

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA



TESIS

**OBTENCIÓN DE FILTROS PROTOTIPO DOPADOS CON NANOPARTÍCULAS
BIMETÁLICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CUSCO:
2023-2024**

PRESENTADO POR:

Br. PIERINA FRANCESCA LUQUE CALLO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE QUÍMICO**

ASESOR:

Mg. CORINA FERNANDA ALVAREZ NUÑEZ

CO-ASESOR:

Quím. WASHINGTON CANDIA AMAO

**CUSCO – PERÚ
2024**

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: OBTENCIÓN DE FILTROS PROTOTIPO DOPADOS CON NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CUSCO: 2023-2024

presentado por: PIERINA FRANCESCA LUQUE CALLO con DNI Nro.: 70 448974 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de QUÍMICO

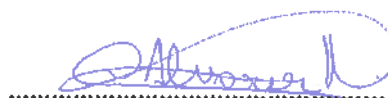
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 14 de MARZO de 2025



Firma

Post firma Corina F. Alvarez Nuñez

Nro. de DNI 2 531 070 2

ORCID del Asesor 0000-0002-5476-7640

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:439170652

Pierina Francesca Luque Callo

**“OBTENCIÓN DE FILTROS PROTOTIPO DOPADOS CON
NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS PARA EL TRATAMIENTO D...**

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::27259:439170652

125 Páginas

Fecha de entrega

13 mar 2025, 7:37 p.m. GMT-5

28,962 Palabras

160,885 Caracteres

Fecha de descarga

13 mar 2025, 8:03 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

130325 Tesis Francesca.pdf

Tamaño de archivo

23.2 MB

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAQ DEL CUSCO
Programa Catalanes y Absorventes - Cusco



Ing. Corina Alvarez N.
COORDINADOR

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 2% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**
56 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguir de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Programa Catalanes y Aborregados - Cusco

Ing. Corina Alvarez N.
COORDINADORA

DEDICATORIA

A mis padres, gracias por haber estado a mi lado en cada paso en mi carrera, acompañándome en los momentos difíciles y alentándome a seguir adelante. Este logro es el reflejo de su amor y dedicación, y siempre les estaré agradecida por creer en mí en cada paso de este camino.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi gratitud a todas las personas que contribuyeron con el desarrollo de mi trabajo de tesis. Agradezco a todos los que me ayudaron en la realización de la presente investigación, a los docentes que brindaron su apoyo en la realización de los experimentos y a aquellos que dedicaron su tiempo a revisar mi trabajo. Esta tesis no sería la que es sin su apoyo.

Resumen

En este proyecto de tesis se desarrolló un filtro de poliuretano cuyo elemento base fueron las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, y se evaluó su aplicación al tratamiento de aguas residuales. Las nanopartículas bimetálicas se sintetizaron mediante reducción química utilizando un extracto de té verde. Las características morfológicas fueron analizadas por UV-Visible, AA y DRX. Se midió la actividad antibacteriana de las nanopartículas mediante una variación del método de siembra en agar usando una cepa de *Escherichia coli*. A continuación, se armó un sistema de filtración con los filtros obtenidos para la cuantificación de coliformes termo tolerantes en aguas residuales. En el espectro UV se observó señales alrededor de 500 y 700 nm correspondientes a compuestos de cobre, y 430 nm correspondientes a la plata. En Absorción Atómica se observó la reducción de las señales de cobre a medida aumentaba la concentración de plata, indicando un posible recubrimiento. Los filtros presentaron señales en DRX correspondientes a las de cobre y plata, confirmando la exitosa deposición de las nanopartículas sobre el poliuretano. La existencia de halos de inhibición de 1.84 - 3.6 cm confirma la actividad antibacteriana de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata frente a *Escherichia coli*. La efectividad de los filtros obtenidos frente a Coliformes termotolerantes fue del 96, 99 y 97%, mostrando un mejor efecto antibacteriano a concentraciones similares de cobre y plata en las nanopartículas bimetálicas. Mediante esta investigación se mostró la efectividad de estos filtros, presentándolos como una alternativa viable para el tratamiento de aguas.

Palabras clave: filtros, poliuretano, nanopartículas bimetálicas, actividad antibacteriana, coliformes termotolerantes.

Abstract

In this thesis project, a polyurethane filter is developed with bimetallic copper-silver nanoparticles as its base element, and is evaluated for its application to wastewater treatment. The bimetallic nanoparticles were synthesized by chemical reduction using green tea extract. The morphological characteristics were analyzed by UV-Visible, AA and XRD. The antibacterial activity of the nanoparticles was measured by a variation of the agar seeding method using an *Escherichia coli* strain. A filtration system was then assembled with the filters obtained for the quantification of thermotolerant coliforms in wastewater waters. In the UV spectrum, signals were observed around 500 and 700 nm corresponding to copper compounds, and 430 nm corresponding to silver. In the Atomic Absorption, the reduction of the copper signals was observed as the silver concentration increased, indicating a possible coating. The filters showed XRD signals corresponding to copper and silver, confirming the successful deposition of the nanoparticles on the polyurethane. The existence of inhibition halos of 1.84-3.6 cm confirms the bactericidal activity of the bimetallic copper-silver nanoparticles against *Escherichi coli*. The effectiveness of the filters obtained against thermotolerant coliforms was of 96, 99 and 97%, showing a better antibacterial effect at similar concentrations of copper and silver in the bimetallic nanoparticles. This research showed the effectiveness of these filters, introducing them as a viable alternative for water treatment.

Key words: filters, polyurethane, bimetallic nanoparticles, antibacterial activity, thermotolerant coliforms.

LISTA DE ABREVIATURAS

AA: absorción atómica

Ag⁰: plata

Ag⁺: ión plata

AgNO₃: nitrato de plata

AgNP: nanopartículas de plata

BiNP: nanopartículas bimetálicas

BHI: Caldo Infusión Cerebro Corazón

Cu⁰: cobre

Cu⁺/Cu²⁺: ión cobre

CuO/Cu₂O: óxidos de cobre

CuNP: nanopartículas de cobre

CuNO₃: nitrato de cobre

Cu-AgNP: nanopartículas cobre-plata

CT: Coliformes Termotolerantes

DRX: difracción de rayos X

H₂O₂: peróxido de hidrógeno

HCl: ácido clorhídrico

HNO₃: ácido nítrico

LMP: Límite Máximo Permisible

mL: mililitro

mg/L: miligramos/litro

mM: milimolar

MH: Agar Müller-Hilton

nm: nanómetros

NaCl: cloruro de sodio

NaOH: hidróxido de sodio

NP: nanopartícula

SPR: plasmón superficial

u.a.: unidad de intensidad

UV-vis: UV-visible

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables de la investigación “Obtención de filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas para el tratamiento de aguas residuales, Cusco: 2023-2024”	29
Tabla 2: Parámetros evaluados en la síntesis de las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata	36
Tabla 3: Concentraciones de sales precursoras utilizadas en las muestras para su lectura en el espectrómetro de Absorción Atómica	38
Tabla 4: Características de los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas para análisis en DRX	42
Tabla 5: Características de los filtros prototipo utilizados para la cuantificación de coliformes termotolerantes	47
Tabla 6: Condiciones de síntesis para la obtención de las nanopartículas de cobre....	48
Tabla 7: Condiciones de síntesis para la obtención de las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata	50
Tabla 8: Concentración de cobre en las nanopartículas bimetálicas leídas por Absorción Atómica.....	58
Tabla 9: Concentración de plata en las nanopartículas bimetálicas leídas por Absorción Atómica.....	58
Tabla 10: Evaluación de la retención de nanopartículas en el poliuretano mediante la adición de agentes tratantes	60
Tabla 11: Picos de mayor intensidad en los difractogramas de rayos X de las muestras de los filtros prototipo	64
Tabla 12: Medición de los halos de inhibición (cm) generados por los agentes inhibidores utilizados frente a cepas de <i>E. coli</i>	68
Tabla 13: Cuantificación de coliformes termotolerantes mediante técnica por dilución en tubos múltiples	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de obtención de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata mediante reducción química	8
Figura 2: Proceso de obtención de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata mediante reducción química.....	9
Figura 3: Reacción para la formación de nanopartículas de cobre a partir de catequinas presentes en el té verde.....	11
Figura 4: Reacción para la formación de nanopartículas de plata a partir de catequinas y alcaloides presentes en el té verde.....	12
Figura 5: Proceso de formación de nanopartículas metálicas sobre una matriz de poliuretano.....	13
Figura 6: El proceso de fabricación de matrices de poliuretano y del nanocompuesto de nanopartículas de cobre.....	14
Figura 7: Espectros UV-visible de nanopartículas de cobre, plata y bimetálicas core-shell de cobre-plata.....	15
Figura 8: Patrones de difracción de Rayos X de nanopartículas de plata (a) y nanopartículas de cobre (b)	17
Figura 9: Esquema de la actividad antimicrobiana de las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata	20
Figura 10: Flujograma del procedimiento experimental de la investigación	33
Figura 11: Preparación del extracto hidroetanólico de té verde	34
Figura 12: Síntesis de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata	35
Figura 13: Diagrama para la lectura de las muestras en el espectrofotómetro UV-Visible	37
Figura 14: Diagrama para la preparación de las muestras para su lectura en Absorción Atómica.....	38
Figura 15: Diagrama para la activación del soporte del poliuretano	39
Figura 16: Diagrama para la evaluación de la retención de las nanopartículas en la superficie del poliuretano	40
Figura 17: Generación in situ de nanopartículas de cobre sobre las espumas de poliuretano	41

Figura 18: Generación <i>in situ</i> de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata sobre las espumas de poliuretano	41
Figura 19: Preparación de los medios de cultivo agar Müller-Hilton y caldo BHI	43
Figura 20: Obtención de los medios de cultivo con cepas de <i>E. coli</i>	44
Figura 21: Medición de actividad antibacterial de las nanopartículas bimetálicas y los filtros prototipo	45
Figura 22: Sistema de filtración de aguas residuales (izquierda) y composición de los filtros obtenidos (derecha)	46
Figura 23: Plasmones superficiales de las nanopartículas de cobre sintetizadas	52
Figura 24: Control UV-Visible de los plasmones superficiales de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, variando el pH	54
Figura 25: Control UV-Visible de los plasmones superficiales de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, variando la cantidad de la sal de plata.	55
Figura 26: Cantidad de plata y cobre hallada en las nanopartículas bimetálicas obtenidas	59
Figura 27: Obtención de los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas mediante deposición y síntesis <i>in situ</i>	62
Figura 28: Patrones de Difracción de Rayos X de las muestras de nanopartículas bimetálicas de cobre y plata soportadas en poliuretano.	65
Figura 29: Halos de inhibición de las nanopartículas de cobre y bimetálicas frente a cepas de <i>Escherichia coli</i>	69
Figura 30: Halos de inhibición de los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas frente a cepas de <i>E. coli</i>	71
Figura 32: Concentración de Coliformes Termotolerantes antes y después de la realización del experimento	73
Figura 33: Relación entre la remoción de coliformes termotolerantes versus las concentraciones de cobre y plata presentes en los filtros prototipo	74

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen.....	VI
Abstract	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
GENERALIDADES	3
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
A. PROBLEMA GENERAL	4
B. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
A. OBJETIVO GENERAL	6
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	7
2.1. BASES TEÓRICAS.....	7
2.1.1. Nanopartículas bimetálicas.....	7
2.1.2. Síntesis verde de nanopartículas bimetálicas.....	9
2.1.3. Poliuretano como soporte de nanopartículas	12
2.1.4. Métodos de caracterización de nanomateriales.....	15
2.1.5. Aguas residuales	17
2.1.6. Nanotecnología para el tratamiento de aguas residuales	19
2.2. MARCO CONCEPTUAL	22
2.3. ANTECEDENTES EMPÍRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.4. HIPÓTESIS.....	28
a. HIPÓTESIS GENERAL	28
b. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	28
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES	28
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	29

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA	30
3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	30
3.3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS	31
3.4. MÉTODOS	33
ETAPA 1: SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS	34
ETAPA 2: OBTENCIÓN DE LOS FILTROS PROTOTIPO	39
ETAPA 3: EVALUACIÓN ANTIBACTERIANA	43
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. Síntesis de las nanopartículas bimetálicas	48
4.2. Caracterización de las nanopartículas bimetálicas por espectroscopía UV-Visible	51
4.3. Caracterización de las nanopartículas bimetálicas por espectroscopía de Absorción Atómica	57
4.4. Activación del soporte de poliuretano	61
4.5. Obtención de los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas	62
4.6. Caracterización espectroscópica de los filtros por Difracción de rayos X	63
4.7. Determinación de actividad antibacteriana mediante el método de siembra en agar en las nanopartículas bimetálicas	68
4.8. Determinación de actividad antibacteriana mediante el método de siembra en agar en los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas	71
4.9. Cuantificación de actividad antibacteriana mediante la técnica por diluciones en tubo múltiple	72
CONCLUSIONES	77
SUGERENCIAS	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO 1	84
ANEXO 2	85
ANEXO 3	86
ANEXO 4	94
ANEXO 5	96
ANEXO 6	107

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas afirma que, debido a la escasez de agua en años próximos, se hace imperativa la necesidad de tratar las aguas residuales para presentar alternativas de reúso de este recurso vital (ONU, 2018). Debido a esta problemática, se hace necesaria la exploración de la viabilidad de opciones no consideradas anteriormente como la recuperación de los recursos hídricos, la reducción del uso de las reservas de agua dulce y la reutilización de las aguas residuales, esta última presentando una manera segura de brindar agua de consumo a todos los pobladores de la región, en cumplimiento con los estándares medioambientales requeridos (Abdo et al., 2023; Salhuana, 2022; Yusuf et al., 2021).

En la actualidad se realizan diversas investigaciones concernientes a las nanopartículas metálicas, incluyendo su deposición sobre matrices poliméricas, fomentado su uso en diversas industrias (Marín Silva, 2022). La adición de las nanopartículas mejora las propiedades del soporte, sin afectar la estructura de la matriz, como en el caso del uso de siloxanos como soporte de materiales (Balvín Beltrán et al., 2020). Depositar nanopartículas sobre un soporte facilita su recuperación, reduciendo la carga contaminante en el medioambiente. Además, los nanocompuestos metálicos poseen alta capacidad antibacteriana, ideales para su macro producción y su uso en la remediación de aguas, especialmente frente a bacterias Gram negativas, presentes en gran medida en aguas residuales (El-Rahman et al., 2022; Fernández et al., 2020).

La nanotecnología presenta gran importancia en el tratamiento de aguas. Buscar métodos para la eliminación de contaminantes presentes en aguas, que a su vez no afecten el medio ambiente es de vital importancia para la población, por lo que se hace énfasis al desarrollo y optimización de métodos para la total eliminación de estos patógenos. Entre estos métodos se encuentran la formulación de materiales antimicrobianos, compuestos principalmente de una matriz polimérica y compuestos con acción antimicrobiana (Marín Silva, 2022), como es el caso de las soportes con

nanopartículas metálicas, que podrían ser menos propensas a promover la resistencia en bacterias que los filtros comúnmente utilizados.

Este trabajo tiene como objetivo fabricar un filtro formado por poliuretano cuyo elemento base serán las nanopartículas de cobre y plata, para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales. Se preparó una serie de muestras cambiando la concentración de las sales precursoras usando el método de reducción verde y se generaron las nanopartículas dentro de la matriz de poliuretano utilizando la técnica de generación *in situ* para reducir la aglomeración de las nanopartículas. Se realizó un conjunto de caracterizaciones para verificar su estructura, composición, actividad antibacteriana y la eficacia de los filtros obtenidos.

GENERALIDADES

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La Asamblea General de las Naciones Unidas reconoce oficialmente el derecho humano al agua y al saneamiento, afirmando que el agua potable pura y el saneamiento son indispensables para el cumplimiento de las necesidades vitales de las personas (Chávez-Lizárraga, 2018; Asamblea General de las Naciones Unidas, 2010). El crecimiento desordenado de las poblaciones ha causado un alarmante incremento en la contaminación en cuerpos hídricos. Este es el caso de la situación en la región del Cusco, donde el 85% de las aguas residuales no son tratadas, y al 100% de estas aguas no se les da un uso secundario, es decir, solo son reinsertadas en un cuerpo próximo de agua (Salhuana, 2022).

El agua puede convertirse en un problema mayúsculo para una población, ya sea por su escasez o la falta de insumos para su adecuada desinfección. En el Perú se hace uso de insumos clorados para la desinfección de aguas que, aunque elimina la mayoría de los agentes patógenos presentes en estas aguas, presenta desventajas notables como la formación de sustancias secundarias nocivas para la salud o el costo elevado de la compra y transporte de insumos. La cobertura de los servicios de tratamiento de agua y desagüe no alcanzan las zonas más alejadas de nuestra región. Las denominadas zonas rurales no cuentan con un recurso hídrico de calidad óptima para su consumo por lo que se utiliza aguas poco salubres para sus actividades cotidianas, generando proliferación de enfermedades y contaminación. Es por eso que es preciso la búsqueda y utilización de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales para su adecuada reutilización (Chávez-Lizárraga, 2018).

La nanotecnología nos ofrece una solución a los desafíos que presenta la creciente escasez de recursos hídricos. Mientras otras ciudades cuentan con sistemas de reutilización de aguas, la región Cusco aún no invierte de forma prioritaria en este campo. La existencia de vertederos que contaminan los cuerpos de agua, amenazan la calidad hídrica de este recurso para uso de los pobladores, no solo de la provincia sino de las localidades más alejadas, que al no contar con los medios adecuados para purificar estas aguas se exponen a contaminación química y/o biológica. Por esta y las razones antes mencionadas se hace necesaria la búsqueda de alternativas económicas y accesibles, además de fácil reproducción y transporte, que pudieran proveernos agua de una calidad similar a la brindada por las plantas de tratamiento para los pobladores de zonas alejadas. Mediante este estudio se espera proponer una alternativa para la desinfección de aguas, facilitando su aplicación en zonas alejadas de la región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A. PROBLEMA GENERAL

¿Es factible la obtención de los filtros prototipo de poliuretano dopados con nanopartículas bimetálicas de cobre-plata para el tratamiento de aguas residuales?

B. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las condiciones óptimas para la obtención de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata?
- ¿Cuáles son las características espectroscópicas de los filtros prototipo de poliuretano dopados con nanopartículas bimetálicas de cobre-plata?
- ¿Qué efecto producirán las nanopartículas bimetálicas soportadas en los filtros prototipo sobre la carga bacteriana de aguas residuales?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. VALOR TEÓRICO

Un problema recurrente en nuestro país es la falta de acceso a un agua de calidad y saneamiento en las regiones más alejadas, es por esto que es imperativa la implementación de un proceso de desinfección no dañino de aguas para uso humano. Debido al efecto bactericida presente en las nanopartículas de plata y cobre, estas son un medio viable para el saneamiento de aguas residuales, razón por la que se realiza esta investigación y evaluar su uso en el proceso de desinfección de aguas residuales en nuestra región. Los resultados obtenidos en la presente investigación contribuirán a la comprensión de los efectos que generan estas nanopartículas metálicas sobre la carga bacteriana de estas aguas contaminadas, aplicables a nuevas tecnologías de purificación.

1.3.2. RELEVANCIA SOCIAL

El agua es el recurso hídrico más esencial para la vida, mas no es ilimitado, factor que amenaza la supervivencia de los seres vivos. A medida que aumenta el crecimiento demográfico, se incrementa la demanda de agua para consumo humano, pero también se acrecienta el volumen de aguas residuales domésticas e industriales, gran parte de éstas son liberadas sin tratamiento. La cloración es el principal método usado para la desinfección de aguas; sin embargo, no elimina la totalidad a los microorganismos presentes en estas, además genera sustancias perjudiciales para el medio. Entonces, se hace necesaria la implementación de métodos de vanguardia, que puedan solucionar estos problemas, específicamente en zonas que no cuentan con tratamientos de agua.

1.3.3. UTILIDAD METODOLÓGICA

La metodología utilizada en esta investigación, que incluye la síntesis de las nanopartículas bimetálicas de plata y cobre, obtención de los filtros prototipo y evaluación de su efecto sobre los microorganismos presentes en aguas residuales de la región del Cusco; plantea un método optativo para la desinfección de aguas y su reutilización; y

podrá ser utilizada como referencia en futuras investigaciones relacionadas con la purificación de aguas contaminadas.

1.3.4. IMPLICANCIAS PRÁCTICAS

En este trabajo se presentan alternativas viables y económicas para una mejor desinfección y reutilización de aguas residuales. El poliuretano, teniendo alta capacidad adsorbente y las nanopartículas de plata/óxido de cobre sintetizadas, haciendo uso de plantas nativas, hacen que el costo de su producción sea bajo, lo que la haría ideal para su utilización en zonas de bajos recursos. El objetivo primordial de este trabajo es verificar si este método presenta un potencial adecuado para que se considere una alternativa viable para la desinfección de aguas. Para cumplir este objetivo, el nano material obtenido fue sometido a diferentes pruebas para comprobar si, efectivamente, a través de él se puede obtener un agua “apta” medioambientalmente para su posible reutilización.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

A. OBJETIVO GENERAL

Obtener filtros prototipo de poliuretano dopados con nanopartículas bimetálicas de cobre-plata y evaluar su impacto en el tratamiento de aguas residuales.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar nanopartículas bimetálicas de cobre-plata y caracterizarlas mediante métodos espectroscópicos.
- Caracterizar los filtros prototipo de poliuretano dopados con nanopartículas bimetálicas de plata y cobre obtenidos.
- Evaluar la capacidad antibacteriana de las nanopartículas bimetálicas y los filtros prototipo obtenidos.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. Nanopartículas bimetálicas

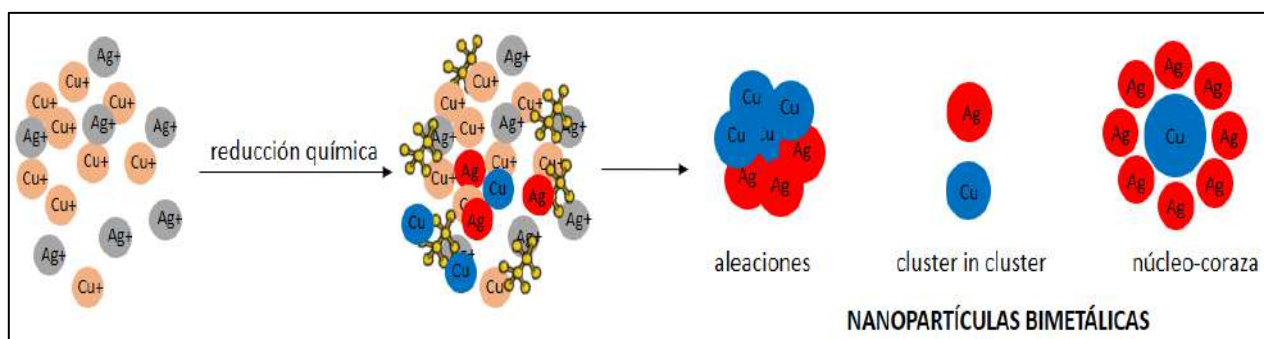
Las nanopartículas son definidas como partículas sólidas de 1 a 100 nm de diámetro; que pueden ser de estructuras amorfas o cristalinas, y su tamaño varía según el método de síntesis (Thirumoorthy et al., 2024). La formación de una estructura en la que se presenta la unión de dos nanopartículas metálicas de un tamaño menor a los 100 nm se denomina nanopartícula bimetálica. La aleación de dos metales implica un cambio de estructura de estos, así como un incremento de propiedades superiores a las propiedades individuales de los iones metálicos por separado; las cuales vienen influenciadas por el agente reductor utilizado, la estructura de la nanopartícula y la distribución de los metales (Ali et al., 2023; Conde Rueda, 2020; Hao et al., 2024). El uso de nanopartículas presenta un gran potencial para purificación de aguas; en donde la combinación de diferentes metales mejora la efectividad de los procedimientos, y la remoción de mayor número de contaminantes presentes en aguas residuales.

La formación de los núcleos de nanopartículas bimetálicas suele darse de tres maneras: (1) deposición del ion metálico en un material de soporte para después depositar el segundo ion metálico sobre las nanopartículas obtenidas; (2) reducción de un ión metálico haciendo uso de un poliol o alcohol simple y promover la reducción del segundo precursor metálico y (3) reducción química mediante acción de antioxidantes, como es el caso de los naturales presentes en los extractos vegetales (Álvarez Bayona, 2019). Las nanopartículas bimetálicas sintetizadas por estos métodos presentan tres estructuras distintivas: aleaciones, que se definen como átomos de dos metales formando una estructura ordenada cristalina: cluster in cluster, los dos átomos se encuentran

separados, pero forman una sola partícula y core-shell, ambos metales formando interfaces donde una capa delgada de un metal recubre a otro, siendo la forma obtenida dependiente de la interacción con soluciones reductoras y estabilizadoras (Abdo et al., 2023; Conde Rueda, 2020).

