otras, pinturas que repelan patógenos, evitando de esta forma una infección de la población (Salas *et al.*, 2020; OMS, 2021).

El uso de nanopartículas brinda nuevas oportunidades para vincular terapias y nuevos materiales. El uso de na-

nopartículas inorgánicas en recubrimientos antisépticos para prevenir la transmisión de patógenos e infección, dada la alta relación de área de superficie reactiva a volumen y las propiedades químicas de las nanopartículas con base en metales permiten la inactivación de virus, esto se debe a que las nanopartículas ejercen su acción viricida a través de mecanismos que incluyen la inhibición del receptor de la célula viral (Lina *et al.*, 2021).

Se ha desarrollado una pintura antimicrobiana basada en un ligando base Schiff y sus complejos binarios y ternarios de ion UO²⁺ para aplicarlos en recubrimientos superficiales. El ligando y sus complejos metálicos exhibieron un buen efecto antimicrobiano, contra algunas de bacterias Gram-negativas, Gram-positivas y hongos, tanto para formulaciones de pintura en películas recubiertas húmedas o secas. Se encontró que los aditivos antimicrobianos preparados mejoraron el rendimiento la resistencia física y mecánica de la película recubierta (Abeer *et al.*, 2021).

En el ámbito de la prevención de la infección y la promoción de la osteoconducción son los factores clave

para lograr el éxito a largo plazo en implantes ortopédicos, bien puede extenderse al campo de los recubrimientos, dado que es posible reparar fácilmente un recubrimiento antimicrobiano, dado que la serie de pinturas trabajadas en este ensayo, tales como: EPLC con catecol (15 mM) y concentraciones variables de EPL (30, 40 y 50 mM) y denominados EPLC1, EPLC2 y EPLC3, resultaron ser fáciles de pintar sobre implantes (Xu *et al.*, 2021).

En mayo del 2020, especialistas en el área de recubrimientos se reunieron virtualmente en la Real Sociedad de Química del Reino Unido para discutir cómo se podrían utilizar tecnologías de superficies especiales para abordar la pandemia global COVID-19. El seminario identificó los desafíos, entre ellos, el uso de recubrimientos antivirales que contengan agentes que eviten que los microorganismos crezcan en las superficies de los materiales, razón por la cual se ha creado una plataforma abierta para discutir estos avances (Coatings Group & British Coatings Federation-BCF, 2020).

En una nota editorial de Coatings Group & British Coatings Federation-BCF (2020), se reportó el producto NANOVA HYGIENE+ como revestimiento antimicrobiano para superficies como tejidos, plásticos, metales y hormigones que contiene en su composición el cóctel de QUATs no migratorios y AgNPs (nanopartículas de plata) cargados positivamente como nanopartículas bioactivas dispersas en polímeros aglutinantes (Focus on Powder coating, 2020).

Los principales materiales a base de grafeno para combatir COVID-19, consideran que los recubrimientos de superficie antiviral a base de grafeno para superficies de alto contacto son extremadamente importantes (Srivastava *et al.*, 2020). Por su parte, el diario ABS de Sevilla (2020) anunció que la empresa de Sevillana Graphenstone, desarrolló un desinfectante natural inhibidor del crecimiento de microorganismos para interiores y exteriores.

Se ha sintetizado un nuevo biocida mediante la modificación química de la nanosílice (NS) con p-nitro fenol (PNP). El p-nitro fenol en sílice demostró mejorar las propiedades antifúngicas y antibacterianas de una pintura a base de agua en un 100 % y 50 % respectivamente (Dileep *et al.*, 2020). En esa dirección se inscribe, el aporte de Fernández-Tornero *et al.* (2020) estudiaron la actividad antimicrobiana de óxido de zinc parcialmente recubierta con nanopartículas de plata producidas por Flame Spray Pyrolysis (FSP) como aditivo para incluir en pinturas a base de agua con aplicaciones en áreas como escuelas, clínicas u entornos hospitalarios y en equipos e instalaciones de la industria alimentaria.

En el Perú, la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP, 2020) ha registrado una investigación sobre el recubrimiento de pintura a base de taninos hidrolizables y cobre aplicado sobre pasamanos, estribos y otros elementos del interior de unidades de transporte urbano para reducir el periodo de permanencia sobre tales superficies del virus SARS-CoV-2. Por último, Mardones *et al.* (2019) utilizaron las sílices mesoporosas SBA-15 y MCF como adsorbente poroso sólido para soportar un biocida comercial líquido.