Figura 1

Proceso de obtención de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata mediante reducción química



Nota: Diferentes tipos de nanopartículas bimetálicas de cobre y plata obtenidas mediante reducción química

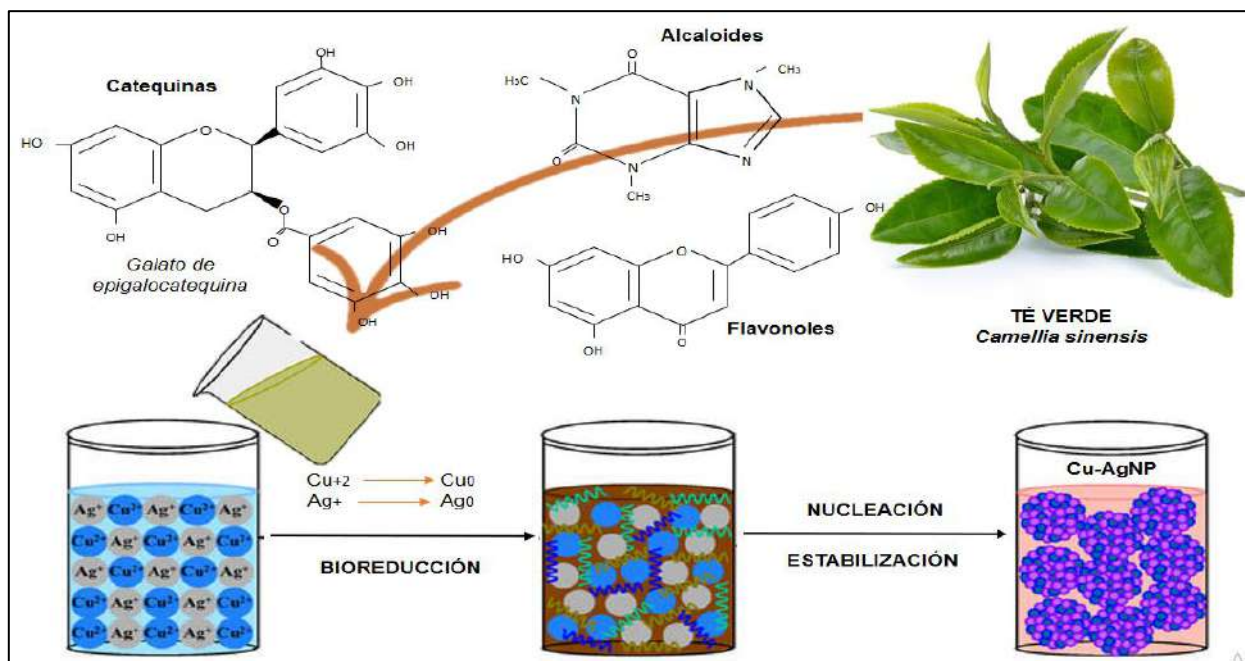
Los materiales inorgánicos, como las nanopartículas metálicas, poseen buenas propiedades antibacterianas, que anexados a una matriz pueden optimizar sus propiedades térmicas y mecánicas, además de distribuirlas uniformemente en su superficie. Estos materiales no consumen reactivos químicos, ni energía y exhiben rendimientos altos frente a una gran variedad de microorganismos por lo que se consideran una alternativa ideal para la remediación de ecosistemas (Li et al., 2022; Xu et al., 2023). El nanomaterial utilizado en este trabajo tiene como componente fundamental, las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata, conformadas por un átomo de cobre como núcleo, recubiertos de una capa de plata o viceversa, obtenidas mediante la reducción con un extracto vegetal, que caen en la categoría de nanopartículas inorgánicas, debido a su composición metálica (Cappadona, 2022). La capacidad antibacteriana de las nanopartículas de cobre aumenta al añadir plata como recubrimiento por lo que desarrollar agentes antimicrobianos rentables con menor carga ambiental es una meta de la nanotecnología actual (Echevarria Muñoz, 2021; Rajeshkumar et al., 2019; Yusuf et al., 2021).

2.1.2. Síntesis verde de nanopartículas bimetálicas

Los métodos tradicionales de síntesis de nanocompuestos presentan inconvenientes como el mantenimiento de los equipos y la ecotoxicidad generada al medio ambiente, por lo que la química verde es una alternativa cada vez más aceptable para la producción de nanomateriales no tóxicos. Este método implica la reducción de los precursores a átomos, seguidos de procesos de nucleación y crecimiento (figura 2). Con esto se puede controlar el tamaño y la forma del producto, ajustando parámetros de composición y estando definida por el modo de distribución de los elementos (Echevarria Muñoz, 2021; Hao et al., 2024; Rajeshkumar et al., 2019). La obtención de nanopartículas bimetálicas haciendo uso de la reducción química puede darse mediante el uso de extractos vegetales: fuentes de diversos metabolitos, que contribuyen a la estabilidad de las nanopartículas ya formadas. La utilización de diferentes formas de materia vegetal, hongos, e incluso microorganismos contribuye a la obtención de nanomateriales de una calidad superior y morfología definida, factor que contribuye al momento de darles un uso posterior (Mogollón Cortez & Veloz Chipre, 2021; Sánchez Ramírez, 2021).

Figura 2

Proceso de obtención de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata mediante reducción química



Nota: Síntesis de nanopartículas de cobre (núcleo) y plata (coraza) a partir de metabolitos del extracto hidroetanólico de té verde. Fuente: Adaptado de *Biosíntesis de nuevas nanopartículas bimetálicas de Ag-Cu a partir de extracto de hojas de Salvia officinalis y su actividad antibacteriana*, por Malik et al. (2023).

El extracto hidroetanólico de té verde actúa como agente reductor y estabilizante en la síntesis de nanopartículas bimetálicas, en donde los compuestos bioactivos responsables de la reducción de las moléculas presentan estructura polifenólica, incluyendo flavan-3-oles (catequinas), proantocianidinas (taninos) y flavonoles. Estas moléculas presentes en el té verde tienen actividad antioxidante que contribuye a la formación de las estructuras entre nanopartículas e iones hasta su estabilización, además de impedir su agregación y mejorar sus propiedades antimicrobianas (Falcón & Falcón-Guerrero, 2024; Malik et al., 2023; Thirumoorthy et al., 2024).

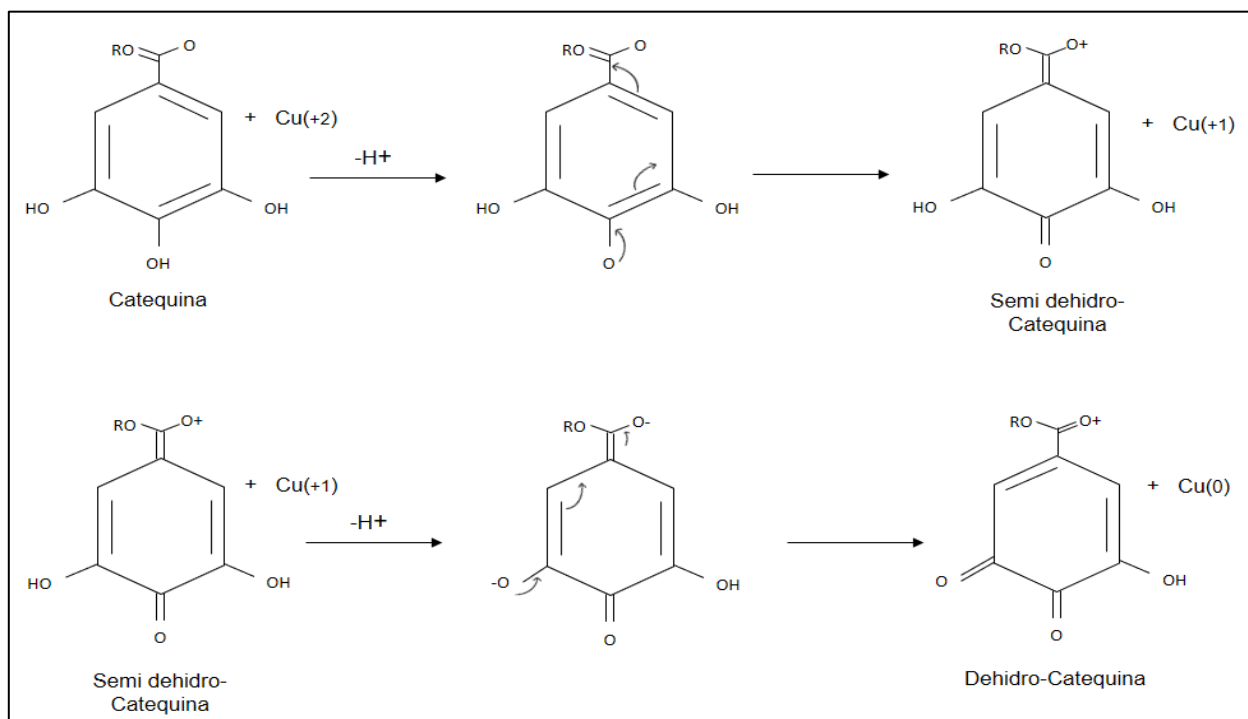
Las localizaciones donde con mayor probabilidad interactúan los iones metálicos y las moléculas de té verde son las que contienen enlaces $\text{C}=\text{C}$ y $\text{C}=\text{O}$; que también se adhieren a la superficie de las nanopartículas contribuyendo a su estabilización; y los enlaces -OH de los grupos fenólicos aromáticos, presentes en la mayoría de estos metabolitos; como es el caso de las catequinas, en donde la elevada cantidad de grupos -OH los hace un donante de electrones apto para la reducción de los iones metálicos utilizados, y actúa como un agente de recubrimiento de las nanopartículas (Malik et al., 2023; Thomas et al., 2022). El mecanismo de reacción para la formación de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata a partir de sales de nitrato de cobre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ y nitrato de plata AgNO_3 , utilizando extracto de té verde como agente reductor se describe a continuación.

- 1) La sal de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ se disuelve en agua destilada para la obtención de los iones Cu^{+2} . La adición de los compuestos fenólicos, principalmente alcaloides y catequinas, presentes en el extracto de té verde, contribuyen a la reducción de Cu^{+2} a Cu^0 . La adición de moléculas de OH^- presentes en los compuestos fenólicos de alta polaridad contribuyen a la estabilidad de las nanopartículas, evitando su aglomeración y manteniendo su tamaño y forma (Le et al., 2024; Thomas et al., 2022).
- 2) La formación de las nanopartículas consiste en una transferencia de electrones, en donde los compuestos fenólicos del té verde son los encargados de donar electrones a los iones Cu^{+2} para reducirlos a Cu^0 . Este mecanismo de reacción se presenta en la figura 3, utilizando una catequina como agente reductor. En esta reacción la catequina se oxida hasta convertirse en radical deshidro. Al romper el enlace -OH de

los compuestos fenólicos se libera un electrón que es utilizado para reducir los metales (Le et al., 2024; Sutradhar et al., 2014).

Figura 3

Reacción para la formación de nanopartículas de cobre a partir de catequinas presentes en el té verde

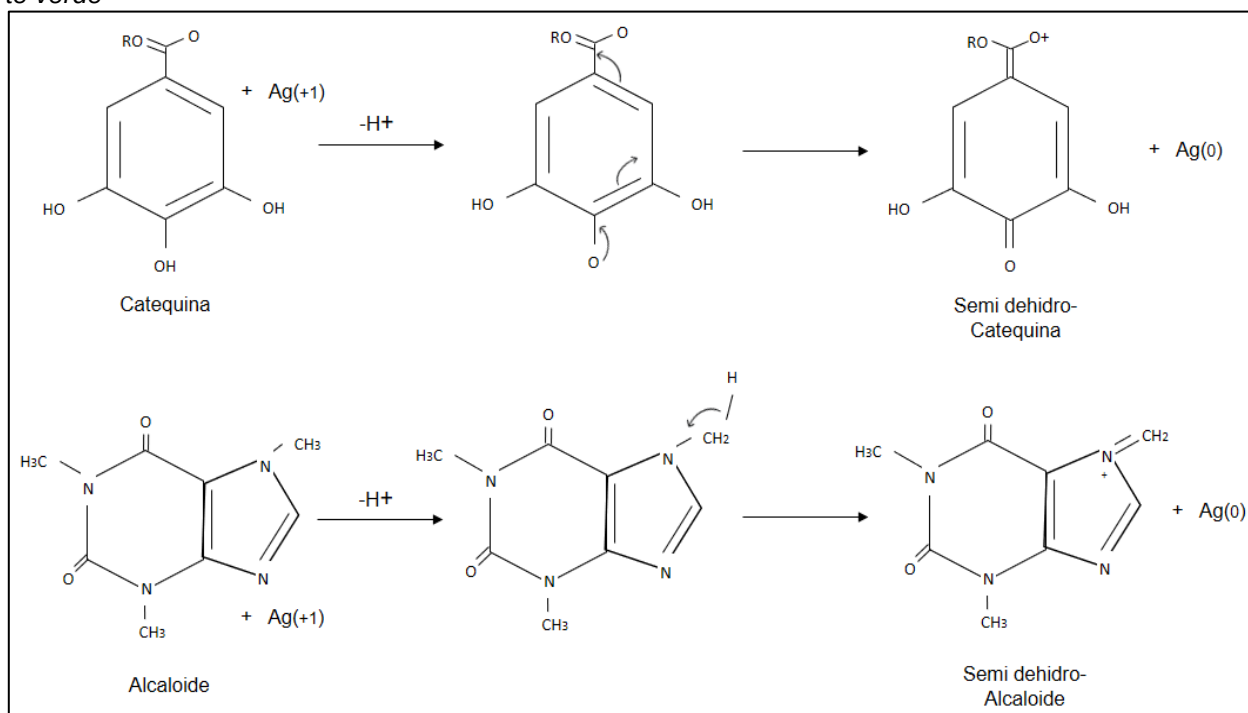


Fuente: *Síntesis de nanopartículas de óxido de cobre por microondas a partir de extractos de hojas de té y polvo de café y su actividad antibacteriana*, por Sutradhar et al. (2014).

- La formación de las nanopartículas bimetálicas inicia con la síntesis de las nanopartículas de plata sobre las nanopartículas de cobre ya sintetizadas. Los iones Ag⁺, presentes en la solución de AgNO₃ se reducen siguiendo un procedimiento similar al apartado anterior de acuerdo a lo descrito en la figura 4, en donde la reducción de Ag⁺ a Ag⁰ se da mediante metabolitos como las catequinas y los alcaloides. La ruptura de los enlaces -OH y -CH₃ generan la liberación de un electrón, facilitando la formación de las nanopartículas de plata. Los Cu⁰ ya reducidos, debido a su tamaño menor, se van adsorbiendo en la estructura de las nanopartículas de plata ya sintetizadas y empieza la formación de las bimetálicas; las cuales aumentan de tamaño de acuerdo a la cantidad de iones Ag⁺ presentes (Le et al., 2024; Thirumoorthy et al., 2024).

Figura 4

Reacción para la formación de nanopartículas de plata a partir de catequinas y alcaloides presentes en el té verde



Fuente: Adaptado de *Síntesis de nanopartículas de óxido de cobre por microondas a partir de extractos de hojas de té y polvo de café y su actividad antibacteriana*, por Sutradhar et al. (2014).

La estructura de las bimetálicas no es estable, produciéndose una oxidación generando iones Cu^{+2} a partir de los Cu^0 , y Ag^+ a partir de Ag^0 , por lo que la adición de una matriz de soporte es un mecanismo para la conservación de las nanopartículas metálicas.

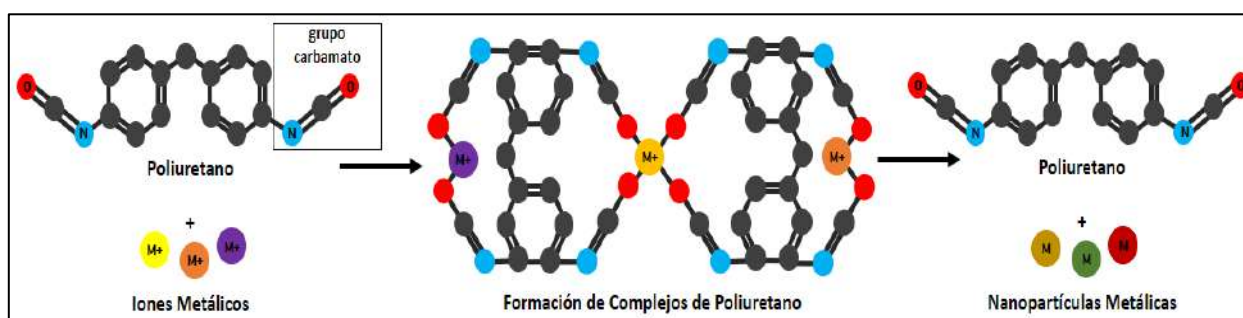
2.1.3. Poliuretano como soporte de nanopartículas

El poliuretano es un tipo de polímero que contiene grupos carbamato en su cadena principal de macromoléculas; en donde las moléculas pueden tener uno o más iones hidroxilo y grupos isocianato reactivos. Está compuesto por dos tipos de segmento, en diferentes proporciones: un segmento duro formado por un disocianato y un diol de cadena corta, que al poseer una alta polaridad le otorga mayor resistencia y rigidez; y un segmento blando formado por dioles de cadena larga, con baja polaridad que los hace flexibles, siendo más fácil su degradación (Díaz Panea, 2022; Li et al., 2022). El poliuretano es un material flexible, con resistencia moderada, además de que puede adsorber agua para después liberarla mediante compresión mínima (Xu et al., 2023).

Presentan propiedades y características generales, como alta resistencia a la intemperie, a la abrasión y a la radiación UV, además de su capacidad de resistir la acción disociadora de solventes químicos, aceites y grasas, que los hacen excelentes soportes de nanomateriales (Hormaiztegui et al., 2022). Los segmentos de poliéter o poliéster en las macromoléculas del poliuretano son fuentes de carbono para crecimiento microbiano por lo que la adición de aditivos antibacterianos en la matriz polimérica es una solución efectiva para prolongar la vida útil del material (Li et al., 2022).

Figura 5

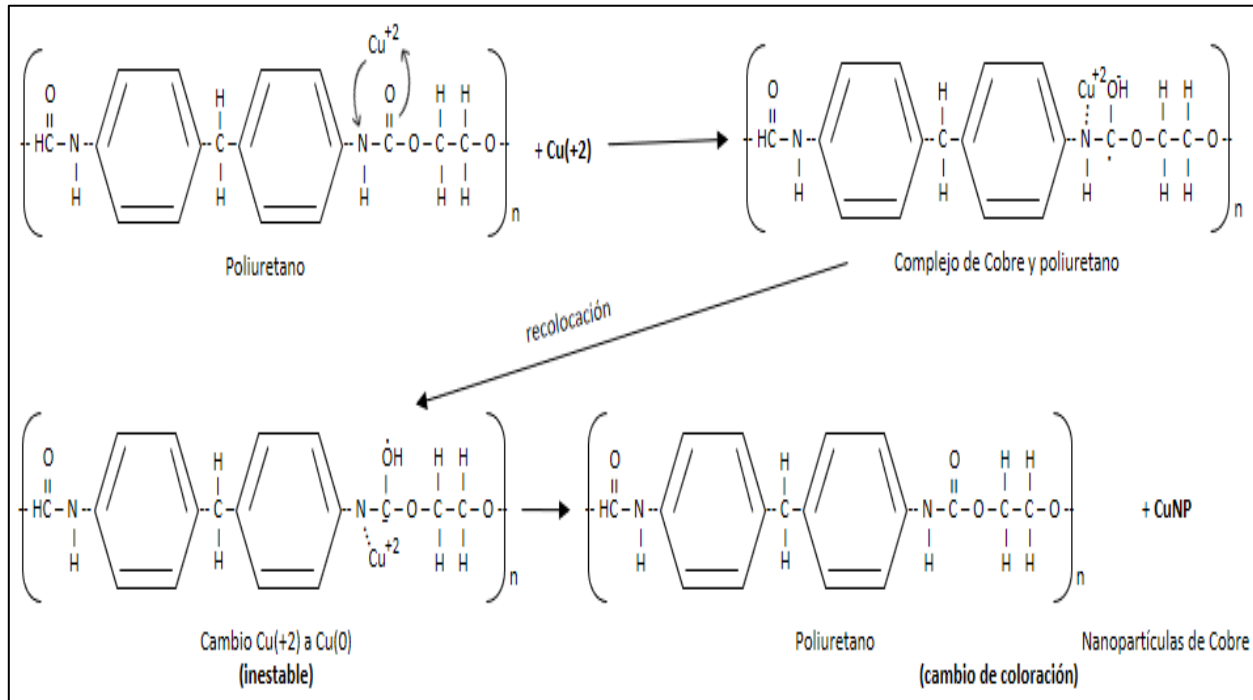
Proceso de formación de nanopartículas metálicas sobre una matriz de poliuretano



Las nanopartículas metálicas son inestables con tendencia a agregarse, lo cual ocasiona pérdida de muchas de sus propiedades, razón por la cual requieren ser soportadas en sólidos de elevada superficie específica (Conde Rueda, 2020). Un método comúnmente usado es la utilización de polímeros que, a su vez, actuarán como estabilizantes, como es el caso de la figura 5. El poliuretano tiene una alta afinidad con nanopartículas metálicas, pues estas son capaces de interactuar con los grupos carbamato del material, generando un nanocompuesto más estable (Xu et al., 2023); además que la presencia de nanopartículas metálicas en su composición no afecta las propiedades físicas del polímero (Savelyev et al., 2017). Las interacciones entre el metal y el soporte controlan la dispersión y tamaño de las nanopartículas, generando centros activos en el material y mejorando las propiedades generales del nanocompuesto. La incorporación de nanopartículas bimetálicas sobre su superficie aumentaría su estabilidad térmica, área superficial y acción antibacteriana; además de brindar opciones de fácil recuperación y reutilización de reactantes (Conde Rueda, 2020; Hormaiztegui et al., 2022; Wang et al., 2022).

Figura 6

Formación de la matriz polimérica conformada por nanopartículas de cobre y poliuretano.



Nota: La gráfica representa la reducción del $\text{Cu}^{(+2)}$ a $\text{Cu}(0)$ sobre una estructura polimérica de poliuretano. Fuente: *Fabrication and properties of antimicrobial flexible nanocomposite polyurethane foams with in situ generated copper nanoparticles* (p. 3606), por Li et al. (2022)

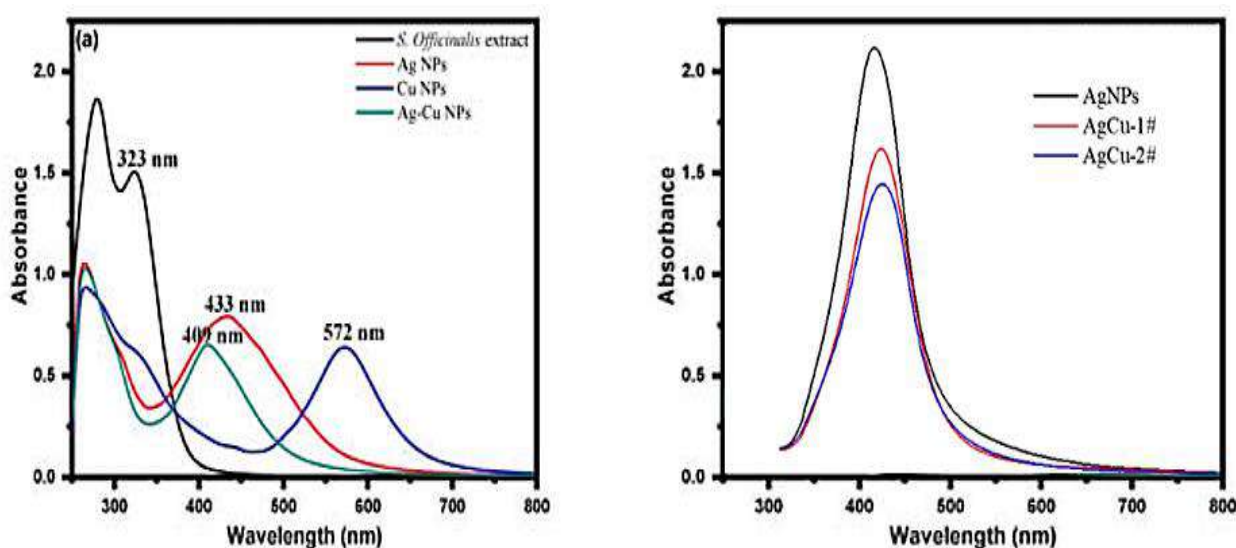
En la figura 6 se observa la generación de las nanopartículas de cobre sobre la superficie de una espuma de poliuretano. Los grupos funcionales de la matriz son los agentes reductores que se encargan de la conversión de Cu^{2+} presente en la sal metálica a Cu^0 (nanopartícula); y la estabilidad de los productos originados. Se observa que, a diferencia de la síntesis de nanopartículas, el polímero interacciona periódicamente con el ión metálico, para promover la formación de un complejo de cobre y poliuretano después de la adición de Cu^{2+} a la estructura, y retornar a la estructura original después de un segundo reordenamiento electrónico; esto debido a la condición metaestable de las nanopartículas de cobre en la que con los electrones disponibles de los enlaces $\text{C}=\text{O}$ y N se logra una mayor estabilidad en la estructura al reducir el Cu^{+2} a Cu^0 ; por lo que los enlaces generados en la estructura no son definitivos. La formación de las nanopartículas de cobre es evidenciada por un cambio de coloración en la espuma, indicador de la deposición de los núcleos metálicos sobre el poliuretano (Li et al., 2022).

2.1.4. Métodos de caracterización de nanomateriales

El objetivo de la caracterización de los nanomateriales es evaluar las propiedades de estos, mediante diferentes técnicas de caracterización que nos informan sobre características básicas, como su estructura molecular, composición y distribución de partículas en los sitios activos. Estos procedimientos de detección son herramientas poderosas que nos permiten la caracterización de nanomateriales en diversas formas y presentes en diferentes medios (Quispe Vilca, 2021; Zhao et al., 2021).

Figura 7

Espectros UV-visible de nanopartículas de cobre, plata y bimetálicas core-shell de cobre-plata.



Nota: SPR de nanopartículas bimetálicas obtenidas utilizando extractos vegetales. Fuente: *Biosíntesis de nuevas nanopartículas bimetálicas de Ag-Cu a partir de extracto de hojas de Salvia officinalis y su actividad antibacteriana*, por Malik et al. (2023); y *Actividad antimicrobiana mejorada de las nanopartículas de AgCu: el papel del tamaño de las partículas y la composición de la aleación*, por Le et al. (2024)

La espectrofotometría UV-visible es la técnica más utilizada para identificar compuestos, basada en la absorción de radiación electromagnética para el reconocimiento de los saltos electrónicos en los enlaces de una molécula. Este método se basa en la medición de la absorbancia de una muestra antes y después de ser atravesada por la luz, siendo esta medición comprendida en el rango de 100-400 nm para luz visible, y de 400-700 nm. Los análisis UV-visible son utilizados para la identificación de nanopartículas metálicas, donde la resonancia es máxima y genera picos de absorbancia producidos en el campo visible del espectro electromagnético de formas específicas para cada nanopartícula,

dependientes de la naturaleza del metal, el potencial electromagnético, el tamaño y su distribución, aunque estas pueden variar según su interacción con factores externos (Mogollón Cortez & Veloz Chipre, 2021; Quispe Vilca, 2021). Se ha encontrado que al momento de sintetizar nanopartículas bimetálicas, la señal característica de una partícula predomina por sobre la otra, ocasionando una superposición en los picos de absorbancia, dependiendo del grosor de la capa del metal depositado al exterior (Echevarria Muñoz, 2021). Esto se observa en la figura 7, en donde la señal de la partícula más fuerte, la de la plata, se superpone por encima de la del cobre, presentando los picos de absorbancia en el rango característico de la plata.

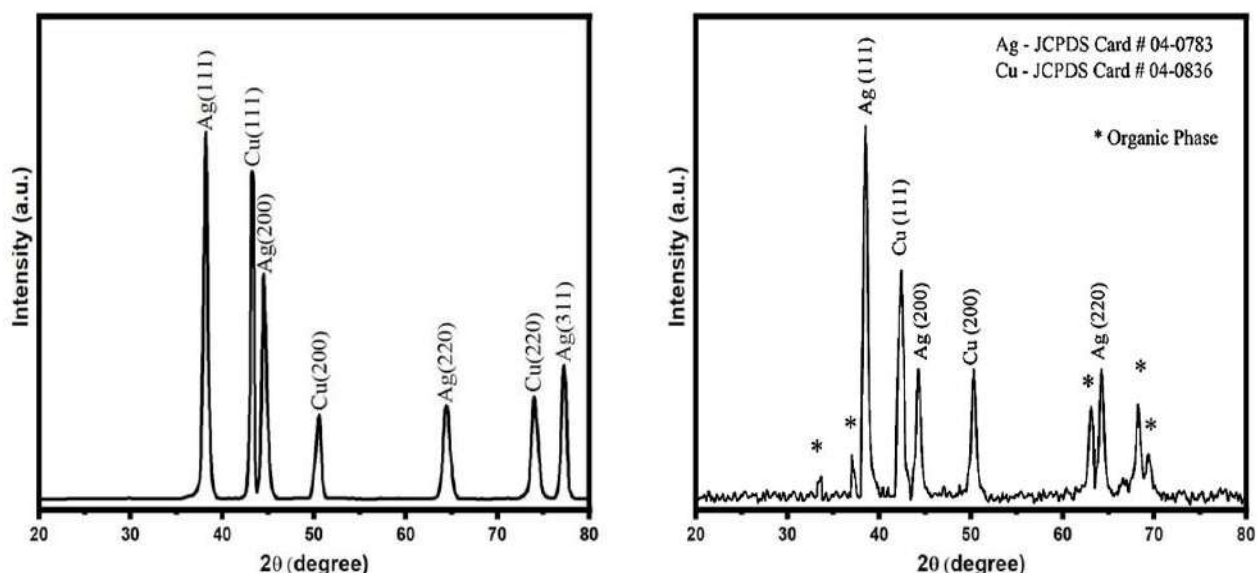
Para la cuantificación de iones presentes en una muestra se usan técnicas como la espectroscopia de Absorción Atómica (AA), con un tratamiento preliminar de digestión ácida, usualmente utilizado para detección de metales pesados. La Espectrofotometría de Absorción Atómica (AA) se basa en la descomposición de una muestra en átomos mediante la utilización de una llama o un plasma propia de cada elemento químico, en donde los elementos absorben radiación independiente de los otros compuestos, proporcionando análisis sin interferencias por lo que se utiliza esta técnica para la identificación y cuantificación de elementos metálicos.

La cuantificación e identificación de los estados químicos de nanopartículas y soportes pueden ser identificado mediante espectroscopias de absorción de rayos X como el DRX y FRX (Calderón Herrera, 2022; Zhao et al., 2021). La Difracción de Rayos X es una técnica que informa sobre la estructura y cristalinidad de los materiales analizados. Se basa en la emisión de rayos X hacia una muestra sólida, en donde a medida impactan con los componentes cristalinos, son recolectados por un detector que registra la información en picos cuya altura indica la intensidad de la radiación recibida. Es una técnica no destructiva, que no requiere de un proceso específico de preparación de muestras para poder ser analizadas (Marín Silva, 2022; Pacco Yuca & Hurtado Ojeda, 2020). En la figura 8 se muestran los patrones de difracción de nanopartículas de cobre y plata respectivamente. Se muestran los picos característicos para estos elementos, su posicionamiento y su intensidad, en materiales cuya composición contiene moléculas metálicas de cobre y plata, obtenidas mediante reducción química con extractos

vegetales. La figura muestra los picos característicos, así como la diferencia entre los difractogramas debido a la interferencia de los reductores vegetales.

Figura 8

Patrones de difracción de Rayos X de nanopartículas bimetálicas de cobre y plata



Nota: La gráfica presenta los patrones DRX de las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata obtenidas mediante reducción química utilizando dos extractos vegetales. Fuente: *Biosíntesis de nuevas nanopartículas bimetálicas de Ag-Cu a partir de extracto de hojas de Salvia officinalis y su actividad antibacteriana*, por Malik et al. (2023); y *Síntesis bimetalica fitofabricada de nanopartículas de plata y cobre utilizando extracto de Aerva lanata para evaluar sus potenciales actividades citotóxicas y antimicrobianas*, por Thirumoorthy et al. (2024).

2.1.5. Aguas residuales

Se define agua potable como la extraída de cuerpos hídricos que pasa por una serie de tratamientos químicos y biológicos hasta obtener una calidad adecuada para el consumo humano; siendo las aguas residuales el resultado del uso del agua potable en actividades antropogénicas. Las aguas residuales son aguas procedentes del uso en viviendas, comercios e industrias, en las que se depositan diversos elementos y cuerpos, ya sean de naturaleza orgánica e inorgánica, cuyo destino final son las plantas de tratamiento (Abdo et al., 2023; Quispe Pérez et al., 2020). El fin del tratamiento de aguas es la erradicación total o parcial de las sustancias contaminantes presentes, los cuales pueden ser agrupados en tres grandes categorías, desarrolladas a continuación.

Contaminantes físicos:

Se considera el olor, temperatura, color y sólidos presentes en las aguas, fácilmente detectables sin necesidad de tecnologías para su identificación. Parámetros como sólidos suspendidos producen obstrucciones en la recepción de la luz, factor que perjudica las reacciones que ocurren en estas aguas (Yusuf et al., 2021). Mientras que la temperatura interfiere directamente con el metabolismo de los organismos presentes en las aguas, además de disminuir la solubilidad de otros compuestos (Ramalho, 2021).

Contaminantes químicos:

Son componentes de naturaleza orgánica, inorgánica o gas. En general se presentan (1) sustancias que requieren de oxígeno, con alto contenido de componentes orgánicos y amoniacales, presentes en desechos de origen animal y vegetal y consumidas por microorganismos que las utilizan como sustento para su metabolismo. (2) Nutrientes, compuestos de carbono CO_2 , HCO_3^- , nitrógeno NO , NO_2 y fósforo HPO_3^- , de rápida transformación en otras sustancias, algunas utilizables por los organismos vegetales y otras capaces de producir sabores y olores desagradables en las aguas y la eutrofización de los ecosistemas adyacentes. (3) Productos químicos orgánicos y sintéticos, incluyendo detergentes, metales pesados, pesticidas, que no suele eliminarse por completo con las técnicas convencionales de tratamiento de aguas debido a su alta toxicidad a concentraciones muy bajas, constituyendo una amenaza para la vida acuática y la salud de las personas (Guyer, 2019; Yusuf et al., 2021).

Contaminantes biológicos:

Son microorganismos patógenos presentes en aguas residuales, como bacterias, virus, protozoos, algas y hongos microscópicos. A causa de la gran cantidad de nutrientes presentes en las aguas residuales, los microorganismos presentes en éstas presentan un metabolismo acelerado, utilizando cantidades proporcionales de oxígeno a su asimilación de materia orgánica y nitrogenada (Ramalho, 2021). En estas aguas predomina la presencia de organismos patógenos provenientes del tracto intestinal, altamente peligrosos y causantes de enfermedades mortales para el hombre, por lo que es obligatorio dar un tratamiento adecuado antes de su descarga en cuerpos de agua o suelo (Cappadona, 2022). Entre los organismos analizados en aguas residuales se

encuentra el género de coliformes (*E. coli*, *colifagos*, *Bifidobacterium sp.*, *Clostridium perfringens*) y estreptococos fecales (*S. faecalis*, *S. faecium*, y *S. equinus*).

La presencia del género de coliformes en aguas es un indicio de contaminación o presencia de material de descomposición en aguas, encontrándose estas bacterias en mayor medida en la capa superficial o en los sedimentos del cuerpo de agua (Mogollón Cortez & Veloz Chipre, 2021). De los coliformes, una de las especies más estudiadas es el *Escherichia coli*, debido a su rápido crecimiento y amplio rango de distribución en el medio, y debido a que es integrante de la flora intestinal de los animales de sangre caliente se le considera un indicador de contaminación fecal en aguas (Calderón Herrera, 2022). La detección de estos microorganismos se da por distintos métodos basados en la utilización de cultivos, donde se incentiva el crecimiento de la bacteria en cuestión sobre un medio adecuado para su crecimiento, mientras que su cuantificación es la estimación de la cantidad aproximada de bacterias presentes por mililitro de muestra, mediante la inoculación de muestras de agua contaminada en medios de cultivo selectivos, específicos para cada microorganismo (Ramalho, 2021).

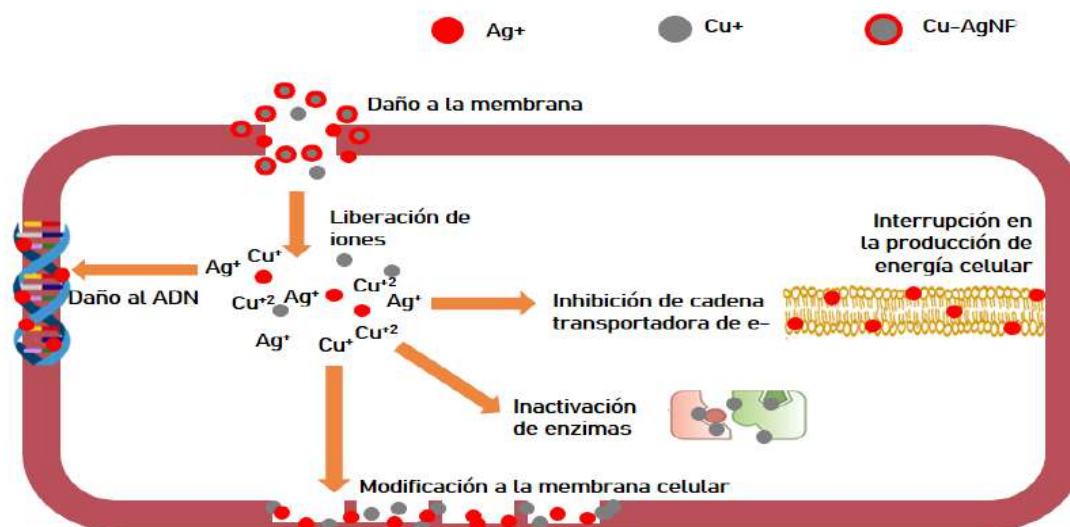
2.1.6. Nanotecnología para el tratamiento de aguas residuales

Los procesos convencionales de tratamiento de aguas tienen por finalidad la conversión de contaminantes en compuestos inertes seguros para su eliminación, siendo la cloración y ozonización las tecnologías principales para controlar los patógenos en aguas (Abdo et al., 2023; Xu et al., 2023); más los elevados costos de los insumos y la formación de cloraminas, sustancias dañinas para el medio, hacen evidente la necesidad de implementar métodos más accesibles para todas los pobladores del país (Urdapilleta Inchaurregui, 2020). La nanotecnología tiene el potencial para proveer una rápida y efectiva remediación de áreas contaminadas, sin embargo al ser transferidas a un medio distinto a donde fueron sintetizadas, sufren diversas transformaciones químicas con los compuestos presentes, transformaciones que no fueron previstas al momento del planteamiento de la investigación, que alteran sus propiedades superficiales y su disponibilidad, reduciendo su velocidad de disolución y formando iones metálicos, disminuyendo su toxicidad (Zhao et al., 2021).

Las interacciones de las nanopartículas con otras moléculas y sus transformaciones en diferentes medios son influenciadas por parámetros dependientes de las condiciones ambientales del medio donde son liberadas que reducen su repulsión electrostática favoreciendo la agregación; o la presencia de materia orgánica, que se acumula en la capa externa de las nanopartículas, impidiendo la liberación de iones, cambiando las propiedades de las nanopartículas (Cappadona, 2022; Zhao et al., 2021). En la desinfección de aguas residuales se ha aprovechado las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas, caracterizadas por inhibir el crecimiento de bacterias, hongos y mohos nocivos. Las nanopartículas de cobre poseen elevada capacidad antibacteriana y pueden integrarse más fácilmente a la matriz polimérica (Li et al., 2022). Las nanopartículas de plata son consideradas agentes bactericidas por excelencia, debido a su mayor superficie y liberación de iones que desintegran la pared celular microbiana, que al ingresar a diferentes medios se transforman en diferentes compuestos como el Ag_2S , AgCl y Ag^+ , siendo una de las formas más tóxicas el Ag_2S , producida por la reducción de las Ag NP con especies sulfurantes presentes en aguas residuales, siendo su nivel de toxicidad dependiente de parámetros como la concentración, temperatura, periodo de contacto, pH, tipo y naturaleza de los microbios (Jatoi, 2020; Yusuf et al., 2021; Zhao et al., 2021).

Figura 9

Esquema de la actividad antimicrobiana de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata



Nota: La gráfica representa las principales acciones realizadas por las nanopartículas bimetálicas al entrar en contacto con organismos bacterianos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Sánchez Ramírez (2021) & Yusuf et al. (2021).

En la figura 9 se muestra un esquema de la actividad antimicrobiana de las nanopartículas de cobre y plata, que al entrar en contacto con el microorganismo liberan iones metálicos, que inhiben el crecimiento bacteriano, mediante la inactivación de enzimas cruciales y la modificación de las membranas, y en concentraciones elevadas inhibirán el crecimiento de microorganismos y bacterias. Las nanopartículas de plata inhiben el crecimiento de un gran número de bacterias, como es el caso del *E. coli* y *S. aureus* (Abdo et al., 2023; Heidari et al., 2022; Li et al., 2022a; Yusuf et al., 2021) y las nanopartículas de óxido de cobre presentan resultados alentadores frente a *E. coli*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*, destacándose su acción antifúngica, común en nanopartículas óxido-metálicas (Sánchez Ramírez, 2021; Yusuf et al., 2021). Las nanopartículas metálicas u óxido-metálicas son químicamente inestables, pues en presencia de oxígeno forman iones metálicos y especies reactivas al oxígeno (Yusuf et al., 2021), por lo que su agregación directa y su separación posterior en el agua tratada conlleva a una pérdida de efectividad de estas, además del impacto ecológico que causa en el medio tratado, por lo que se ha estudiado la inmovilización de los agentes desinfectantes sobre una superficie (Xu et al., 2023). Por tanto, el uso de nanopartículas bimetálicas con acción antibacteriana soportadas en una matriz polimérica en el tratamiento de aguas residuales es un área de investigación emergente que presenta un gran potencial para abordar la creciente crisis del agua a nivel global.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Nanotecnología: Vocablo designado a la aplicación de la ciencia e ingeniería de los fenómenos ocurridos en escala nanométrica. Este estudio comprende el análisis, diseño, caracterización, producción y aplicación de materiales, estructuras, dispositivos y sistemas (Cappadona, 2022).

Nanomateriales: Se define de este modo a los materiales en donde uno o varios de sus principales componentes se encuentra en escala nanométrica, es decir, con una dimensión comprendida entre 1 y 100 nm (Cappadona, 2022). Una de sus características principales es que la aplicación de un compuesto nanométrico mejora en demasía las propiedades del otro material anexado a este, razón por la que son ampliamente usados en la industria. De igual modo que las nanopartículas, los nanomateriales se clasifican de acuerdo a su composición, siendo inorgánicos los metales y óxidos metálicos incorporados a arcillas o biopelículas, y orgánicos, como los nanotubos de carbono en polímeros (Marín Silva, 2022).

Agua residual: Se denomina así al agua que contienen elementos contaminantes químicos y biológicos peligrosos para el medio ambiente, procedentes de resultado de vertimientos producidos por actividad antrópica. Las actividades humanas, tales como el excesivo uso de productos químicos y el vertimiento de residuos al medio, son factores que incrementan la carga contaminante de estas aguas, contaminando el entorno (Quispe Pérez et al., 2020).

Desinfección: Proceso de destrucción o inactivación de patógenos que no han sido exterminados en las primeras etapas de tratamiento, mediante el uso de un agente desinfectante. La desinfección es una de las prácticas más seguras y económicas para la destrucción de los microorganismos pero su uso no necesariamente garantiza la total eliminación de todos los microorganismos (Vejar Gereda, 2020).

Coliformes fecales: Subconjunto de las bacterias Gram negativas, encontradas en el tramo intestinal de animales y humanos, utilizados como indicadores de contaminación

de agua (Díaz Bayuelo & Soler Cediél, 2021). Entre estas se encuentran incluidas las bacterias del género *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*.

***Escherichia coli*:** Bacilo Gram negativo parte del grupo de los coliformes termotolerantes, encontrado en el tracto gastrointestinal de animales de sangre caliente (Díaz Bayuelo & Soler Cediél, 2021).

Halo de inhibición: Zona generada por un agente donde no se produce el crecimiento microbiano, utilizada mayoritariamente en pruebas antimicrobianas.

NMP: Número más probable, medida utilizada para cuantificación de bacterias, que indica la cantidad aproximada de microorganismos por mililitro de muestra.

2.3. ANTECEDENTES EMPÍRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 Antecedentes internacionales

Malik et al. (2023) desarrollaron nanopartículas bimetálicas de Ag-Cu a través de un método ecológico a partir de extractos de *S. officinalis*. Los autores realizaron la caracterización mediante DRX, UV-Visible, FTIR, SEM y EDX, y el efecto antibacteriano se evaluó con ensayos de difusión y difusión en disco. Los espectros UV de las Ag-CuNP sintetizadas obtuvieron longitudes de onda de 433 y 572nm; y la presencia de patrones de XRD discretos se utilizó para verificar la naturaleza cristalina de las Ag-CuNP. El tamaño de las nanopartículas de Ag-Cu era de 50 nm. Las nanopartículas de Ag-Cu exhiben propiedades antibacterianas y antibiofilm contra bacterias Gram+ y Gram-. La zona de inhibición contra *E. coli* fue de 17,3 mm a una concentración de 75 µg/mL. Los autores concluyen que las Ag-CuNP podrían servir como un nuevo agente antibacteriano.

El-Rahman et al. (2022) analizaron la actividad antibacteriana y superficial de los compuestos sintetizados con poliuretano y nanoplata, además de evaluar su efecto sobre bacterias Gram(+) y Gram(-). La síntesis de nanopartículas fue realizada mediante reducción química, y la caracterización mediante espectrofotometría UV-visible y DLS. Los análisis microbiológicos fueron por medición de zona de inhibición. La absorción en el UV-visible mostró plasmones característicos de la plata, en 434-436 nm y absorción máxima de 1.95 u.a. El DLS indicó un tamaño de partícula de 28 nm. Los resultados antibacterianos del poliuretano y nanoplata mostraron halos de inhibición frente al *E. coli* de 27 y 28 mm. Los autores concluyen que las propiedades antibacterianas de la matriz de poliuretano mejoran con la incorporación de las nanopartículas de plata.

Li et al. (2022) tuvieron por objetivo fabricar un nanomaterial utilizando como matriz un polímero sintético, evaluando sus propiedades antibacteriales para su aplicación en tratamiento de aguas. Las nanopartículas fueron generadas in situ dentro de la espuma de poliuretano mediante método hidrotermal. La caracterización se realizó mediante SEM, EDX y F-TIR. Las pruebas antibacteriales fueron realizadas mediante el método del disco, observándose una actividad antibacteriana considerable frente a todos los

microorganismos, y unos halos de inhibición para *E. coli* entre 28 y 40 mm, según se incrementa la concentración de la sal precursora. La adición de las nanopartículas mejoró las propiedades de la matriz; y al poseer alta capacidad antibacteriana se posibilita su uso en el tratamiento de aguas contaminadas.

Marín Silva (2022) caracterizó nanopartículas metálicas (Cu, Ag y TiO₂) en una matriz de quitosano y evaluó diferentes propiedades para su aplicación en la industria. La síntesis de las nanopartículas se produjo mediante reducción química, utilizando al quitosano como estabilizante y reductor. La caracterización fue por EDS y DRX y la capacidad antibacteriana fue evaluada frente a bacterias Gram(+) y Gram(-). El autor observó una distribución de nanopartículas homogénea (EDS) y alta cristalinidad (DRX). Se obtuvo un efecto bactericida para *E. coli* de las nanopartículas de cobre del 32.7% y de las nanopartículas de plata del 52.2%. Se concluye que las nanopartículas de plata interactúa mejor con el polímero, obteniendo por ende los mejores resultados antimicrobianos. Los nanocompuestos sintetizados logran potenciar la capacidad antibacteriana de las nanopartículas, y las propiedades evaluadas las hacen óptimas y adecuadas para su incorporación en diferentes campos de acción.