La presente investigación desarrolla una pintura acuosa microbicial para evitar infecciones en superficies de alto contacto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El universo de la investigación consideró a la gama de diversas pinturas acuosas que se conocen en la industria de recubrimientos. La muestra está constituida por las pinturas acuosas que tienen actividad microbicial (inhiben/matan a los bacterias, hongos y virus) y se pueden utilizar en materiales de alto contacto, como son pasamanos en los buses u otros; manijas de puertas; mostradores; ascensores; juegos en parques, paredes, entre otros.

Los reactivos utilizados fueron: Sulfato de Cobre, Ácido acético, Polivinilpirrolidona (PVP), Polietilén glicol (PEG), Resina acrílica, Resina siliconada, Pyriotinato de Zinc (Omadina de zinc), Óxido de titanio, Nanopartículas de CuO, Pigmentos: rojo supra BWS, amarillo supra RL y negro supra BRL.

Se analizó la adherencia, viscosidad, tiempo de secado, pH y se realizaron los bioensayos en bacterias y hongos. Los análisis se realizaron según las normas internacionales para pinturas y los protocolos para bioensayos. Se utilizaron dos formulaciones: una resina acrílica comercial y una resina de silicona preparada para esta investigación; como compuestos microbicidas se utilizó omazide de Zn y se preparó nanopartículas de CuO. Las dos mejores formulaciones de las pinturas elaboradas fueron evaluadas en base a las normas ASTM D 1200 con la copa Ford N°4 (ASTM, 2018) para la viscosidad de pinturas, barnices, lacas y similares; tiempo de secado y pH, y para el espesor de recubrimiento en las pinturas se realizó según la norma ASTM D 1186 01 (ASTM, 2017). Así mismo, se probó su recubrimiento en metales y cuero sintético. Las pruebas se realizaron por triplicado para cada formulación.

Se realizó el bioensayo de citotoxicidad de la pintura en sus dos formulaciones. Se utilizó la prueba del MIT, se

proliferó las células VERO en un medio DMEM completo (suplementado con L-glutamina 1X, suero fetal bovino al 5% y antibiótico/antimicótico 1X), e incubadas a 37°C, 5% de CO₂ y 95% de HR. Formada la monocapa las células fueron tripsinizadas, lavadas, resuspendidas en medio DMEM completo en una densidad de 120000 células por mL, para luego sembrar las células en placas de 96 pozos (100µL de la suspensión). Después de tener una confluencia de 90% se colocó la pintura a diferentes concentraciones y por duplicado (50,10,2,0,4,0,08 µg·mL⁻¹) y en los pozos controles solo se colocó el diluyente usando la concentración más alta (50 µg·mL⁻¹); se llevó a incubación por 72 h, luego se añadió 25 µL de MTT (25mg·mL⁻¹), se incubó por 5 h a 37°C, para permitir la formación de cristales. Luego se eliminó el sobrenadante, se añadió 100 µL de isopropanol y finalmente se realizó la lectura en un lector de ELISA (Versa Max Micro™ microplate reader) a 570 nm; en cada caso se determinó la concentración citotóxica media (CC₅₀), concentración que reduce el número de células viables al 50%.

El segundo ensayo fue la determinación del efecto antibacteriano, se reactivaron dos cepas del Laboratorio de FCCNM-UNFV (Facultad de Ciencias Naturales y Matemática – Universidad Nacional Federico Villarreal), *Staphylococcus aureus* Rosenbach, 1884 (ATCC 25933) y *Escherichia coli* (Escherich, 1885) (ATCC 25922). El bioensayo se realizó mediante el método de disco difusión de Kirby Bauer para determinar la concentración mínima inhibitoria (MIC), para ello en placas que contienen agar Müller Hinton se sembró cada bacteria en una estándar 0,5 de la escala de Mc. Farland, con hisopo en toda la superficie del agar. A los discos de papel filtro de 7mm de diámetro se le impregnaron con 20 µL de las concentraciones 4 ug·mL⁻¹, 16 ug·mL⁻¹ y 32ul·mL⁻¹ de pintura en la fórmula 1 y 2, y se sometió a incubación a 37°C en estufa de 24 a 48 h. Se realizó el método de incorporación, se colocó en placas Petri estériles las concentraciones de pinturas del método anterior, se agregó el agar Müller Hinton (licuado a 40°C aprox.) y cuando se ha solidificado, se