Calderón Herrera (2022) soportó nanopartículas de plata sobre zeolitas clinoptilolitas naturales y comparó su efecto bactericida en *Escherichia coli* frente a plata iónica comercial. El autor preparó la zeolita clinoptilolita mediante tratamientos térmicos para luego depositar las nanopartículas y comprobó la deposición mediante AA, DRX y TEM, y el análisis microbiológico por dos métodos: diluciones y siembra en agar en muestras de agua de estanque. Por AA se obtuvo un contenido de plata de 2.8 y 4.5 mg/100mL; mientras que por DRX se obtuvo picos de difracción más intensas al incremento de la concentración de plata, indicando una posible aglomeración de las partículas. Todos los materiales sintetizados presentaron un efecto bactericida de casi el 90% sobre el *E. coli*. El autor concluye que la actividad bactericida de la Ag comercial es mayor que la de las Ag zeolitas; más debido a su difícil recuperación, recomienda el uso de materiales soportados.

Mogollón Cortez & Veloz Chipre (2021) evaluaron el efecto que producen las nanopartículas de plata sintetizadas en la calidad de un efluente proveniente de una industria bananera. La síntesis se dió por reducción verde, caracterizándolas mediante UV-visible y evaluando parámetros de calidad a diferentes concentraciones de nanopartículas. El UV-visible arrojó un tamaño de partícula entre 15-34 nm. Los parámetros de las aguas antes de la aplicación de las Ag NP fueron de coliformes fecales ≥ 2300 NMP/100 mL, a un pH 7. La muestra 1 (Ag NP 0.015%) presentó una reducción de ≤ 1000 NMP/100 mL; la muestra 2 (Ag NP 0.01%) presentó valores ≤ 1000 NMP/100 mL y la muestra 3 (Ag NP 0.05%) presentó coliformes fecales ≤ 1000 NMP/100 mL, todas a un pH 8. Los valores hallados en el efluente no cumplen con normativas ambientales, por lo que el uso de nanopartículas de plata es una alternativa viable, debido a su efecto antibacteriano constante que logró la reducción de los parámetros contaminantes evaluados.

Fernández et al. (2020) elaboraron un material compuesto de poliuretano y cáscara de nuez, modificado con nanopartículas de plata. La síntesis de nanopartículas fue dada por el método de poliol asistido por ultrasonido, y la caracterización por TEM, HRTEM y UV-VIS. La actividad bactericida fue medida frente a cepas de *Escherichia coli*. Los UV-visible indicaron una absorbancia máxima a longitudes de onda de 400-450 nm. La actividad bactericida fue analizada en las nanopartículas líquidas y después de su agregación a la matriz. Se encontró halos de 6, 4, 4, 3 mm, estableciendo una relación entre el tamaño de la nanopartícula y el tiempo de inhibición. En materiales modificados no se encontraron halos de inhibición. Los autores concluyen que existe mayor efecto bactericida al iniciar el contacto del material con cepas de *E. coli*. La movilidad limitada de las nanopartículas soportadas limita su actividad antibacteriana, reduciendo su campo de acción.

Rajeshkumar et al. (2019) sintetizaron nanopartículas de cobre utilizando extracto de una planta medicinal para su posible aplicación en el campo biomédico. La síntesis se dió por reducción química, y caracterización mediante UV-visible, DRX, SEM y TEM. La actividad antibacteriana se evaluó frente a bacterias Gram(+) y Gram(-). La evaluación del UV-visible mostró absorbancias en el rango de 350–380 nm, mientras que el SEM y TEM indicaron un tamaño medio de 60-90 nm con forma esférica, y el DRX demostró la naturaleza cristalina de los compuestos de cobre, en picos correspondientes a

nanopartículas de cobre esféricas. La mayor actividad antibacteriana se dio frente a cepas de *E. coli*, con halos de inhibición de 22.20 nm a una concentración de 75 µg/mL. Las nanopartículas de cobre mostraron un mejor efecto inhibitorio frente al *Escherichia coli*, posiblemente debido a la mayor interacción de estos en la pared celular bacteriana.

2.3.2. Antecedentes nacionales

Echevarria Muñoz (2021) obtuvo una resina de poliéster compuesta con nanopartículas de cobre y cobre@plata, midiendo su propiedad antibacteriana. La síntesis fue realizada por el método de Electroless Plating. La caracterización se dio por UV-visible, DRX, SEM, EDX y FRX y la actividad antibacteriana se dio mediante método de difusión en agar. El UV-visible mostró plasmones superficiales para cobre alrededor de los 600 nm, y para cobre@plata en 400 nm. El autor observó los picos en el DRX característicos al cobre y a la plata. Las partículas de cobre y cobre@plata presentaron halos de inhibición de 0.9 y 1.6 cm respectivamente frente a *E. coli*. Los compósitos lograron reducir las bacterias en un 87.41% y 96.84% respectivamente. Los nanomateriales obtenidos poseen comprobada actividad antibacteriana por lo que son aptos para su aplicación como aditivo antibacterial.

Balvín Beltrán et al. (2020) sintetizaron un compuesto de polisiloxano funcionalizado con nanopartículas de plata. La síntesis de nanopartículas se dio mediante reducción química con NaBH₄, y caracterización por espectroscopía UV-Visible y DLS. La síntesis del polisiloxano se dio mediante la hidrolización de clorosilano, caracterizada por FTIR. La funcionalización del gel polisiloxano fue realizada mediante inmersión en soluciones de las nanopartículas sintetizadas, caracterizándolo mediante UV-Vis, DLS, ICP-MS. Resultados: El UV-Visible y DLS presentaron nanopartículas de tamaños entre 4.33-59.78nm. El FTIR mostró una banda de absorción a 3384cm⁻¹ correspondiente a la Ag y el ICP-MS encontró una concentración de Ag de 5,2 ppm. Los autores concluyeron que la agregación de nanopartículas de plata a un soporte mejora sus propiedades fisicoquímicas, estableciendo a los siloxanos como óptimo soporte de nanomateriales.

2.4. HIPÓTESIS

a. HIPÓTESIS GENERAL

Los filtros prototipo de poliuretano dopados con nanopartículas bimetálicas de cobre-plata son efectivos para el tratamiento de aguas residuales.

b. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Es factible la síntesis y caracterización de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata.
- Es factible la obtención de los filtros prototipo de poliuretano dopados con nanopartículas bimetálicas de cobre-plata.
- Los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas reducen la carga bacteriana presente en aguas residuales.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

a) Variable independiente

Concentraciones de cobre y plata en los filtros prototipo obtenidos.

b) Variable dependiente

Capacidad antibacteriana de los filtros prototipo antes y después de la aplicación de los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1: Operacionalización de variables de la investigación “Obtención de filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas para el tratamiento de aguas residuales, Cusco: 2023-2024”

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE ANÁLISIS	INSTRUMENTO METODOLÓGICO	VALORES FINALES
CONCENTRACIÓN DE COBRE Y PLATA EN FILTROS (INDEPENDIENTE)	Cantidad de cobre y plata presente en las nanopartículas sintetizadas, y los filtros de poliuretano obtenidos.	PARÁMETROS DE SÍNTESIS	SALES PRECURSORAS	mM	FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	[1-100] mM
				mL		[1-10] mL
			pH	1-14		[8-12]
			ACTIVACIÓN DEL SOPORTE	% retención		SI/NO
		CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA	UV-VISIBLE	nm	ENSAYOS DE LABORATORIO	CuNP 350nm 500 nm 700nm
						Cu-Ag NP 400nm
				u.a.		[0-1] u.a.
			ABSORCIÓN ATÓMICA	mg/L		[0-10] mg/L
			DIFRACCIÓN DE RAYOS X	u.a.		[0-100] u.a. [0-500] u.a.
				2 Θ grados		[0-100]°
CAPACIDAD ANTIBACTERIANA (DEPENDIENTE)	Análisis de la capacidad antibacteriana de las nanopartículas y los filtros frente microorganismos presentes en aguas residuales.	MÉTODO DE SIEMBRA EN AGAR	HALOS DE INHIBICIÓN	cm	ENSAYOS DE LABORATORIO	CuNP: ≥2cm Cu-AgNP: ≥2cm
		TÉCNICA NMP	% CT REDUCIDOS	NMP/100mL		≤[CT _{inicial}] ≤1000NMP/100mL

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

La presente investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ubicada en la Av. De La Cultura 773, provincia de Cusco, Perú. La primera parte de la investigación, que es la obtención de los filtros prototipo se realizó en el transcurso del año 2023; y la segunda parte de la investigación, la medición de su capacidad antibacteriana durante la primera mitad del año 2024.

Las muestras de té verde se obtuvieron de un productor local, siendo estas procedentes del distrito de Alfamayo, provincia de Huayopata, La Convención. Las instalaciones usadas para la realización de los ensayos de laboratorio fueron los laboratorios de Fisicoquímica y Nanotecnología de la Escuela Profesional de Química y el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Medicina Humana de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Los equipos utilizados para la caracterización de los materiales en la investigación pertenecieron al laboratorio de Fisicoquímica de la Escuela Profesional de Química y el laboratorio de Cromatografía y Espectroscopía de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; además del laboratorio de la Escuela Profesional de Química de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional de Ingeniería. El sitio de toma de muestras para la cuantificación antibacteriana se localiza en un vertimiento de aguas residuales domésticas en el río Huatanay, distrito de San Jerónimo, Cusco ($13^{\circ}33'13.3''\text{S}$ $71^{\circ}52'26.3''\text{W}$). Se contrató un servicio externo para el análisis de Coliformes Termotolerantes en estas muestras, que fue el laboratorio Louis Pasteur S.R. LTDA, ubicado en la Urbanización Velasco Astete D-18-B, provincia del Cusco, Perú.

3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El estudio realizado tiene un enfoque cuantitativo, pues mediante recopilación de datos y análisis estadísticos, se evaluaron si las hipótesis planteadas son verídicas. El estudio tiene un alcance explicativo correlacional, ya que vinculan y relaciona dos variables de estudio, como son la concentración de nanopartículas en los filtros prototipo y la capacidad antimicrobiana de estos. El diseño de la investigación es experimental, ya que se manipuló la variable independiente y se observó su efecto en la variable dependiente mediante análisis químicos, espectroscópicos y microbiológicos realizados en laboratorios.

3.3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

Materiales utilizados en la investigación

- Pipetas graduadas de 2 y 5 mL
- Mortero de cuarzo
- Probetas de 100 mL
- Matraces Erlenmeyer de 100 y 500 mL
- Frascos ámbar de 50 y 100 mL
- Celdas de cuarzo de 10 y 12 mm
- Fiolas de vidrio de 25 ml con tapa
- Crisoles de porcelana
- Tubos de ensayo de vidrio de 25 mL
- Embudo de vidrio de 50 y 100 mL
- Papel filtro n°41 y n°42
- Placas Petri con tapa
- Mechero Bunsen
- Pipetas Pasteur
- Vasos de precipitados de 250 mL
- Soporte para filtración
- Jeringas de 100 cc

- Algodón
- Gasa estéril
- Frascos de plástico de 250 y 500 mL
- Cooler
- Refrigerantes

Reactivos utilizados en la investigación

- Nitrato de plata grado reactivo AgNO_3
- Nitrato de cobre grado reactivo $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
- Hidróxido de sodio grado reactivo
- Cloruro de sodio grado reactivo
- Azul de metileno grado reactivo
- Ácido nítrico grado reactivo
- Alcohol etílico al 70%
- Agar Müller-Hilton
- Caldo BHI

Equipos utilizados en la investigación

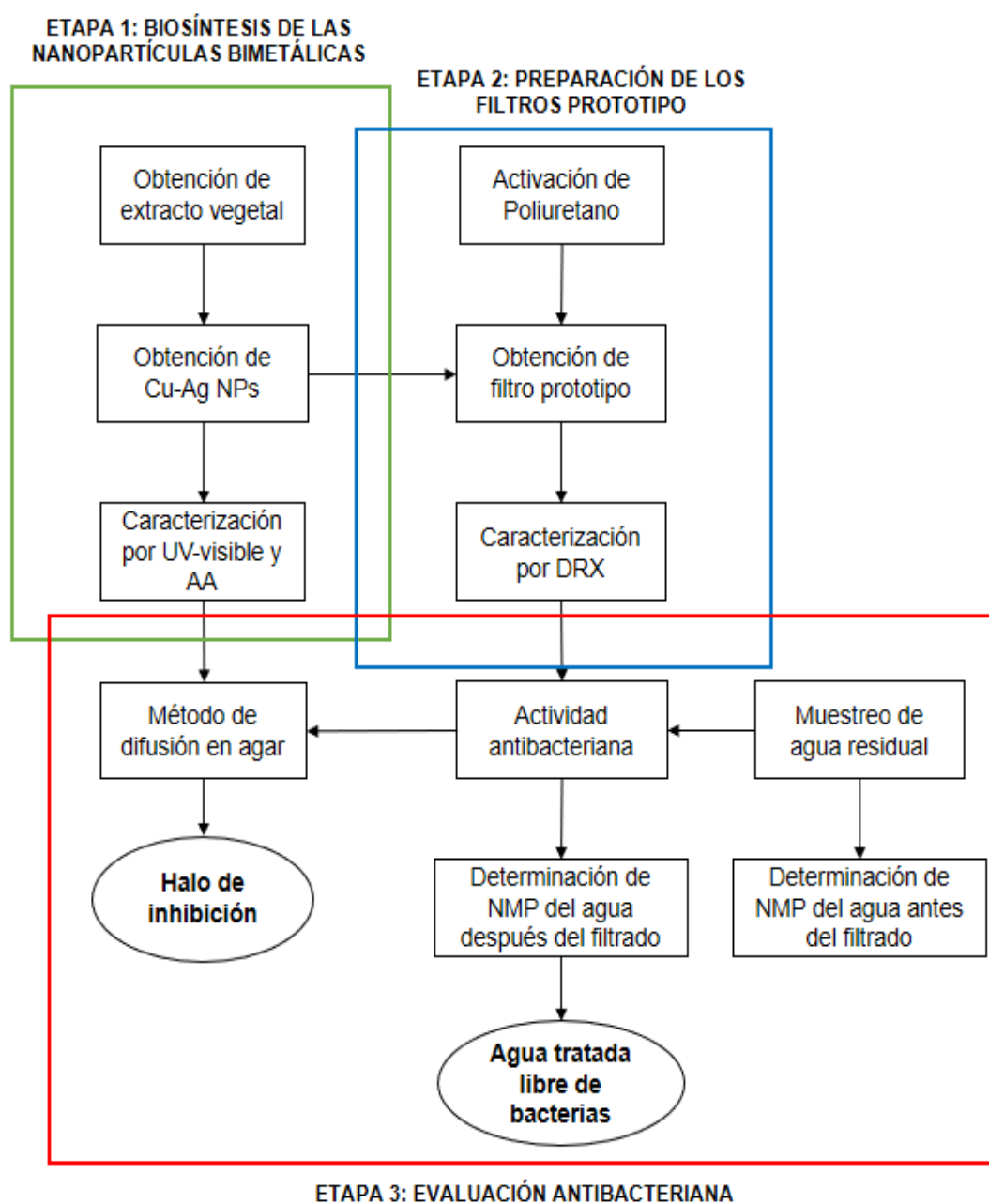
- Agitador magnético IKA RHbasic KT/C
- Balanza analítica A&D, HR-250AZ
- Estufa por convección MEMMERT
- pHmetro Portable meter Ph70+DHS
- Espectrofotómetro UV-visible THERMO Evolution 300
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN Spectra AA240PS
- Difractor de rayos X
- Autoclave esterilizador de vapor
- Incubadora MEMMERT IN 260

3.4. MÉTODOS

El procedimiento experimental se realizó en tres fases, las dos primeras realizadas en los laboratorios de Fisicoquímica y Nanotecnología de la Escuela Profesional de Química, y la tercera en el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Medicina Humana.

Figura 10

Flujograma del procedimiento experimental de la investigación



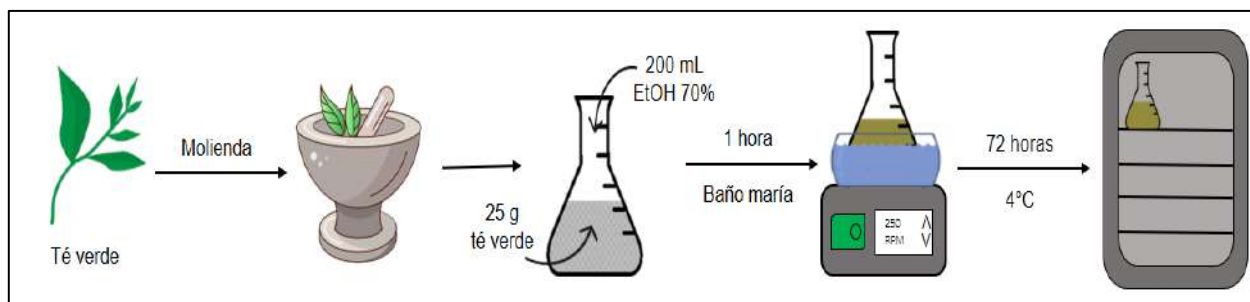
ETAPA 1: SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS

a. Preparación del extracto hidroetanólico de té verde al 70%

- 1) Se realizó una clasificación de las muestras de té verde, retirando ramas e impurezas presentes en la muestra, y obteniendo los especímenes de mejor condición. Las hojas fueron lavadas con agua destilada para retirar la mayor cantidad de impurezas, y secadas a temperatura ambiente, en un área fresca y protegidos de la luz solar. Una vez secas las hojas se procedió a molerlas con ayuda de un mortero de cuarzo.
- 2) La preparación del extracto hidroetanólico se realizó utilizando 25 gramos de hojas secas de té verde sobre las que se agregaron 200 mililitros de etanol al 70% y se colocó en baño maría con una agitación constante de 350 RPM por una hora, dejando macerar el extracto por 72 horas a 4°C (figura 11).
- 3) Transcurrido el tiempo se filtró el extracto para retirar impurezas y sobrenadantes. El líquido resultante fue almacenado en un frasco ámbar y reservado a 4°C.

Figura 11

Preparación del extracto hidroetanólico de té verde



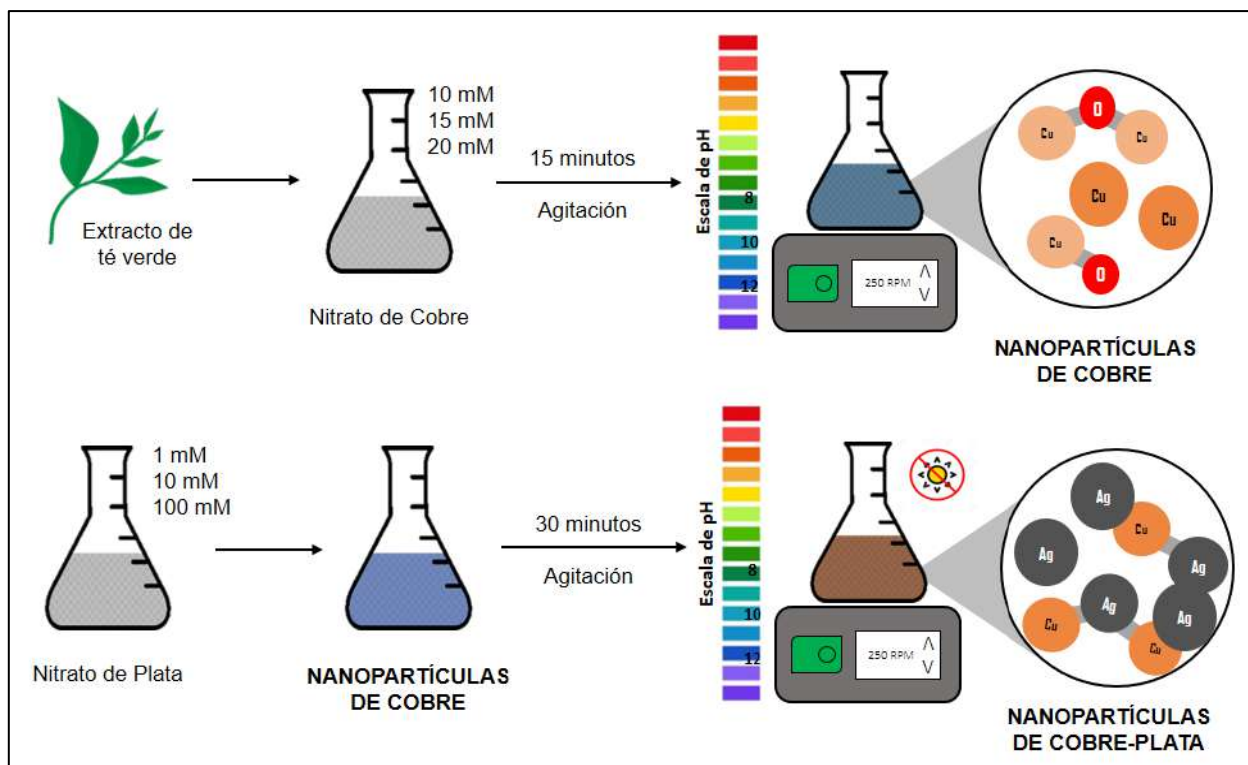
b. Síntesis de nanopartículas bimetálicas de cobre y plata

- 1) La formación de las nanopartículas de cobre inició con la reducción de la sal de cobre con la ayuda del extracto hidroetanólico de té verde, que fue agregado gota a gota a una solución de 10 mL de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10, 15 y 20 mM, en proporción de 5:6; a temperatura ambiente y agitación constante durante 15 minutos.

- 2) Para favorecer la formación de las nanopartículas se agregó un basificador, en este caso el hidróxido de sodio 0.1N hasta llevar la solución al pH deseado (8-12).
- 3) Terminado el tiempo de agitación se reservaron las soluciones de nanopartículas de cobre a 4°C hasta la siguiente parte experimental. La figura 12 muestra el proceso de obtención de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata.

Figura 12

Síntesis de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata



- 4) Se tomaron 5 ml de la solución de nanopartículas de cobre obtenidas anteriormente, para agregar por goteo soluciones de nitrato de plata de tres concentraciones distintas (1mM, 10mM, 100mM).
- 5) Al igual que con las nanopartículas de cobre se añadió hidróxido de sodio 0.1N hasta lograr el pH deseado (8-12). Las condiciones evaluadas fueron el pH, la concentración y el volumen de AgNO_3 (tabla 2).

- 6) Se realizaron un total de 8 experimentos para la obtención de las nanopartículas de cobre, y 27 experimentos para la obtención de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, variando los parámetros descritos en la tabla.
- 7) La obtención de las nanopartículas se realizó con foto protección, para evitar reacciones de la plata metálica. Las muestras obtenidas fueron reservadas a 4°C en frascos ámbar hasta su caracterización posterior.

Tabla 2

Parámetros evaluados en la síntesis de las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata

Nº experimento	pH	[AgNO ₃] mM	[AgNO ₃] mL
1	8		1
.	9	1	2
.	10	10	5
.	11	100	10
27	12		

Nota: Parámetros constantes: temperatura: 20°C, velocidad de agitación: 250 RPM, tiempo de reacción: 30 minutos

c. Caracterización de las nanopartículas por espectroscopía UV-Visible

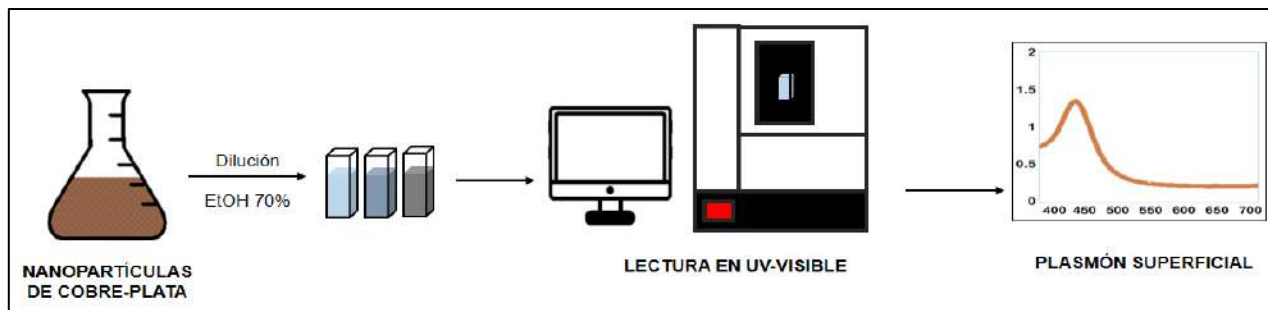
- 1) Se realizó la verificación de la presencia de las nanopartículas de Ag y Cu en un equipo UV-visible de doble haz, marca Thermo, modelo Evolution 300 perteneciente al laboratorio de Fisicoquímica; donde también se visualizó la estabilidad de éstas.
- 2) Se realizó la medición en un rango visible de 350 a 700 nm para observar la presencia de metales en tamaño nanométrico, registrando las absorbancias y longitudes de onda de las nanopartículas en las diferentes muestras obtenidas, utilizando la línea base más adecuada para la lectura de las muestras.
- 3) Para el análisis se utilizaron 8 muestras de nanopartículas de cobre, y las 27 muestras de nanopartículas bimetálicas descritas en la tabla 5. Las nanopartículas fueron medidas preparando soluciones diluidas con etanol al 70% con el objetivo de asegurar una adecuada lectura de absorbancia en el equipo, también se midió la

estabilidad de las nanopartículas en el mismo instante, a las 24 horas y una semana de realizada la síntesis (figura 13).

- 4) Las muestras que continuaron presentando plasmón superficial fueron almacenadas y se realizó un control mensual de la estabilidad.

Figura 13

Diagrama para la lectura de las muestras en el espectrofotómetro UV-Visible



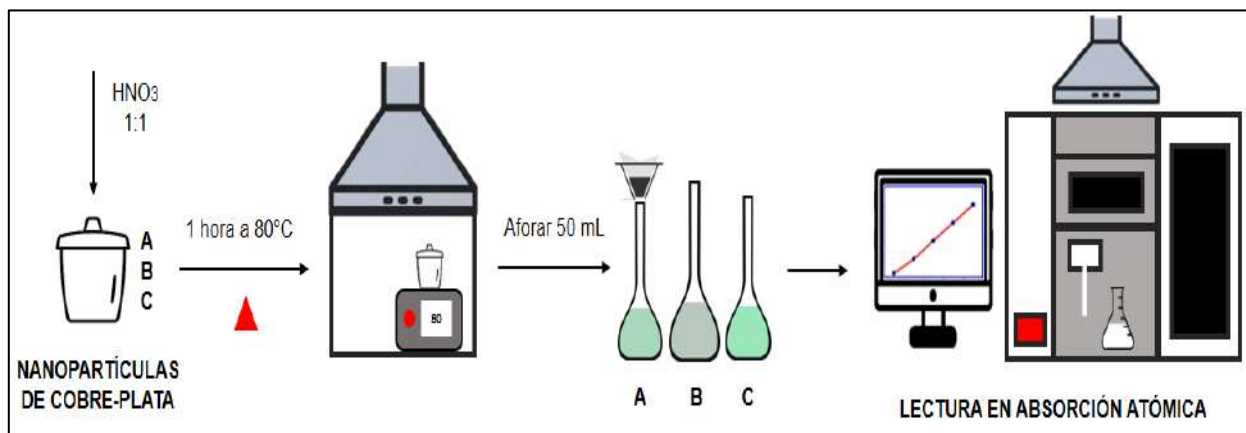
d. Caracterización de las nanopartículas por Absorción Atómica

- 1) La cantidad de plata y cobre total presente en las nanopartículas se analizó en un espectrofotómetro de Absorción Atómica de Llama (Varian, modelo Spectra AA240FS) perteneciente al laboratorio de Cromatografía y Espectroscopía.
- 2) Antes de realizar las mediciones se prepararon las nanopartículas mediante digestión ácida con ácido nítrico al 50%, según método EPA 3050B.
- 3) Se tomó 1 mL de cada muestra de nanopartícula bimetálica, colocándola en un crisol y procediendo a realizar la digestión en una campana de extracción.
- 4) Se añadió 5 mL de HNO_3 1:1, con el objetivo de eliminar cualquier presencia de materia orgánica que interferiría en la lectura en el equipo, previniendo la evaporación total del líquido añadiendo agua destilada.
- 5) Transcurrida 1 hora se filtraron las soluciones resultantes con agua destilada y se aforaron a 50 mL, reservando las muestras preparadas hasta el análisis en el espectrómetro de Absorción Atómica (figura 14).
- 6) Se preparó una curva patrón absorbancia vs. concentración de 1, 1.5, 2 y 4 ppm partiendo de una solución de 1000 ppm de AgNO_3 y $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ grado reactivo.
- 7) Las muestras fueron leídas en el equipo, registrando los datos en la curva patrón respectiva para cada elemento. En la lectura de algunas muestras los valores

hallados superaron los registrados en la curva patrón, por lo que fue necesario diluir las muestras a concentraciones del 10%.

Figura 14

Diagrama para la preparación de las muestras para su lectura en Absorción Atómica



- 8) La tabla 3 muestra el número de muestras leídas en el espectrómetro de Absorción Atómica, así como las concentraciones de las sales precursoras de cobre y plata respectivas y su denominación.

Tabla 3

Concentraciones de sales precursoras utilizadas en las muestras de nanopartículas bimetálicas para su lectura en el espectrómetro de Absorción Atómica

N° experimento	[Cu(NO ₃) ₂] mM	[AgNO ₃] mM	Denominación
1	10	1	M A
2	10	10	M B
3	10	100	M C

Nota: La lectura de las muestras se realizó por triplicado en el equipo de Absorción Atómica

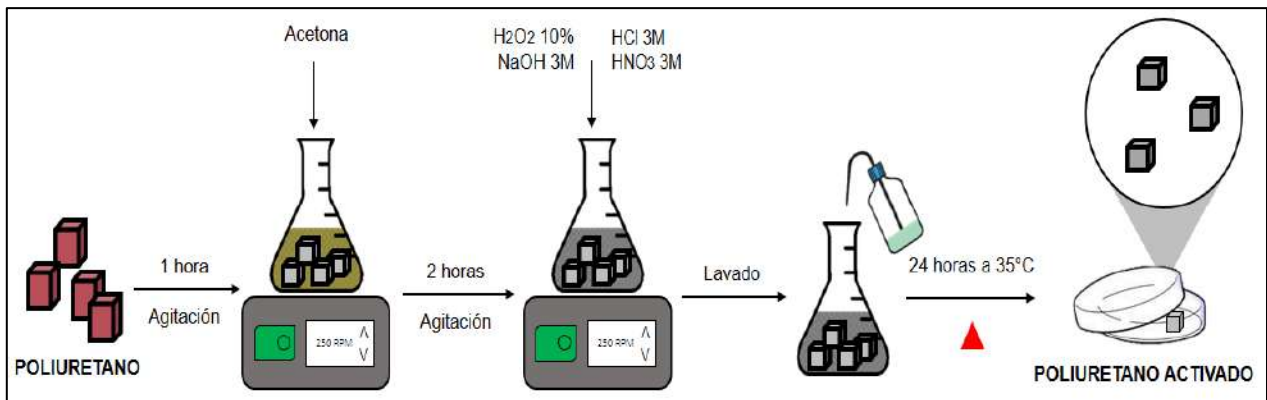
ETAPA 2: OBTENCIÓN DE LOS FILTROS PROTOTIPO

a. Activación del soporte de poliuretano

- 1) Se preparó el poliuretano para su utilización como soporte de las nanopartículas. Para realizar el proceso de activación del material cuatro muestras de espuma de poliuretano fueron lavadas con acetona durante 1 hora, y 3 veces con agua destilada, con el objetivo de eliminar residuos presentes en el material.
- 2) Una vez concluido este proceso la muestra fue sumergida en 25 mL de una solución (H_2O_2 al 10%, NaOH 3 M, HCl 3 M y HNO_3 3 M) con agitación constante por dos horas, según lo descrito por Ziegler Benitez (2013).
- 3) Para terminar, se enjuagó las muestras con agua destilada, y secado a 35°C por 24 horas (figura 15). Este proceso se realizó para cada solución, y analizar cuál es el agente ideal para el proceso de activación de la matriz de poliuretano.

Figura 15

Diagrama para la activación del soporte del poliuretano

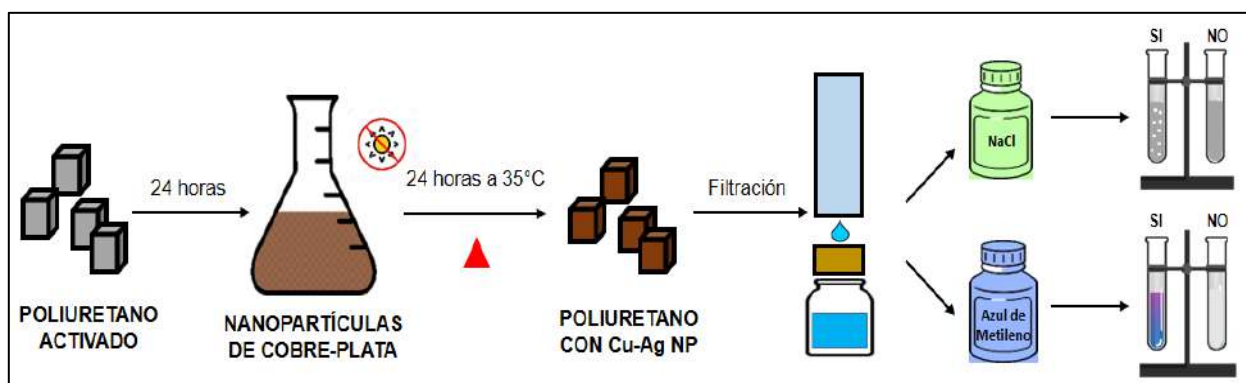


- 4) Se evaluó la retención de las nanopartículas en la superficie del soporte utilizando las cuatro soluciones, realizando esta prueba mediante la deposición de nanopartículas bimetálicas en la superficie y su posterior filtración con agua destilada.
- 5) Una vez obtenidos las espumas de poliuretano activadas se colocaron en soluciones de nanopartículas previamente sintetizadas por 24 horas y sin exposición a la luz, para luego llevarlas a la estufa a 35°C .

- 6) Se procedió a realizar una prueba de filtrado en donde el agua destilada interactuó con las espumas con nanopartículas obtenidas. Para verificar si efectivamente las nanopartículas se fijan en el soporte se evaluó las aguas filtradas frente al reactivo NaCl 1M, que genera turbidez al reaccionar con la plata; y el azul de metileno, que reacciona con la plata provocando decoloración (figura 16).
- 7) Se eligió el agente tratante que no produjo las características descritas anteriormente, es decir, generó una adecuada deposición de nanopartículas en su superficie ya que no se encontraron iones plata en las aguas del filtrado.

Figura 16

Diagrama para la evaluación de la retención de las nanopartículas en la superficie del poliuretano

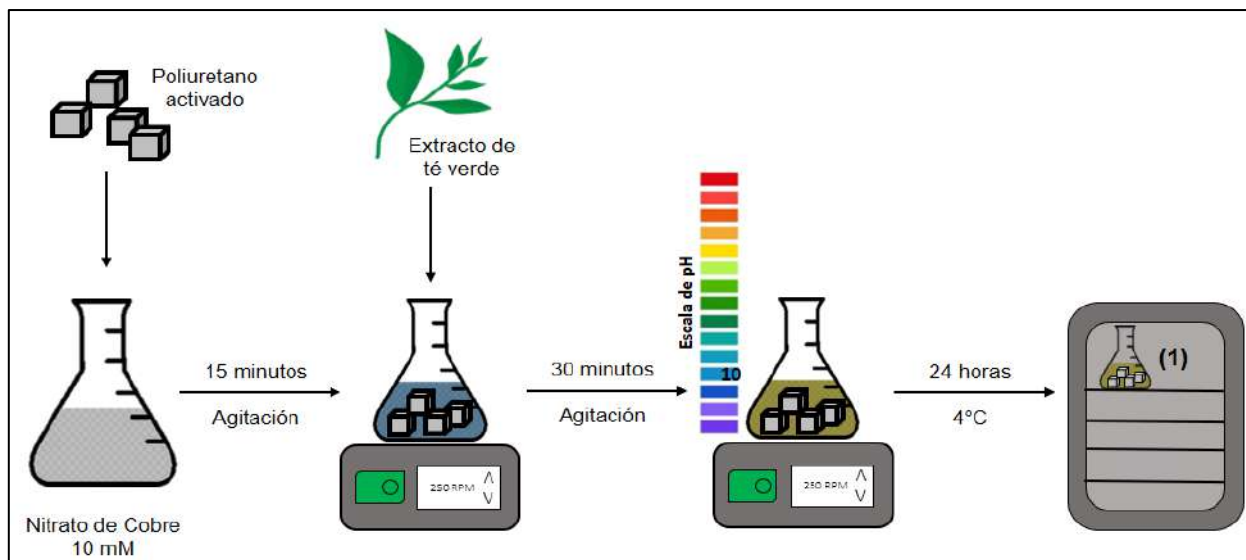


b. Obtención de los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas

- 1) Se inició este procedimiento con la síntesis de las nanopartículas de cobre sobre el poliuretano tratado (figura 17). La obtención de los filtros se dio *in situ*, para asegurar la adecuada deposición de las nanopartículas sobre los centros activos de la matriz de acuerdo a la metodología descrita por Li et al. (2022).
- 2) Se colocó espumas de poliuretano activadas de 3 cm³ de volumen en un vaso de vidrio de boca ancha, al cual se agregó 5 mL de nitrato de cobre 10 mM, en agitación constante durante 15 minutos.
- 3) Transcurrido el tiempo, a temperatura ambiente y agitación constante, se agregó el extracto vegetal de té verde, llevando el pH a un valor de 10 mediante el uso de hidróxido de sodio 0.1N para una idónea obtención de nanopartículas. La solución fue dejada en reposo y a 4°C durante 24 horas.

Figura 17

Generación in situ de nanopartículas de cobre sobre las espumas de poliuretano

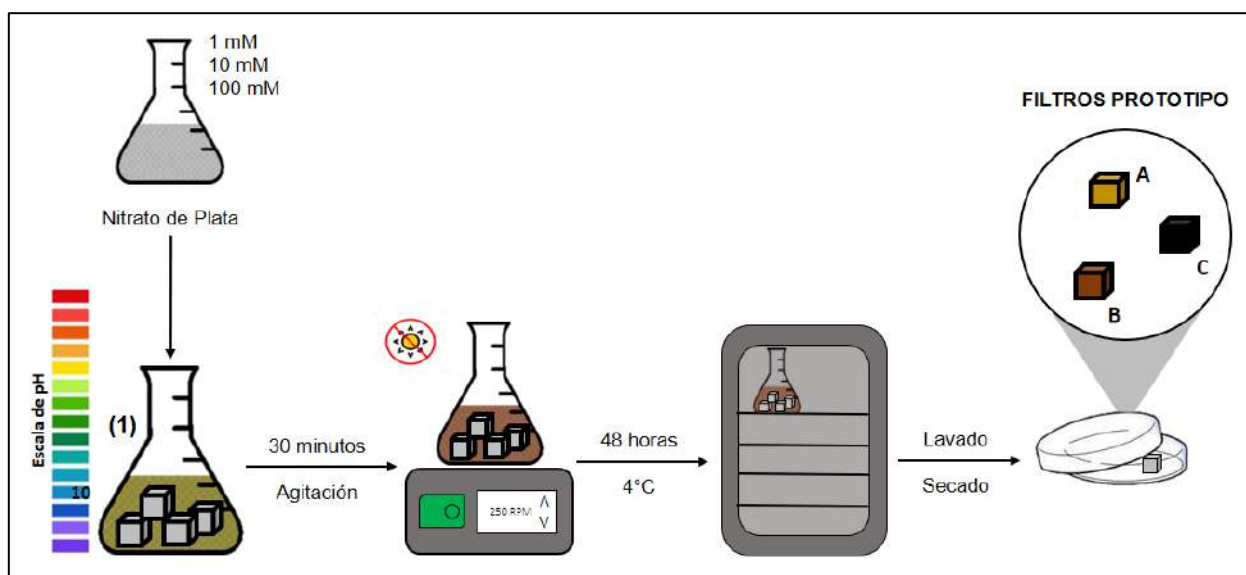


Nota: Se partió de los datos obtenidos en el apartado de síntesis de nanopartículas bimetálicas para elegir los parámetros idóneos para la obtención de los filtros prototipo.

- 4) Después de las 24 horas se procedió a realizar la síntesis de las nanopartículas bimetálicas, añadiendo una sal precursora de plata sobre el nanocobre presente en la superficie del poliuretano, según la metodología de Balvín Beltrán et al. (2020).

Figura 18

Generación in situ de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata sobre las espumas de poliuretano



Nota: Se partió de los datos obtenidos en el apartado de síntesis de nanopartículas bimetálicas para elegir los parámetros idóneos para la obtención de los filtros prototipo.

- 5) Se agregó por goteo 5 mL de una solución de 1 mM de nitrato de plata, llevando la solución a un pH de 10 con hidróxido de sodio 0.1N. La agitación fue constante por un tiempo de 30 minutos, para después reservar las muestras obtenidas a 4°C durante 48 horas. Se realizó el mismo procedimiento con concentraciones de nitrato de plata de 10 y 100 mM.
- 6) Las espumas de poliuretano fueron retiradas de las soluciones, para después lavarlas con agua destilada para retirar los residuos vegetales que quedaron en el soporte y secarlas a 25°C. Los filtros obtenidos con nanopartículas bimetálicas fueron reservados en placas esterilizadas para evitar posible contaminación (figura 18).

c. Caracterización de los filtros mediante Difracción de rayos X

- 1) Los filtros obtenidos en el apartado anterior fueron empaquetados en frascos ámbar para evitar su exposición prolongada a la luz y realizar su caracterización. caracterizados en un equipo de Difracción de Rayos X perteneciente a la Escuela Profesional de Química de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- 2) Se enviaron tres muestras de los filtros con las características descritas en la tabla 4, siendo estas denominadas A, B y C; en donde solo varía la concentración de sal precursora de plata con el objeto de evaluar el efecto antibacteriano que presentan los filtros, mediante la interacción cobre-plata.
- 3) Los resultados fueron analizados en el software Origin para su visualización y Microsoft Excel para su interpretación.

Tabla 4

Características de los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas para análisis en DRX

Denominación	pH	[Cu(NO ₃) ₂] mM	[AgNO ₃] mM	[AgNO ₃] mL
A	10	10	1	5
B	10	10	10	5
C	10	10	100	5

Nota: Parámetros que presentaron mejores resultados en la caracterización UV-visible, variando la concentración de la sal de plata.

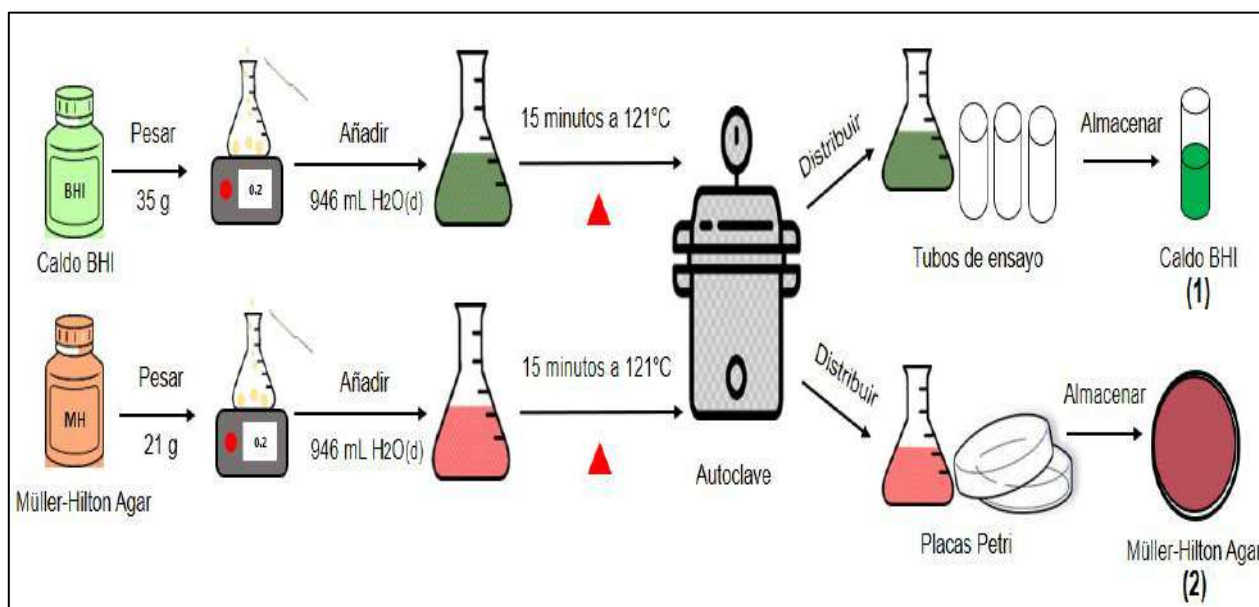
ETAPA 3: EVALUACIÓN ANTIBACTERIANA

a. Determinación de actividad antibacteriana mediante método de siembra en agar

- 1) La determinación de la actividad antibacteriana fue realizada como una prueba piloto para determinar si efectivamente los filtros obtenidos presentan potencial para reducir el número de bacterias presentes en aguas residuales.
- 2) Para la preparación de las pruebas antibacterianas se realizó una variación del método de siembra en agar, utilizando cepas de *Escherichia coli* brindadas por el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Medicina Humana de la UNSAAC.
- 3) Para la realización de esta determinación se prepararon dos medios de cultivo: el agar Müller-Hilton y el caldo BHI (figura 19).

Figura 19

Preparación de los medios de cultivo agar Müller-Hilton y caldo BHI

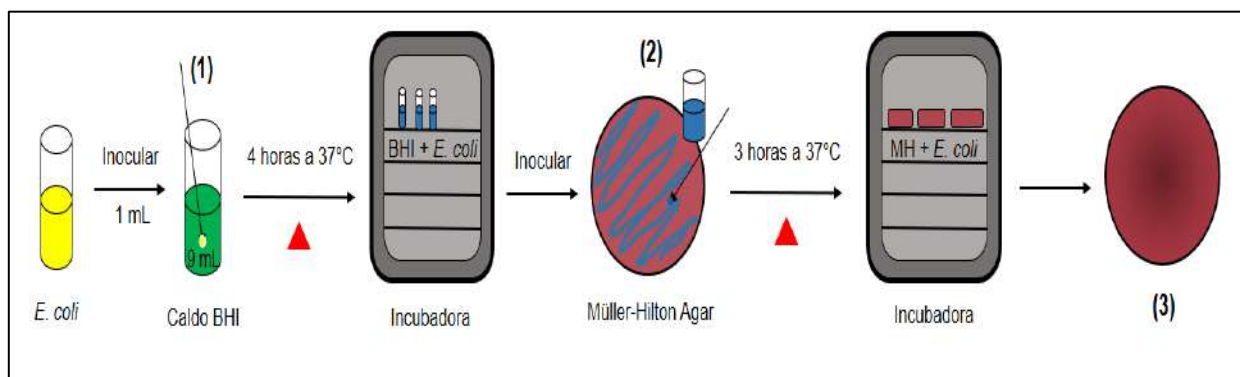


- 4) Se pesaron 35 gramos en caso del caldo BHI, y 21 gramos del agar Müller Hilton; y aforándolo en un matraz a 1 litro con agua destilada. Las soluciones fueron homogenizadas para después realizar un proceso de esterilización en la autoclave a condiciones de 121°C y 1 atm por 15 minutos.

- 5) Transcurrido este tiempo se distribuyó la solución de agar Müller-Hilton en diez placas Petri con tapa esterilizadas, incubándolas en posición invertida a 37°C por 4 horas.