siembran las bacterias antes mencionadas. El tercer bioensayo fue la determinación de actividad antifúngica para ello se empleó el método de incorporación, se colocó nueve diluciones seriadas(1/10....1/10⁹) de la pintura a la placa vacía y luego se agregó Sabouraud licuado, se esperó a que se solidificara, se complementó con el método gravimétrico de sedimentación en placa Petri para el muestreo de aire con exposición al ambiente, durante 15 min las esporas aéreas cayeron a las placas, se taparon las placas Petri y se llevó a estufa a 25°C de 48 a 72 h.

Se pesó 18 g de acetato de cobre en 2 L de agua, a esta solución se le añadió 15 g de polivinilpirilidona (PVP) y 10 de polietilen glicol (PEG 400), se mezcla bajo agitación a 800 rpm; una vez que la solución esté homogenizada se lleva a calcinación a 700°C. Se comprobó la formación de las nanopartículas de CuO mediante el efecto Tyndall.

Aspectos éticos: en la presente investigación no se han realizado ensayos con animales de experimentación ni ensayos clínicos con seres humanos; así mismo se realizó el adecuado manejo de residuos.

RESULTADOS

Respecto a la obtención de la Nanopartículas de Oxido de Cobre (CuO)

El acetato de cobre, preparado *in situ* con una mol de CuO·H₂O₅, se solubilizó en mínima cantidad de agua, luego se le agregó 0,75mol de NaHCO₃ y 0,25mol de KOH. El precipitado blanco se separó, se le agrega 1,2mol de ácido acético glacial y se seca a 45°C. Las pinturas acuosas microbicidas fueron preparadas en base a las dos mejores formulaciones logradas, las composiciones se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación 1 de la pintura microbicida y Formulación 2 de la pintura acuosa microbicida.

Reactivos	Composición (%) Formulación 1	Reactivos	Composición (%) Formulación 2
Resina acrílica A	40	Resina acrílica B	40
Resina silicona	15	Resina silicona	15
Omadina de Zn	5	Omadina Zn	5
Oxido de titanio	20	Oxido de titanio	20
Nanopartícula de Cobre CuO	0,1	Nanopartícula de Cobre CuO	0,2
Completar con agua hasta 100%		Completar con agua hasta 100%	

Los reactivos fueron pesados en el orden de la formulación, mezclando hasta total homogenización de la pintura,

colocados en los recipientes (Tabla 2).

Tabla 2. Viscosidad, espesor de recubrimiento y secado de las pinturas elaboradas.

Muestra	Viscosidad promedio (seg)	Espesor de recubrimiento (μm)	Tiempo de Secado promedio (min)
Pintura de formulación 1	180	37,5	38
Pintura de formulación 2	60	49,2	30

La formulación 2 es mejor cubriente, su viscosidad es la apropiada y presenta mayor brochabilidad y no formaron grumos (Tabla 2).

Respecto a los bioensayos, en su componente de citotóxi-

cidad de la pintura de la formulación 1 y 2, se obtuvo lo siguiente MIC de la pintura en la Formulación 1 es de $31 \text{ ug}\cdot\text{mL}^{-1}$ y en la Formulación 2 es de $22 \text{ ug}\cdot\text{mL}^{-1}$, podemos decir que a partir de 37 ug puede inhibir el 50 % del crecimiento celular.

Tabla 3. Actividad antibacteriana (mm) frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* por efecto de la pintura de formulación 1 y 2 aplicado a diferentes concentraciones: método de Kirby Bauer.

Concentración de la Pintura ($\text{ug}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Cepas bacterianas / promedio de halo (mm)			
	Fórmula 1		Fórmula 2	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
4	0	0	0	0
16	0	0	0	0
32	0	0	0	0

En lo referente al efecto antibacteriano, este se evaluó, como se mencionó en la parte metodológica, en primer lugar, por el método Kirby Bauer, según el cual, ninguna de las cepas de *E. coli* y *S. aureus* fue sensible a la pintura

por el método de Kirby Bauer, no se observó halo de inhibición en ninguna de las concentraciones aplicadas. Tal como se muestra en la Figura 1, se observó crecimiento de las cepas de *E. coli* y *S. aureus* en el medio de cultivo.

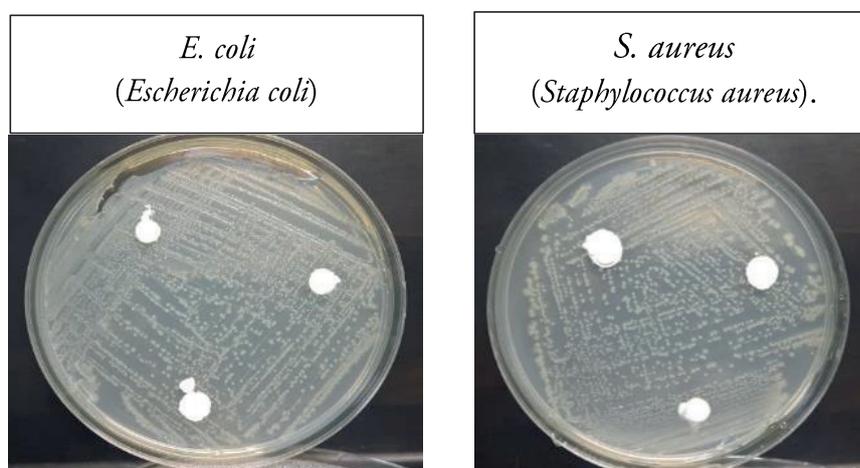


Figura 1. Método Difusión en placa (Kirby Bauer), discos impregnados de Pintura microbicial en la Formulación 1 y 2.

En cuanto al método de incorporación, se aprecia que el agar Müller Hinton suplementado con una concentración de $4 \text{ ug}\cdot\text{mL}^{-1}$ de sol. Formulación 1 y 2 se observa un leve crecimiento de la cepa de *E. coli* y *S. aureus* estandarizada a 0,5 según la escala de Mac Farland. En la determinación del efecto antifúngico de hongos ambientales como *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp. (hongos filamentosos) y *Rodotorula* sp. (levadura) en la formulación 1 hasta la dilución $1/10^6$ no se observa crecimiento y en la formulación 2 no creció hasta la última dilución que fue empleada ($1/10^{10}$). Se observó crecimiento en el control del agua y medio de cultivo empleado.

DISCUSIÓN

En las formulaciones se tuvo en cuenta las investigaciones de Das-Jana *et al.* (2021) y Rakowska *et al.* (2021) quienes usaron nanopartículas de cobre y grafeno, en éste caso se trabajó con nanopartículas de CuO obtenidas de acetato de cobre. Otros componentes, como el uso del dióxido de titanio para el adecuado recubrimiento, estudiado por Amirkhanov *et al.* (2015), también fue considerado en la formulación. Se incluyó tanto resina látex acrílica, como resina siliconada (de formulación propia), ambas para base agua, funcionando bien en el mezclado y aportaron textura y brillo a la pintura. Las mediciones de viscosidad, espesor de película seca sobre superficie metálica y tiempo de secado mostraron que la pintura de formulación 2 tiene mejores características físico-químicas. Por ende, es una pintura de mejor calidad respecto a la formulación 1. En la presente investigación se ha presentado un protocolo general para la elaboración de las pinturas, considerando que en adelante tengan una aplicación comercial.

Respecto a la actividad antibacteriana frente a *E. coli* y *S. aureus* por el método de incorporación se ha encontrado actividad antimicrobiana en las formulaciones 1 y 2. Según la metodología se observó que cuando se colocaron en placas vacías estériles, la pintura elinoculo de bacterias y luego se agrega agar licuado, haciendo movimientos rotatorios para homogenizar, se observa que hay una distribución tanto de la pintura como de las bacterias, observándose claramente la actividad biocida. Al respecto, con la formulación 1 y 2 de la pintura en el método de incorporación sólo se observó un ligero crecimiento de *E. coli* en la concentración $4 \text{ ug}\cdot\text{mL}^{-1}$, en esta misma concentración respecto a *S. aureus* no se observa crecimiento; mientras que en las concentraciones 16 y $32 \text{ ug}\cdot\text{mL}^{-1}$ de ambas formulaciones, no hay crecimiento de ninguna de las dos bacterias, estos resultados son consistentes con los obtenidos por Rakowska *et al.* (2021).