Figura 20

Obtención de los medios de cultivo con cepas de E. coli

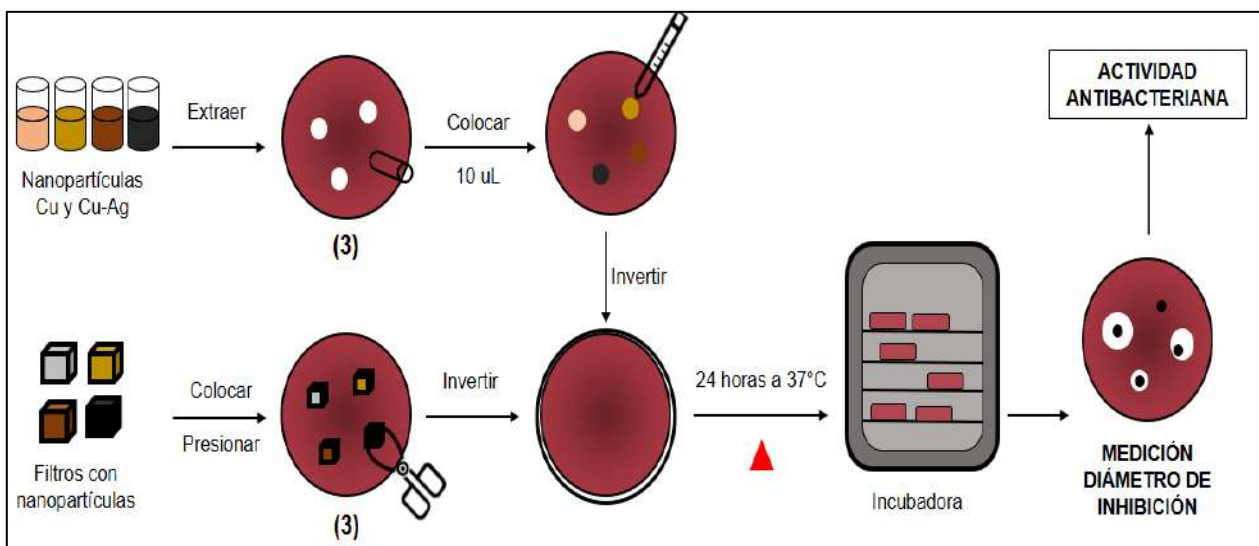


- 6) Se inoculó 1 mL de cepas de *Escherichia coli* en 9 ml del caldo BHI preparado en un tubo de ensayo con tapa, incubándolo de igual manera a 37°C por 4 horas.
- 7) Posteriormente, utilizando un hisopo, se inoculó la solución de caldo BHI con cepas de *E. coli* en las placas con agar Müller-Hilton, asegurándonos de cubrir toda la superficie de la placa, e incubándolas nuevamente a 37°C por 3 horas (figura 20).
- 8) Para el proceso de determinación de la actividad antibacteriana se utilizaron muestras de nanopartículas y muestras de filtros prototipo para verificar la actividad antibacteriana de ambas muestras.
- 9) Como se tuvieron dos tipos de muestras se realizaron dos procedimientos para deposición en las placas. Para las nanopartículas se utilizó pipetas Pasteur de vidrio esterilizadas para cortar círculos de 1 cm de diámetro de donde se extrajo el agar y se colocó soluciones de 10 µL de nanopartículas.
- 10) Para los filtros prototipo se colocaron muestras de 1x1cm, haciendo una ligera presión sobre la superficie del agar con la ayuda de pinzas esterilizadas, utilizando la metodología descrita por Fernández et al. (2020). Concluidos estos procesos se colocaron las placas Petri en posición invertida en la estufa por 37°C y 24 horas.
- 11) Para finalizar esta determinación se extrajeron las placas de la estufa y se midieron los halos de inhibición generados por las muestras (figura 21). Estos datos permitieron evaluar la actividad antibacteriana de las nanopartículas y los filtros

dopados con nanopartículas bimetálicas, verificando que muestra genera mejor actividad bactericida frente a microorganismos presentes en aguas residuales domésticas, en este caso las cepas de *Escherichia coli*.

Figura 21

Medición de actividad antibacterial de las nanopartículas bimetálicas y los filtros prototipo



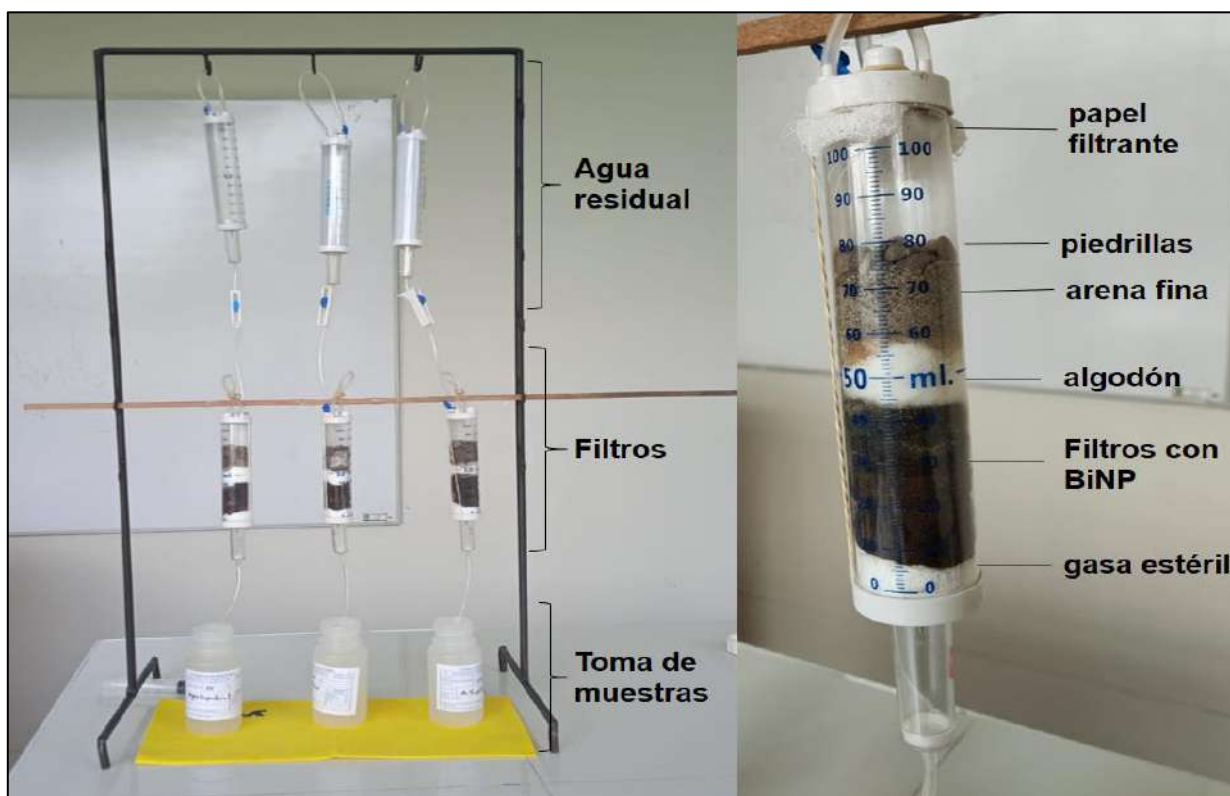
b. Cuantificación de coliformes termotolerantes mediante técnica por diluciones en tubo múltiple

- 1) Para la toma de la muestra de agua con coliformes termotolerantes se utilizaron equipos de protección personal reglamentarios.
- 2) Se utilizaron frascos de polietileno esterilizados de 500 mL para recolección de agua residual, y frascos de 250 ml para las muestras de agua tratada proporcionados por el laboratorio Louis Pasteur para la recolección de las muestras y su traslado en cadena de frío.
- 3) La localización del punto de muestreo fue en coordenadas 13°33'13.3"S 71°52'26.3"W, distrito de San Jerónimo, provincia del Cusco. Se tomó una distancia de 25 metros de un vertimiento de aguas residuales en el río Huatanay y se recolectó la muestra en los frascos proporcionados por el laboratorio.
- 4) Las muestras fueron almacenadas a una temperatura de 4°C hasta su traslado a laboratorio para los respectivos análisis de coliformes termotolerantes.

- 5) Se armó un sistema de filtración donde una muestra de 2 litros de agua residual recolectada del punto de muestreo indicado cayó por goteo sobre los filtros obtenidos.
- 6) El agua fue filtrada con anterioridad para prevenir la obstrucción de los filtros causado por los sólidos suspendidos presentes en aguas residuales.
- 7) Para el paso del agua muestreada sobre los filtros prototipo se armó una estructura conformada por los siguientes implementos: una capa de piedrillas, arena fina, gasa, los filtros obtenidos con nanopartículas bimetálicas, de alrededor de 10 cm de longitud, y papel filtro; diseñado para simular un proceso de tratamiento tradicional de aguas. El diseño del sistema se muestra en la figura 22, armado en el laboratorio de Nanotecnología de la Escuela Profesional de Química de la UNSAAC.

Figura 22

Sistema de filtración de aguas residuales (izquierda) y composición de los filtros obtenidos (derecha)



- 8) La muestra de agua residual se hizo pasar sobre los tres tipos de filtros obtenidos, cuya concentración y denominación se describen en la tabla 8, colocando 300 mL de agua muestreada por cada filtro.

- 9) Una vez pasada toda la muestra de agua residual, el agua filtrada fue almacenada en los frascos estériles de 250 mL en cadena de frío, para ser llevadas al laboratorio Louis Pasteur para realizar el análisis de coliformes fecales en (1) el agua residual y (2) el agua tratada por los filtros.
- 10) Las muestras fueron analizadas mediante el método oficial para conteo de Coliformes Fecales, es decir la Técnica por Diluciones en Tubo Múltiple para cuantificar estos microorganismos comúnmente presentes en las aguas residuales.
- 11) Como se observa en la tabla 5 la concentración de la sal de cobre permanece constante en los experimentos 2, 3 y 4 por lo que el efecto de aumentar la concentración de sal de plata será evaluado en este procedimiento, así como la acción antibacteriana de las nanopartículas bimetálicas en conjunto. Se hallará la eficiencia de cada filtro restando la concentración del agua residual inicial menos la concentración de cada agua que pasó por los filtros.

Tabla 5

Características de los filtros prototipo utilizados para la cuantificación de coliformes termotolerantes

Denominación	[Cu(NO ₃) ₂] mM	[AgNO ₃] mM
AGUA RESIDUAL	-	-
A	10	1
B	10	10
C	10	100

Nota: Las muestras elegidas registraron los mejores datos respecto a la caracterización espectroscópica, utilizados en las pruebas microbiológicas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño de la presente investigación fue experimental, obteniendo mediante ensayos de laboratorio los resultados de las tres etapas descritas en el capítulo de metodología: síntesis de nanopartículas bimetálicas, obtención de los filtros prototipo y evaluación del efecto antibacteriano de los filtros. Estos resultados se presentan en el capítulo.

4.1. Síntesis de las nanopartículas bimetálicas

En la tabla 6 se muestra la variación de la concentración de sales precursoras y el pH en la síntesis de las ocho muestras de nanopartículas de cobre.

Tabla 6

Condiciones de síntesis para la obtención de las nanopartículas de cobre

N°	[Cu(NO ₃) ₂] mM	Control		
		pH inicial	mL de NaOH	pH final
1	10	3.83	0.5	10.00
2	15	3.87	0.78	10.03
3	20	3.71	0.94	10.02
4	10	4.21	0.33	8.00
5	10	4.15	0.41	9.02
6	10	3.83	0.5	10.00
7	10	3.97	0.68	11.06
8	10	3.74	0.87	12.01

Nota: Se tomaron los siguientes valores para cada parámetro: 10, 15 y 20 mM para la concentración de la sal de cobre, y 8-12 para la variación del pH.

Las muestras presentaron un pH inicial ácido, por lo que la adición de un agente basificador fue necesaria. En esta síntesis un pH ácido favorece a la formación de nanopartículas de Cu^0 mientras que el pH básico ayuda a la obtención de nanopartículas de óxidos de cobre I y II. En este caso se priorizó el pH básico sobre el ácido para la formación de las nanopartículas, debido a que las nanopartículas de plata requieren un pH básico para su formación.

La formación de las nanopartículas de cobre inició con la sal precursora de cobre disuelta formando los iones NO_3^- y Cu^{+2} . El ión Cu^{+2} tiende a perder un electrón formando nanopartículas de Cu_2O , con la ayuda de un agente reductor (extracto vegetal de té verde), que reduce la sal de cobre y estabiliza las nanopartículas (Li et al., 2022), mas no previene su aglomeración por lo que se hace necesario un proceso de estabilización o de soporte en una matriz. Los parámetros de control como la concentración de sales precursoras y el pH tuvieron gran influencia al momento de la obtención de nanopartículas metálicas durante la reducción química, en especial el pH que influyó directamente en el tipo de nanopartículas obtenidas (Rajeshkumar et al., 2019). Durante las reacciones de síntesis se observó un cambio de coloración de una tonalidad verdosa característica del extracto a un color cobrizo. Esta reacción se hizo más evidente al añadir un agente basificador como el hidróxido de sodio, para evitar la aglomeración de nanopartículas en el transcurso del tiempo.

La tabla 7 presenta los tres parámetros que variaron en la obtención de las ocho muestras de nanopartículas bimetálicas de cobre y plata: la concentración y cantidad de la sal precursora de plata y el pH.

Tabla 7*Condiciones de síntesis para la obtención de las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata*

N°	Concentración [AgNO ₃] mM	Cantidad [AgNO ₃] mL	CONTROL		
			pH inicial	mL de NaOH	pH final
1	1	5	7.14	0.33	8.20
2	1	5	7.34	0.37	9.02
3	1	5	8.41	0.75	10.00
4	1	5	8.42	1.02	11.00
5	1	5	8.82	1.09	12.00
6	10	10	5.58	0.37	8.07
7	10	10	6.08	0.64	9.00
8	10	10	8.28	0.69	10.01
9	10	10	6.67	1.28	11.30
10	10	5	8.24	1.35	12.01
11	100	5	4.74	3	8.25
12	100	5	4.53	2.35	9.01
13	100	5	5.17	2.78	10.00
14	100	5	4.64	3.15	11.00
15	100	5	4.25	3.98	12.00
16	1	1	8.40	0.51	10.00
17	1	2	8.68	0.64	10.03
18	1	5	8.41	0.75	10.00
19	1	10	8.64	0.78	10.00
20	10	1	8.73	0.43	10.02
21	10	2	8.75	0.51	10.00
22	10	5	8.28	0.69	10.01
23	10	10	6.76	0.75	10.00
24	100	1	5.91	0.75	10.02
25	100	2	5.66	0.86	10.00
26	100	5	5.17	2.78	10.00
27	100	10	4.45	3.14	10.12

Nota: Datos obtenidos variando parámetros como la concentración y cantidad de la sal precursora de plata y el pH, manteniendo la cantidad de cobre constante.

La adición de AgNO_3 en las 27 muestras fue constante. En las muestras de nanopartículas bimetálicas se observó un pH que variaba entre 4-8, según la adición de las soluciones de plata iónica; sin embargo, cabe recalcar que el pH de las soluciones en mayoría fue básico, debido a que para la obtención de estas nanopartículas se utilizó como base soluciones de nanopartículas de cobre del paso anterior. Se pudo observar que a medida se incrementaba la cantidad de sal de plata la coloración de las muestras adquirió tonalidades más oscuras.

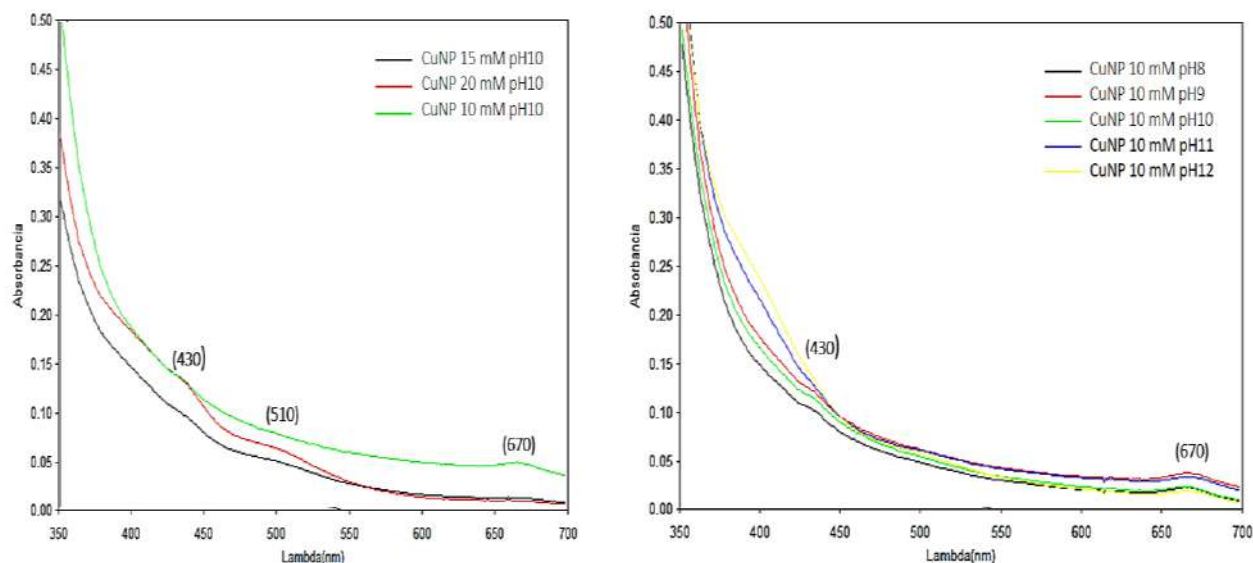
La formación de las nanopartículas bimetálicas inició con la Ag^+ , que tiende a reducirse a Ag^0 sobre la nanopartícula de cobre en forma de Cu^0 , CuO y Cu_2O a consecuencia del agente reductor, formando una coraza de Ag^0 que estabiliza ambos metales (Li et al., 2022); además que los reductores del extracto tienden a adherirse en la superficie de las nanopartículas, generando una carga electrónica contraria que previene la aglomeración de componentes de la misma naturaleza. El control de pH fue constante en todo momento de la síntesis, para garantizar valores básicos y la óptima reducción de la plata. Para las nanopartículas bimetálicas se hizo un énfasis en la variación de las concentraciones de plata debido a la capacidad antibacteriana de la plata, ya que otro propósito de la investigación era comprobar si al reducir la concentración de plata y estabilizar el núcleo de cobre, un metal menos tóxico, tendría un efecto bactericida superior.

4.2. Caracterización de las nanopartículas por espectroscopía UV-Visible

La figura 23 muestra el efecto de la concentración de la sal precursora y el pH sobre la formación de los plasmones superficiales de las ocho muestras de nanopartículas de cobre. En la primera gráfica podemos observar que las nanopartículas obtenidas con tres diferentes concentraciones presentan absorbancia en la región de los 400-550 nm, algunas con más de un pico de resonancia pudiendo evidenciar la presencia de compuestos de óxidos de cobre, con mayor incidencia las nanopartículas a concentración mayor. Otra observación es que las nanopartículas obtenidas a concentración menor presentan una absorción en la región de 650-700 nm, evidenciando la presencia de nanopartículas de cobre puro, a diferencia de las obtenidas al utilizar concentraciones mayores.

Figura 23

Plasmones superficiales de las nanopartículas de cobre sintetizadas



Nota: La figura presenta los plasmones superficiales de resonancia (SPR) de las nanopartículas de cobre (tabla 9), tomando en la primera gráfica como parámetro estable el pH 10 y en la segunda gráfica la concentración de la sal de cobre 10 mM, (Anexo 4). Fuente: Datos extraídos del software VisionPro

El pH jugó un papel fundamental en la formación de nanopartículas (segunda gráfica), pues se obtuvieron mejores resultados a pH entre 9 y 11. Todas las muestras de la segunda gráfica presentaron SPR en la región indicada, evidenciando la presencia de cobre metálico, mas no presentaron señales alrededor de los 500 nm, al contrario que las muestras con mayor concentración. Todos los espectros UV-visible exhibieron una banda de absorción de energía entre 400-480 nm, característico de nanopartículas de CuO y Cu₂O. Algunas nanopartículas exhiben una absorbancia característica de las nanopartículas de cobre puro, en la región de los 600 nm, aunque al realizar el control tres días después esta absorbancia no está presente indicando que se produjo un proceso de oxidación de cobre metálico a óxidos de cobre, aumentando su absorbancia en la región de los 450 nm.

Los resultados obtenidos concuerdan con los presentados por Marín Silva (2022) y Malik et al. (2023), que indican que el cobre puro es evidenciado por picos de absorción en los 500 nm. Las absorciones halladas al utilizar concentraciones mayores fueron en la región de los 500 nm; más al usar concentraciones menores se encontró señales de cobre en los 700 nm, hecho que discrepa lo obtenido por Marín Silva (2022) y Rajeshkumar et al.

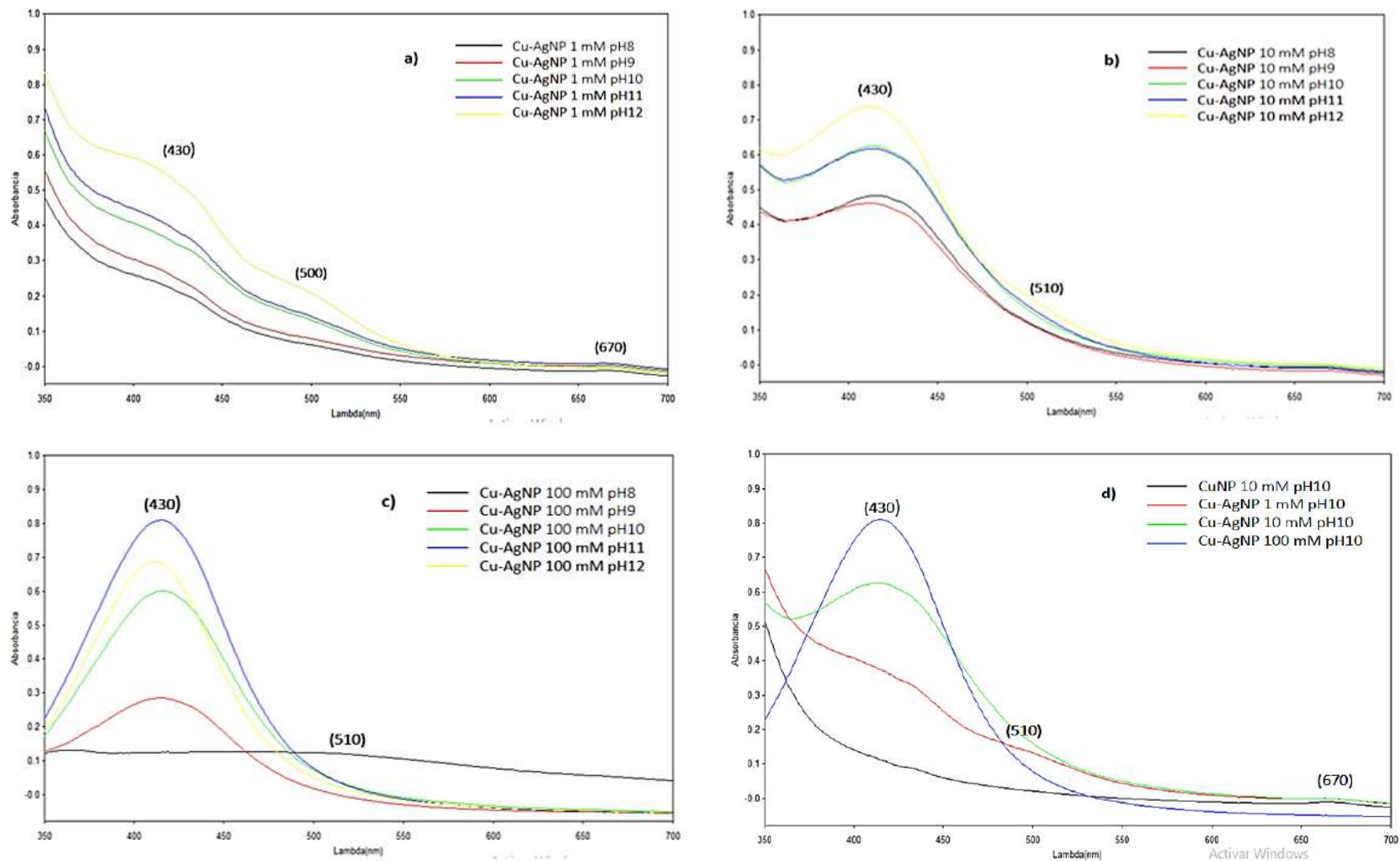
(2019). La absorción del extracto vegetal se registra en los 350-380 nm, al igual que Malik et al. (2023), indicando una posible superposición de las señales de los reductores sobre las nanopartículas de cobre.

La figura 24 muestra los plasmones superficiales de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, en donde las gráficas a, b y c muestran la variación del pH a distintas concentraciones de sal precursora de plata. Las muestras de nanopartículas bimetálicas presentaron señales características a la plata, es decir entre los 400-410 nm y 400-450 nm; y señales características de los compuestos cúpricos en los 500 nm y una señal característica al cobre metálico en la región de los 600 nm. Las gráficas a, b y c de la figura 24 muestran el efecto del pH en la obtención de nanopartículas bimetálicas a diferentes concentraciones de sal de plata. Mientras que a una concentración menor de plata como es la de 1 mM se obtienen tres picos de intensidad, en localizaciones similares a las presentadas por las nanopartículas de cobre, a medida que aumenta la concentración del precursor plata estas señales van disminuyendo, o la principal predomina por sobre las demás, fácilmente discernible en las gráficas b y c.

Una diferencia a recalcar en las tres gráficas es que, utilizando una concentración menor de plata se obtienen dos picos de absorción atribuibles a dos tipos diferentes de nanopartículas, las de óxidos de cobre y plata metálica. Esto va disminuyendo a medida que incrementa la concentración de sal de plata, indicando un completo recubrimiento de las moléculas de cobre; aunque un exceso de plata puede llevar a una aglomeración de este metal sobre las soluciones e impedir la formación de las nanopartículas bimetálicas. La gráfica d de la figura 24 muestra el SPR de las nanopartículas de cobre frente a las bimetálicas sintetizadas. En esta gráfica se observa claramente la disminución de la intensidad del cobre a medida que aumenta la concentración del precursor metálico por lo que se supone un recubrimiento parcial de la plata metálica sobre las nanopartículas de cobre ya sintetizadas.

Figura 24

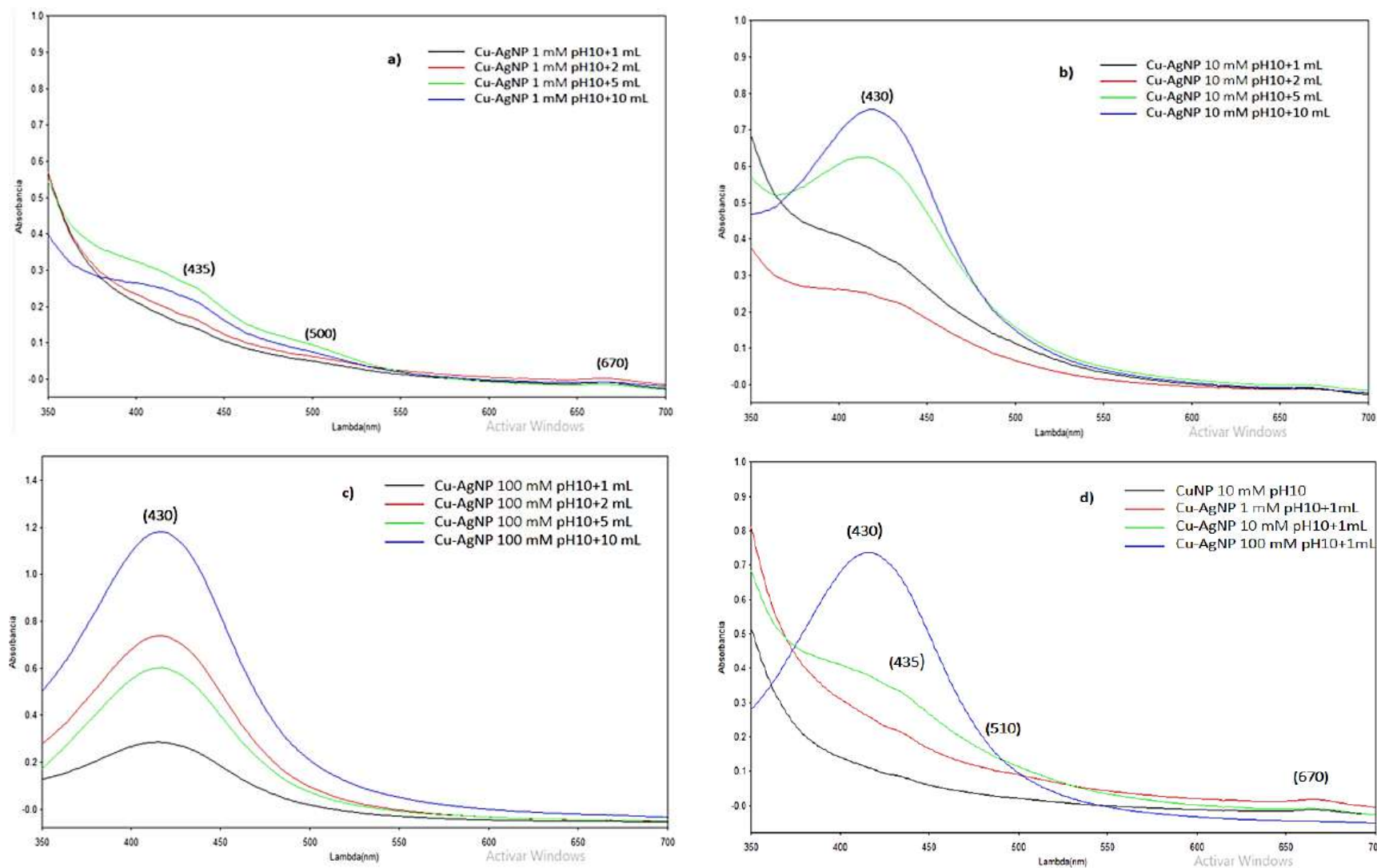
Control UV-Visible de los plasmones superficiales de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, variando el pH



Nota: La figura presenta los SPR de las nanopartículas bimetálicas (tabla 10), variando el pH desde 8-12, en tres diferentes concentraciones de la sal de plata 1, 10 y 100 mM, especificado en el Anexo 4. Fuente: Datos extraídos del software VisionPro

Figura 25

Control UV-Visible de los plasmones superficiales de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, variando la cantidad de la sal de plata.



Nota: La figura presenta los SPR de las nanopartículas bimetálicas (tabla 10), variando la cantidad de sal precursora de plata desde 1 a 10 mL, en tres diferentes concentraciones 1, 10 y 100 mM a un pH de 10, especificado en el Anexo 4. Fuente: Datos extraídos del software VisionPro

La figura 25 muestra los resultados de la evaluación de la cantidad de sal de plata añadida, con un pH que presentaba resultados aceptables para la medición de otros parámetros, que es el de 10. Como podemos ver tanto en las figuras 24 y 25 al aumentar la cantidad de sal de plata la intensidad del SPR no necesariamente se incrementa, observándose esto en la gráfica a que muestra tres picos de absorción en la región de los 400 nm, característico de la plata metálica y 650 nm, proveniente del cobre metálico. Las intensidades de los SPR varían de acuerdo a la cantidad de sal añadida, aunque todas las muestras presentan picos de absorción en los 430 nm, especialmente en las gráficas b y c, en donde las señales características del cobre no se distinguen fácilmente. En la gráfica d se observa una comparación entre los SPR de las nanopartículas de cobre frente a las nanopartículas bimetálicas: se observa de mejor forma la disminución de las señales de cobre, indicando un posible recubrimiento; o en una concentración alta de plata, una aglomeración de las moléculas de plata metálica lo cual explica la intensidad de estas señales. La formación y estabilidad del SPR mejora a medida que aumenta la concentración de sal de plata, este hecho puede observarse en las figuras 24 y 25.

La localización de las señales de las nanopartículas bimetálicas concuerda con lo hallado por Echevarría Muñoz (2021), Le et al. (2024) y Malik et al. (2023), en donde la obtención de las nanopartículas se evidenció por el cambio de coloración intenso, además de que las señales típicas que tienden a superponerse a las del cobre; o a registrar una absorbancia comparable a las de plata pura, según la estructura de metales que la forman. Las nanopartículas presentaron picos de absorbancia predominantes en la región de los 400 nm, característica de la plata, concordando con lo hallados por Fernández et al. (2020), Marín Silva (2022) y Mogollón Cortez & Veloz Chipre (2021).

Se debe recalcar que las muestras que contenían mayor cantidad de sal de plata presentaron mayor estabilidad frente a las otras muestras, y se observó un incremento en la absorbancia después de siete días, en concordancia a lo indicado por El-Rahman et al. (2022), además de haber hallado nanopartículas en una longitud de onda similar a las indicadas por este autor. Los resultados hallados no concuerdan con lo publicado por Balvín Beltrán et al. (2020), que indica la predominancia de nanoplata en los 400-410 nm; más esto puede ser atribuible al diferente tamaño de las nanopartículas, el diferente

agente reductor o la presencia del cobre, que puede haber alterado la ubicación de los picos de absorbancia de las nanopartículas sintetizadas. Las nanopartículas de cobre obtenidas no mantuvieron su estabilidad en un tiempo mayor a 1 semana, observándose una disminución de la absorbancia a partir del tercer día. Teniendo en cuenta que a la semana de obtenidas las muestras estas no pudieron ser leídas en el espectrofotómetro UV debido a que las nanopartículas se desestabilizaron, la siguiente fase del experimento se realizó un día después de obtenidas las nanopartículas para asegurarles un tiempo de envejecimiento suficiente para su formación.

Con la información obtenida en esta fase experimental se eligió los parámetros idóneos para la obtención de los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas, siendo estos para la obtención de un filtro una concentración de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ de 10 mM, a un pH de 10 y una cantidad de AgNO_3 de 5 mL; debido a que en estas condiciones los resultados espectroscópicos fueron más estables para las tres concentraciones de plata evaluadas. La concentración de AgNO_3 se mantuvo en los tres valores evaluados: 1 mM, 10 mM y 100 mM a lo largo de todo el procedimiento experimental con el objeto de comprobar la eficiencia de la interacción cobre-plata en la desinfección de aguas residuales.

4.3. Caracterización de las nanopartículas por espectroscopía de Absorción Atómica

Los datos obtenidos en el espectrofotómetro de Absorción Atómica respecto a la lectura de las absorbancias y las concentraciones de cobre y plata en las muestras de nanopartículas bimetálicas se muestran en las tablas 8 y 9. Con los datos obtenidos se observó el efecto que produce la sal de plata sobre la composición de las nanopartículas bimetálicas. Se observa la variación de la cantidad de cobre, parámetro constante en las nueve lecturas, a medida que aumenta la concentración de plata en la lectura del equipo de Absorción Atómica. La concentración de cobre fue constante en los tres grupos de muestras, observándose disminuciones en la lectura en el equipo a pesar de utilizar concentraciones similares.

Tabla 8

Concentración de cobre en las nanopartículas bimetálicas leídas por Absorción Atómica.

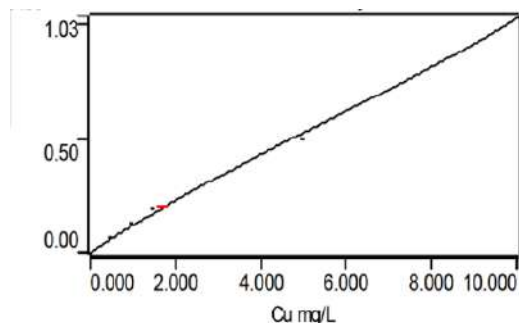
Muestra	% dilución	Absorbancia			%RSD	SD	[] Cobre mg/L
		L1	L2	L3			
M A1	10	0.1965	0.1962	0.1953	0.3	0.0006	16.968
M A2	10	0.1967	0.1945	0.1949	0.6	0.0012	16.909
M A3	10	0.1946	0.1938	0.1945	0.2	0.1949	16.812
M B1	1	0.5371	0.5377	0.5385	0.1	0.0007	5.151
M B2	1	0.5375	0.5360	0.5347	0.3	0.0014	5.133
M B3	1	0.5351	0.5359	0.5352	0.1	0.0004	5.126
M C1	1	0.2165	0.2137	0.2135	0.8	0.0017	1.871
M C2	1	0.2159	0.2163	0.2150	0.3	0.0007	1.882
M C3	1	0.2160	0.2156	0.2167	0.3	0.0006	1.885

Tabla 9

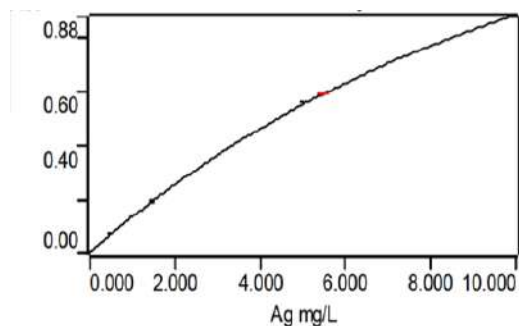
Concentración de plata en las nanopartículas bimetálicas leídas por Absorción Atómica.

Muestra	% dilución	Absorbancia			%RSD	SD	[] Plata mg/L
		L1	L2	L3			
M A1	1	0.5885	0.5874	0.5836	0.4	0.0026	5.456
M A2	1	0.5862	0.5824	0.5850	0.3	0.0020	5.431
M A3	1	0.5850	0.5839	0.5816	0.3	0.0017	5.419
M B1	2	0.6677	0.6701	0.6701	0.2	0.0014	13.083
M B2	2	0.6682	0.6686	0.6693	0.1	0.0007	13.066
M B3	2	0.6668	0.6678	0.6684	0.1	0.0008	13.038
M C1	10	0.5602	0.5632	0.5601	0.3	0.0017	51.460
M C2	10	0.5563	0.5580	0.5581	0.2	0.0009	51.010
M C3	10	0.5548	0.5557	0.5578	0.3	0.0015	50.850

Curva de Calibración para Cu



Curva de Calibración para Ag



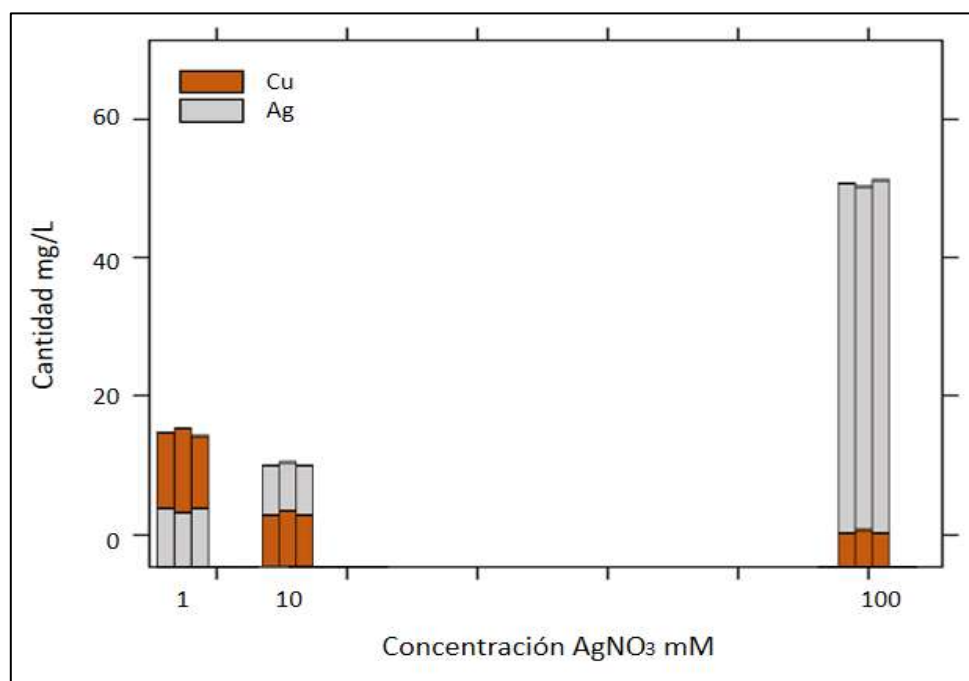
Límite inferior de calibración: 20%
Límite superior de calibración: 150%

Nota: La tabla presenta la concentración de cobre y plata en las muestras de nanopartículas bimetálicas, así como las curvas de calibración utilizadas en la medición respectiva, especificadas en el Anexo 5. Fuente: Datos extraídos del software SpectraA

La figura 26 muestra una representación de la cuantificación de los metales presentes en las nanopartículas bimetálicas sintetizadas. Como la cantidad de sal precursora de cobre fue constante en las tres muestras, podemos indicar que a medida que se aumentó la concentración de sal de plata se recubrió las moléculas de nano cobre mostrándose mayor intensidad en las señales detectadas por el equipo. Los resultados obtenidos en cuanto a la cantidad total de cobre y plata presentes en las nanopartículas bimetálicas fueron variables de acuerdo a la concentración de sal de plata utilizada. En las muestras con mayor cantidad de plata se observa menor concentración de cobre, a pesar de utilizar cantidades similares en la síntesis; y en estas la señal de plata presenta predominancia, similar a lo que ocurrió en la medición en el UV donde la señal de la plata cubre la del cobre, debido a su mayor intensidad y a la mayor cantidad empleada en las muestras.

Figura 26

Cantidad de plata y cobre hallada en las nanopartículas bimetálicas obtenidas



Nota: La gráfica presenta la variación de las cantidades de cobre y plata en las nanopartículas sintetizadas.
Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del software SpectrAA

La disminución de la señal de cobre puede indicarnos un recubrimiento exitoso por lo que se podría suponer que el recubrimiento cobre-plata realizado durante la síntesis fue un proceso bastante eficaz y, en efecto, se lograron obtener nanopartículas bimetálicas de

cobre-plata. Sin embargo, un problema ya detectado anteriormente es la intensidad de la señal de plata que impide la correcta visualización de las señales de los compuestos cúpricos. Las elevadas concentraciones de esta sal ocasionan este problema por lo que afirmamos que, a concentraciones menores, tales como 1 y 10 mM se observa un equilibrio en cuanto a la concentración de las moléculas, aunque también se podría decir que existe presencia de nanomoléculas de cobre y de plata por separado.

Las cantidades de plata concuerdan con lo hallado por Calderón Herrera (2022), que obtuvo cantidades similares con un método de síntesis diferente; más la cantidad de cobre varía en cada muestra, hecho a destacar debido a que se utilizaron las mismas cantidades de sal precursora para todas las muestras. De acuerdo a Echevarría Muñoz (2021) la señal característica de una partícula predominará sobre la otra, ocasionando como en este caso, una superposición dependiente del grosor de la capa exterior. Esto aplica en este caso pues al incrementar la cantidad de la sal de plata se incrementa el grosor de la deposición de plata metálica sobre la superficie del cobre y por tanto se impide la visualización de los SPR característicos del cobre, evidenciado en la medición de los dos equipos espectroscópicos. Por tanto, al utilizar concentraciones de plata mayores a 10 mM la señal de la plata predomina por la del cobre y solo se visualiza esta, indicando un recubrimiento exitoso o un aglomeramiento de las nanopartículas de plata en toda la solución. Contrario a esto al utilizar concentraciones menores de plata se pudieron visualizar los SPR característicos al cobre en la región de los 500 nm, y observando un equilibrio entre las cantidades de cobre y plata detectadas por el equipo de Absorción Atómica por lo que se deduce que un exceso de concentración de sal de plata provoca interferencias al momento de visualizar la lectura de las nanopartículas. Con los datos hallados en los equipos de espectroscopía UV-Visible y Absorción Atómica podemos afirmar que, efectivamente, las muestras de nanopartículas bimetálicas contienen nano moléculas de plata y cobre, más para verificar si efectivamente se encuentran en estado metálico se hace necesaria su verificación con un equipo de análisis elemental y así observar la interacción directa de la plata y el cobre.

4.4. Activación del soporte de poliuretano

La tabla 10 muestra la evaluación de cuatro soluciones (agentes tratantes) para la realización del proceso de activación del soporte de poliuretano.

Tabla 10

Evaluación de la retención de nanopartículas en el poliuretano mediante la adición de agentes tratantes

N°	Agente tratante	Retención de nanopartículas	CONTROL	
			NaCl	Azul de metileno
1	H ₂ O ₂ 10%	NO	+	++
2	NaOH 3 M	SI	+	-
3	HCl 3M	SI	-	-
4	HNO ₃ 3M	SI	+	+

Nota: El control se realizó midiendo la presencia de plata en las aguas filtradas, en donde (+) indica su presencia y (-) un resultado negativo.

La evaluación mostró resultados diferenciados: en tres experimentos se realizó una adecuada deposición de nanopartículas menos en la primera, debido a que el H₂O₂ es un agente tratante bastante débil. El control indicó presencia de plata en los filtrados por lo que se eligió los experimentos con mejores resultados para la realización de un análisis más detallado de la deposición de nanopartículas sobre la superficie de las espumas de poliuretano, en este caso el HCl y el NaOH.

Al comparar los dos filtros se observó que los filtros activados con HCl presentan una mayor conservación de coloración a comparación de los activados con NaOH. Para comprobar esto se realizó una evaluación a las aguas de filtrado para verificar la presencia de plata. Al añadir NaCl a las aguas filtradas se observó turbiedad, y la adición de azul de metileno provocó un cambio de coloración para un agente tratante como el NaOH. Al contrario, el agente HCl no presentó ninguna de estas características, indicando una adecuada deposición de las nanopartículas sobre la superficie del poliuretano. Los agentes ácidos son los que presentaron mejores resultados en cuanto a

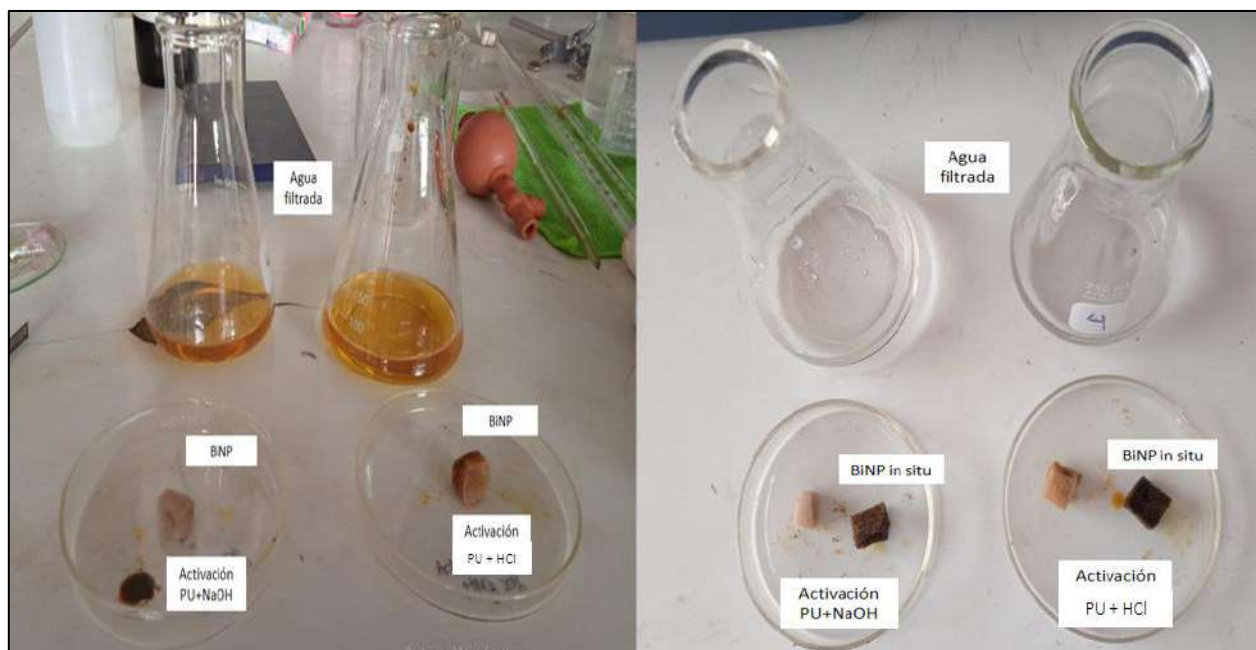
retención de nanopartículas; y de acuerdo a los datos recolectados se eligió el agente HCl 3M como el agente tratante para la obtención de los filtros prototipo.

4.5. Obtención de los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetálicas

En la figura 27 se muestran los resultados de una prueba de retención de nanopartículas en la superficie del poliuretano mediante dos métodos: un dopado simple y una síntesis *in situ* de nanopartículas, con los dos agentes tratantes que presentaron mejores resultados: hidróxido de sodio 3M y ácido clorhídrico 3M.

Figura 27

*Obtención de los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas mediante deposición y síntesis *in situ**



Nota: Dopado de nanopartículas sobre poliuretano (izquierda) y síntesis *in situ* de nanopartículas en poliuretano (derecha).

Como se observa en la primera gráfica mediante un dopado simple de las nanopartículas bimetálicas sobre las espumas de poliuretano activado no aseguran una adecuada retención de estas en su superficie. Al realizar un filtrado simple las espumas pierden el color brindado por las nanopartículas, transfiriéndose este a las aguas en las que se evidencia la presencia de plata. En la segunda gráfica se muestra los resultados de la obtención de los filtros mediante la síntesis de las nanopartículas *in situ*, es decir, sobre las espumas, para incrementar la deposición de los metales sobre la matriz escogida (Li

et al.,2022). Las espumas de poliuretano después del filtrado no presentaron decoloración, y las aguas obtenidas después del filtrado no evidenciaron presencia alguna de plata.