Las mismas bacterias *E. coli* y *S. aureus* por el método de Kirby Bauer, no mostraron efecto inhibitorio para las concentraciones experimentadas. Este resultado, difiere de los estudios realizado por Haldar *et al.* (2006) que si encontraron actividad biocida sobre estas bacterias considerando que hay una actividad de los componentes bioactivos. Si bien es cierto que este resultado no es favorable a lo esperado, consideramos que es muy probable que los componentes activos de las pinturas, no se hayan expandido adecuadamente en el agar cuando se ha embebido en el papel filtro (por diferencia de viscosidades, por ejemplo), y, por lo tanto, no han interactuado con las bacterias, este resultado nos compromete a ampliar la investigación para este ensayo.

En la determinación del efecto antifúngico de hongos ambientales en la formulación 1 hasta la dilución $1/10^6$ no se observa crecimiento y en la formulación 2 no creció hasta la última dilución que fue empleado ($1/10^{10}$), se observó crecimiento en el control del agua y medio de cultivo empleado. Estos resultados son consistentes con estudios similares realizados por Hamouda *et al.* (2001) y Das-Jana *et al.* (2021), los cuales demostraron actividad biocida de nanopartículas de metales, en la que se inhibe la producción de micelio y esporas. Es sabido que la actividad biocida es dependiente de la naturaleza y concentración de las especies de microorganismos probados. Se estima que las nanopartículas de CuO principalmente, ayudada con la omadina de zinc, ambas presentes en las formulaciones de las pinturas desarrolladas, ejercen una acción eficaz frente a los hongos.

En base a los resultados podemos concluir que se ha logrado elaborar una pintura acuosa (en base solvente agua), con propiedades de buen secado (promedio 30 min), adecuado grosor de recubrimiento en metal ($49,2 \mu\text{m}$) y viscosidad (60s en copa Ford N° 4), con base a las normas internacionales ASTM, y corresponde a una pintura de buena calidad. Los bioensayos realizados han demostraron que tiene propiedades antifúngicas y antimicrobianas; por lo tanto, sería posible su uso en el pintado de superficies de alto contacto pues su recubrimiento evitaría infestaciones por hongos ambientales y bacterias como *E. coli* y *S. aureus*. No obstante, se recomienda continuar los bioensayos para confirmar resultados y ampliar el estudio con otras bacterias.

Como conclusión practica y teniendo en cuenta el procedimiento experimental, consideramos que para una correcta elaboración de la pintura se debe aplicar el siguiente Protocolo general: a) Respetar los criterios de seguridad y adecuada disposición de los residuos en todas

las etapas del proceso, b) Elaborar el acetato de cobre y la nanopartícula de CuO, según procedimiento descrito en esta investigación, c) Controlar la formación de la nanopartícula de cobre, mediante la prueba del efecto Tyndall (dispersión de la luz por efecto de la nanopartícula) u otro método posible, d) Pesar los insumos según las cantidades establecidas en las formulaciones, controlar las fechas de vencimiento de los insumos, e) Dosificar los insumos según la formulación con adecuada agitación para lograr una mezcla altamente homogénea (evitar la formación de grumos o burbujas), f) Realizar las pruebas de calidad de la pintura según las normas ASTM, g) Analizar su actividad microbicial de la pintura según los bioensayos para bacterias, hongos y de ser posible virus, respetando estrictamente los protocolos de bioseguridad, y h) Colocar la pintura en recipientes cerrados con las indicaciones pertinentes de uso y seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeer, A.; Faheim, M.M.; Elsayy-Salem, S.; Salem, B.H. & El-Wahab, C. 2021. Novel antimicrobial paint based on binary and ternary dioxouranium (VI) complexes for surface coating applications. *Progress in Organic Coatings*, 151: 106027.
- Amirkhanov, R.N.; Mazurkova, N.A.; Amirkhanov, N.V. & Zarytova, V.F. 2015. Composites of peptide nucleic acids with titanium dioxide nanoparticles. IV. Antiviral activity of nanocomposites containing DNA/PNA duplexes. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 41: 162–169.
- ASTM D1200-10. 2018. *Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup*. <https://www.astm.org/d1200-10r18.html>
- ASTM D1186-01. 2017. *Standard test methods for nondestructive measurement of dry film thickness of non-magnetic coatings applied to a ferrous base*. <https://www.document-center.com/standards/show/ASTM-D1186>
- Coatings Group & British Coatings Federation-BCF. 2020. *Coatings experts discuss use of anti-viral surface technologies to tackle COVID-19*. PCI Paint & Coatings Industry, <https://www.pcimag.com/articles/107435-coatings-experts-discuss-use-of-anti-viral-surface-technologies-to-tackle-covid-19>
- Das-Jana, I.; Kumbhakar, P.; Banerjee, S.; Gowda, C.C.; Kedia, N.; Kuila, S.K. & Mondal, A. 2021. Copper nanoparticle-graphene composite-based transparent surface coating with antiviral activity against influenza virus. *ACS Applied Nano Materials*, 4: 352–362.
- Diario ABS de Sevilla. 2020. *La empresa sevillana Graphenstone desarrolla una pintura que mata el Covid-19 en 24 horas*. https://sevilla.abc.es/economia/sevi-coronavirus-empresa-sevillana-graphenstone-desarrolla-pintura-mata-covid-19-24-horas-202004091603_noticia.html
- Dileep, P.; Sinto, J.; Sunil, B. & Narayanankutty, K. 2020. Functionalized nanosilica as an antimicrobial additive for waterborne paints. *Progress in organic coatings*, 142: 105574.
- Fernández-Tornero, A.; García-Blasco, M.; Chiquirín-Azqueta, M.; Fernández-Acevedo, B.; Salazar-Castro, C. & Ramos-López, B. 2020. Antimicrobial ecological waterborne paint based on novel hybrid nanoparticles of zinc oxide partially coated with silver. *Progress in Organic Coatings*, 121: 130-141.
- Focus on Powder coatings. 2020. *Anti-viral Coatings: Protecting your health or the durability of the item?*. Editorial. *Focus on Powder coatings*, 7: 1.
- Haldar, J.; An, D.; Cienfuegos, L.A.; Chen, J. & Klibanov, A.M. 2006. Polymeric coatings that inactivate both influenza virus and pathogenic bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 17667-17671.
- Hamouda, T.; Myc, A.; Donovan, B.; Shih, A.Y.; Reuter, J.D. & Baker, J.R. 2001. A novel surfactant nanoemulsion with a unique non-irritant topical antimicrobial activity against bacteria, enveloped viruses and fungi. *Microbiological Research*, 156: 1-7.
- Lina, N.; Verma, D.; Sainia, N.; Arbia, R.; Munira, M.; Jovicd, M. & Turaka, A. 2021. Antiviral nanoparticles for sanitizing surfaces: A roadmap to self-sterilizing against COVID-19. *Nano Today*, 40: 101267.
- Mardones, L.; Legnoverde, M.; Monzón, J.; Bellotti, N. & Basaldella, E. 2019. Increasing the effective-

ness of a liquid biocide component used in anti-fungal waterborne paints by its encapsulation in mesoporous silicas. *Progress in Organic coatings*, 134: 145-152.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2021. *Brote de enfermedad por Coronavirus*. <https://www.paho.org/es/temas/coronavirus/brote-enfermedad-por-coronavirus-covid-19>

Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). 2020. *Pintura anti COVID con el Dr. Santiago Flores*. <https://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/2020/11/20/podcast-ingenio-pintura-anti-covid-dr-santiago-flores/>

Rakowska, P.D.; Tiddia, M.; Faruqui, N.; Bankier, C.; Pei, Y.; Pollard, A. J. & Gilmore, I.S. 2021. Antiviral surfaces and coatings and their mechanisms of action. *Communications Materials*, 2: 1-19.

Salas, R.; Iannacone, J.; Guillen, A.; Tantalean, J.; Alvaríño, L.; Castañeda, L. & Cuellar, L. 2020. Coronavirus Covid-19: Conociendo al causante de la pandemia. *The Biologist (Lima)*, 18: 9-27.

Srivastava, A.K.; Dwivedi, N.; Dhand, R.; Khan N.; Sathish, M.K.; Gupta, R. & Kumar, S. 2020. Potential of graphene-based materials to combat COVID-19: properties, perspectives, and prospects. *Material Today Chemistry*, 18: 100385.

Xu, X., Zhang, X. & Yang, X. 2021. An observational study on the application of the second-generation radiopaque subcutaneous implant. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 20:132-139.

Received December 6, 2021.

Accepted February 10, 2022.