La formación de las nanopartículas de cobre se da sobre los centros activos del poliuretano, utilizando como reductor los grupos funcionales de este polímero y el extracto de té verde. La formación de las nanopartículas bimetálicas sigue el mismo principio; por lo que su estabilidad es mayor en comparación a un dopado simple de nanopartículas. Debido a los resultados mostrados se escogió la segunda técnica para la obtención de los filtros prototipo. La conservación del color en los filtros después de su paso por agua es un indicador de la deposición de nanopartículas en los centros activos del poliuretano, lo cual los hace ideales para su utilización en el tratamiento de aguas.

4.6. Caracterización espectroscópica de los filtros por Difracción de rayos X

Los resultados proporcionados por DRX consistieron en un conjunto de datos que fueron procesados en el software Origin, obteniendo un difractograma para cada filtro evaluado. Los difractogramas exhiben picos de intensidad asociados a los principales metales componentes de las nanopartículas bimetálicas, variantes según la concentración de sales precursoras utilizadas.

La tabla 11 muestra los resultados de los picos con mayor intensidad registrados para cada difractograma de la figura 29, junto a su posición angular, los cuales son relacionados según información bibliográfica a las intensidades características registradas para la plata, el cobre y sus derivados. La figura 28 muestra los patrones de difracción de rayos X de tres muestras de nanopartículas bimetálicas de cobre-plata en distintas concentraciones soportadas en poliuretano comercial. Tomando en cuenta que la concentración de la sal de plata varía según el tipo de filtro, podemos observar el efecto que este precursor presenta en la formación de las nanopartículas bimetálicas. Los tres filtros presentaron señales características de ambos metales por lo que se confirma que, en efecto, las nanopartículas fueron depositadas exitosamente sobre la superficie del soporte.

Tabla 11

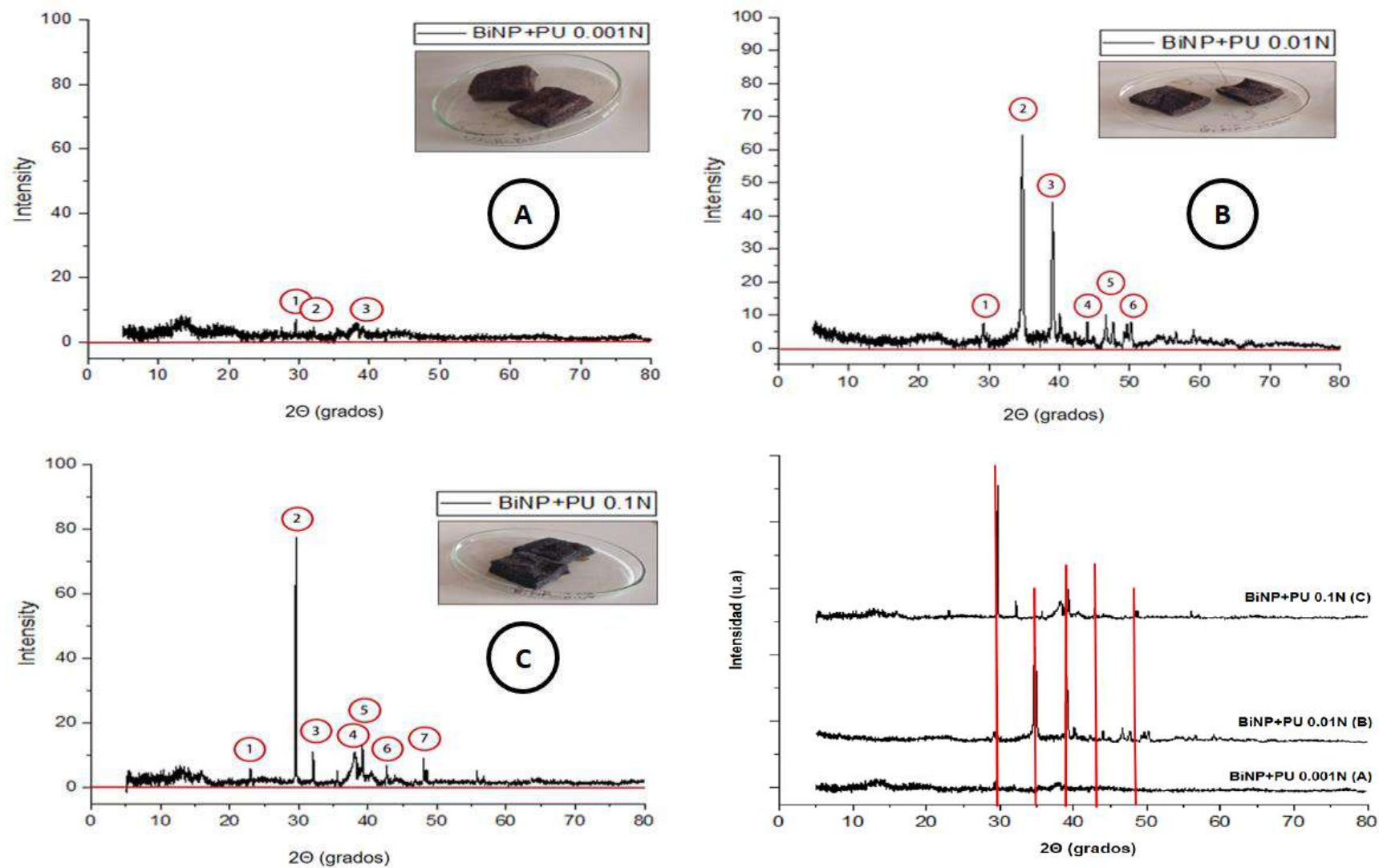
Picos de mayor intensidad en los difractogramas de rayos X de las muestras de los filtros prototipo.

Muestra	Pico	Posición angular 2θ	d_{hkl} (Å)	Intensidad Absoluta (mm)	Intensidad Relativa (%)
A	1	29,7332174	3,1885	7	100
A	2	32,8467617	2,9155	2	28,57142857
A	3	38,3149239	2,5507	6	85,71428571
B	1	29,7332174	3,109	8	10,66666667
B	2	34,7538076	2,705	75	100
B	3	39,0154713	2,449	53	70,66666667
B	4	43,9971422	2,2196	7	9,333333333
B	5	48,0058304	2,0745	9	12
B	6	50,2047711	2,0067	7	9,333333333
C	1	23,5678	3,8561	6	7,594936709
C	2	29,5775402	3,12357	79	100
C	3	32,0683756	2,9039	11	13,92405063
C	4	38,5095204	2,4762	11	13,92405063
C	5	39,1322292	2,4429	13	16,4556962
C	6	43,841465	2,2259	8	10,12658228
C	7	48,1031287	2,0713	10	12,65822785

Nota: La tabla presenta los picos con mayor intensidad de las tres muestras evaluadas, extraídas de los datos de los difractogramas, según los picos descritos en la figura 29.

Figura 28

Patrones de Difracción de Rayos X de las muestras de nanopartículas bimetálicas de cobre y plata soportadas en poliuretano.



Nota: La gráfica presenta los difractograma de los filtros prototipo obtenidos con tres concentraciones de plata (A, B y C). Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del equipo DRX y procesado en el software Origin.

En el difractograma A podemos observar una baja intensidad por parte de las señales por lo que los picos correspondientes a las nanopartículas metálicas no se visualizan con facilidad. Presenta una señal en $2\Theta=29.46^\circ$ correspondiente a plata metálica, más las señales de cobre no se visualizan por lo que se supone que esta concentración no ayuda a la estabilidad de las nanopartículas de cobre y/o las concentraciones son tan mínimas que no se visualiza su deposición en el soporte.

Se detectaron picos de difracción en B con señales en $2\Theta=34.75^\circ$, 39.064° , 42.55° , 44.73° y 50.20° . siendo de más alta intensidad las dos primeras. En este difractograma resaltan las señales correspondientes a fases secundarias de compuestos cúpricos, y en segundo lugar en intensidad las señales características de la plata metálica alrededor de los ángulos en $38,2^\circ$ y $44,2^\circ$. Vemos también la presencia de señales de cobre metálico, pero debido a su menor intensidad podemos concluir que las nanopartículas que se obtuvieron son, en su mayoría, nanopartículas de óxido de cobre-plata, además de que la plata no se aglomera alrededor de las nanopartículas de cobre, sino que forma nanocompuestos que permiten la utilización de las propiedades de ambos componentes. Los picos de difracción en el difractograma C aparecen en ángulos de $2\Theta=29.57^\circ$, 32.06° , 42.56° , 43.28° y 49.61° , que concuerdan con las señales de difracción de plata metálica y óxidos de cobre. La señal predominante en el difractograma es la de plata, superando a las señales obtenidas en los otros diagramas debido a la concentración más elevada de este metal al momento de sintetizar las nanopartículas. La intensidad de las fases de cobre es similar a las del difractograma B, por lo que podemos afirmar que no hubo demasiada diferencia en cuanto a la cantidad de nanocompuestos cúpricos entre estos dos filtros, más la señal de plata en este gráfico indica la probabilidad de que esta nanopartícula este recubriendo en su totalidad las nanopartículas de cobre, dificultando su visualización en el difractograma.

La cuarta gráfica presenta los difractogramas de los tres filtros prototipo. En el difractograma B podemos observar una mayor intensidad de señales alrededor de 35° y 39° que disminuyen considerablemente en la gráfica C, donde resalta con mayor intensidad la señal en los 29° . La estructura de las nanopartículas se conservó, aún

después de 8 semanas de su obtención y se pudo observar que la intensidad de los metales difiere aún cuando se utilizó la misma cantidad de sal precursora de cobre.

Los resultados hallados coinciden con lo descrito por Thirumoorthy et al. (2024), Malik et al. (2023) y Sánchez Ramírez (2021) en cuanto a las señales en 42.55° , 49.8° que son características de $\text{Cu}_{(111)}$ y $\text{Cu}_{(200)}$, respectivamente; y Thirumoorthy et al. (2024), Malik et al. (2023) y Changanáquí Barrientos et al. (2019) en intensidad de las señales características de la plata metálica alrededor de los ángulos en 38.2° y 44.2° correspondientes a la $\text{Ag}_{(111)}$ y $\text{Ag}_{(200)}$. Los resultados no coinciden a lo hallado por Marín Silva (2022) sobre los picos de intensidades presentados en las regiones menores a los $2\theta=35^\circ$, pues este autor no obtuvo intensidades en esta zona para ninguno de los metales. Thirumoorthy et al. (2024), Malik et al. (2023) y Marín Silva (2022) obtuvieron picos en regiones mayores a los 60° , correspondientes al $\text{Cu}_{(220)}$, $\text{Ag}_{(220)}$ y $\text{Ag}_{(311)}$, intensidades que no se pudieron observar en los difractogramas obtenidos.

Las gráficas obtenidas presentan picos de intensidad en la región de $30-60^\circ$ que según Marín Silva (2022) corresponde a la plata y el cobre, aunque la intensidad varía a lo descrito por el autor. La sal de plata ayudó a la estabilidad de las nanopartículas de cobre, por lo que al aumentar la concentración de plata se aumentó la intensidad de la señal medida (Calderón Herrera, 2022), así como la estabilidad del cobre, haciendo más visible estos picos en los difractogramas. Al igual que en el apartado anterior, podemos afirmar que un incremento de la sal de plata puede causar un recubrimiento idóneo de las nanopartículas de cobre, más un exceso puede ocasionar aglomeramiento y en este caso impide la visualización de otras señales en los difractogramas. En los difractogramas obtenidos se observó ruido que de acuerdo con Sánchez Ramírez (2021) y Thirumoorthy et al. (2024) se debe al recubrimiento orgánico utilizado al momento de la síntesis de los nanopartículas, en este caso los metabolitos secundarios existentes en el té verde por lo que la no aparición de picos en la región de los 60° puede atribuirse a una superposición de los reductores vegetales. Li et al (2022) indica que las posiciones de los picos no varían después de incorporar las nanopartículas metálicas, por lo que deduce que el método *in situ* de deposición de las nanopartículas minimizó la influencia de éstas sobre

la matriz de poliuretano o la matriz en si no presenta señales que interfieren con la lectura en el equipo de rayos X.

4.7. Determinación de actividad antibacteriana mediante el método de siembra en agar en las nanopartículas bimetálicas

La tabla 12 muestra los resultados de las pruebas antibacteriales de las nanopartículas bimetálicas frente a *E. coli*, utilizando como control las nanopartículas de cobre, que son la base para la obtención de las nanopartículas bimetálicas.

Tabla 12

Medición de los halos de inhibición (cm) generados por las nanopartículas frente a cepas de E. coli

AGENTE INHIBIDOR	MEDICIONES		
	1	2	3
Nanopartículas de cobre	0.5	1.0	0.7
Nanopartículas bimetálicas con concentración Ag 1mM (A)	2.3	1.7	1.8
Nanopartículas bimetálicas con concentración Ag 10Mm (B)	3.4	4.8	2.0
Nanopartículas bimetálicas con concentración Ag 100Mm (C)	2.2	3.0	2.6

Nota: La tabla presenta las mayores longitudes generadas por las nanopartículas de cobre y bimetálicas (líquidas) sobre el cultivo de *E. coli*.

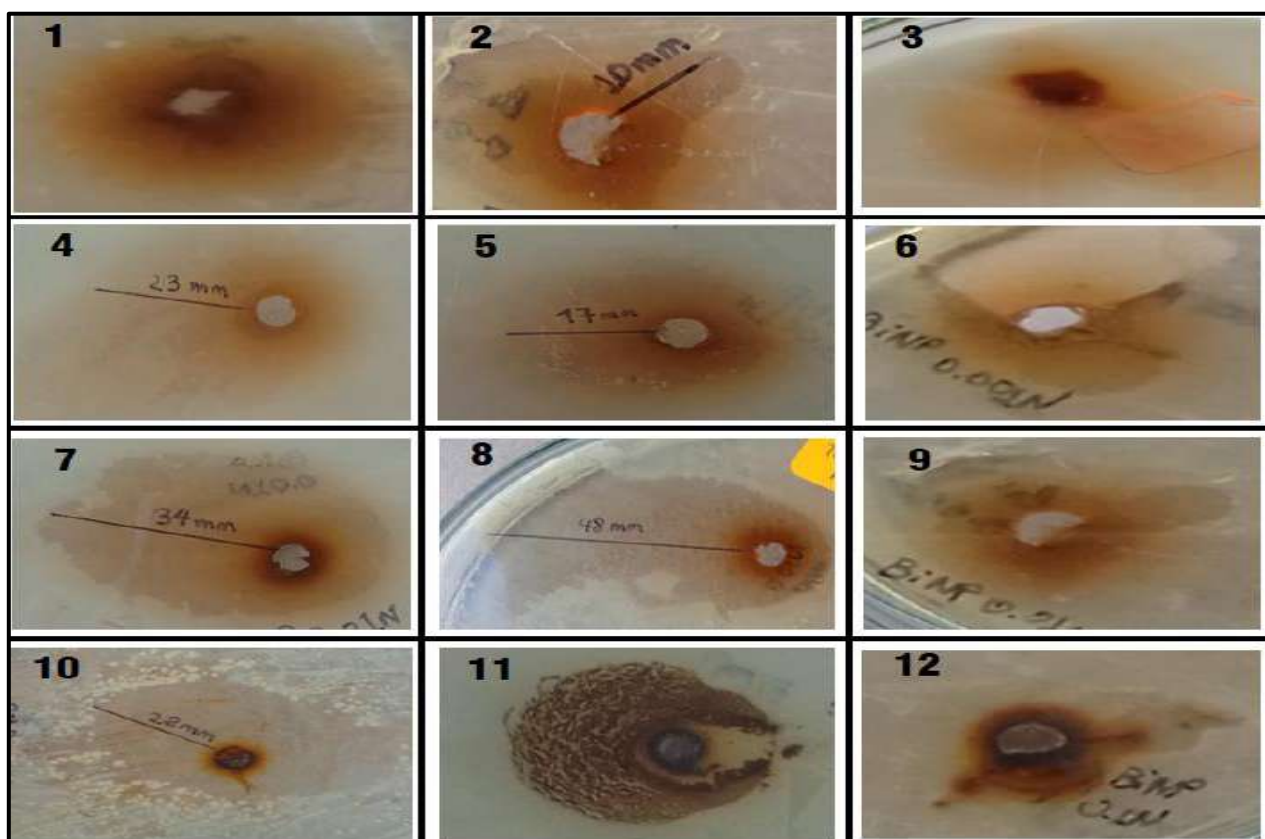
La figura 29 presenta los halos de inhibición (cm) de la bacteria *Escherichia coli* utilizando el método de siembra en agar para las nanopartículas de cobre y bimetálicas de cobre-plata, en donde la capacidad antibacteriana de las nanopartículas bimetálicas quedó probada por la aparición de zonas claras en el medio de cultivo inoculado.

Las nanopartículas de cobre no presentaron una actividad antibacterial marcada, aunque este hecho puede ser por el tiempo de envejecimiento de estas partículas, ya que

transcurridos tres días desde la síntesis tienden a desestabilizarse. Las nanopartículas bimetálicas en concentración de plata de 1 mM presentaron una actividad ligeramente mayor a la presentada por las nanopartículas de cobre, pudiéndose observar un cambio de coloración en los halos de inhibición. Contrario a esto, las nanopartículas bimetálicas de concentración de plata de 10 mM presentaron una clara zona de inhibición, en donde el impedimento del crecimiento bacteriano es evidente, al igual que las nanopartículas de concentración 100 mM, aunque estas presentaron menores halos de inhibición. Estas muestras siempre presentaron efecto antibacterial frente a *E. coli*, en especial las muestras de nanopartículas bimetálicas de concentración 10mM con un halo de inhibición mayor y las de 100mM pues la inhibición generó un halo de color más oscuro que indicaría una capacidad antibacterial mayor e incluso un efecto bactericida marcado, debido a la mayor cantidad de plata utilizada.

Figura 29

Halos de inhibición de las nanopartículas de cobre y bimetálicas frente a cepas de Escherichia coli.



Nota: Evaluación de actividad antibacterial de nanopartículas de cobre (1-3), nanopartículas bimetálicas a concentración de plata de 1mM (4-6), 10mM (7-9) y 100mM (10-12).

Los resultados hallados en cuanto a la capacidad antibacteriana de las nanopartículas de cobre muestran valores alrededor de 1 cm de diámetro, que no coinciden a lo encontrado en publicaciones similares. Rajeshkumar et al. (2019) y Li et al. (2022) mostraron elevados halos de inhibición para cobre, variable según la concentración de cobre utilizada al sintetizar las nanopartículas. Comparando los datos obtenidos con otras publicaciones pudimos observar que los halos de inhibición obtenidos en este experimento son menores, más esto puede ser atribuible al tiempo de envejecimiento de las muestras, pues al transcurrir más de tres días las nanopartículas empezaron a aglomerarse y por tanto el efecto antibacterial disminuyó.

Las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata mostraron halos de inhibición de hasta 50 mm para las nanopartículas bimetálicas en concentraciones de 10 mM. El-Rahman et al. (2022) encontró halos de inhibición para *E. coli* que varían entre 20-28 mm, a concentraciones de 10 mM de sal precursora de plata por lo que se presenta que al añadir sal de plata sobre las nanopartículas de cobre ya sintetizadas se logró la estabilidad del cobre por un tiempo más prolongado, y, en segundo lugar, se maximizaron las propiedades antibacteriales de las nanopartículas, pues en este estudio se reportan inhibiciones mayores a las halladas en las nanopartículas de cobre y de plata por separado. En concordancia con este hecho Fernández et al. (2020) obtuvo halos de inhibición de 3, 4 y 6 mm, que disminuían según aumentaba el tamaño de nanopartícula, indicando que a medida disminuye el tamaño de nanopartícula, se produce un mayor efecto inhibitorio. Sin embargo, sin hablamos de efecto bactericida los resultados hallados indican que, en cuanto a las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata, una mayor concentración de plata no necesariamente mejora la actividad antibacteriana ya que los mejores resultados presentaron una concentración similar de cobre y plata, garantizando un recubrimiento idóneo de las nanopartículas y optimizando su efecto antibacterial frente a *Escherichia coli*, un microorganismo comúnmente hallados en las aguas residuales.

Las muestras con concentraciones de plata de 1mM y las de cobre presentan efecto antibacterial que, aunque no es comparable a lo descrito por las otras muestras, son resultados bastante eficaces frente al microorganismo evaluado y son comparables entre sí. Se pudo observar que las muestras con concentraciones de plata de 10mM y 100mM

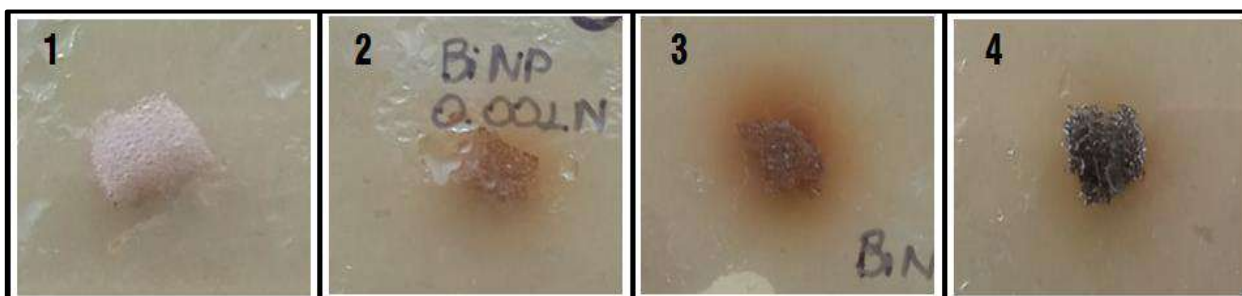
provocan un efecto similar, sobre la inhibición de las cepas de *E. coli*. Estos datos cobran mayor relevancia ya que la concentración de 10mM es la décima parte de la concentración de 100mM. Es decir, con una décima parte de la concentración de plata se obtuvo efectos similares o mejores de inhibición en cepas bacterianas de *E. coli*.

4.8. Determinación de actividad antibacteriana mediante el método de siembra en agar en los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas

La figura 30 muestra los resultados de las pruebas antibacteriales de los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas frente a *E. coli*, utilizando como control el soporte escogido, es decir, poliuretano que pasó por un proceso de activación.

Figura 30

Halos de inhibición de los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas frente a cepas de E. coli.



Nota: Evaluación de actividad antibacteriana de poliuretano comercial (1), poliuretano con nanopartículas a concentración de plata de 1mM (2), 10mM (3) y 100mM (4).

Las pruebas de capacidad antibacteriana realizada a los filtros prototipo frente a *E. coli* no mostraron ningún halo de inhibición sobre el agar en ninguna de las muestras puestas a incubación. Sin embargo, se observa que hubo una ligera inhibición de crecimiento bacteriano pues el color cambió por lo que la realización de una prueba de cuantificación bacteriana generaría mejores resultados en cuanto a la acción antibacteriana de los filtros. Los filtros frente a las cepas bacterianas de *E. coli* no mostraron inhibición alguna, más esto puede ser atribuible a la inmovilización de las nanopartículas sobre la superficie del soporte que limita su actividad antibacteriana. Esto coincide por lo descrito por Fernández et al. (2020) ya que en su investigación no se produjo inhibición alguna sobre el cultivo de *E. coli*; y presenta diferencias a lo hallado por Urdapilleta Inchaurregui (2020) que consiguió un halo de inhibición de 0.06 cm. Estos resultados indican que la prueba

no es la adecuada para evaluar la capacidad antibacteriana de los filtros; por tanto, los resultados donde se realice una interacción entre el filtro y los microorganismos contribuirán para saber la acción antibacteriana de cada filtro obtenido, especialmente en pruebas en donde existe una interacción directa y constante en toda la superficie de la matriz obtenida.

4.9. Cuantificación de actividad antibacteriana mediante la técnica por diluciones en tubo múltiple

La tabla 13 muestra los resultados proporcionados por el laboratorio Louis Pasteur referentes a coliformes termotolerantes, medidos en NMP/100mL. Debido a que los resultados anteriores no permitieron analizar la actividad antibacterial de los filtros se realizó una prueba de cuantificación bacteriana, que nos permitió observar el efecto producido por las nanopartículas bimetálicas soportadas en los filtros sobre microorganismos presentes en aguas residuales.

Tabla 13

Cuantificación de coliformes termotolerantes mediante técnica por dilución en tubos múltiples

Nº de experimento	Denominación	CT NMP/100mL	CT reducidos NMP/100mL	% Remoción
1	AGUA RESIDUAL	$54 \cdot 10^5$	-	-
2	A	$17 \cdot 10^4$	$52.3 \cdot 10^5$	96.8518
3	B	$39 \cdot 10^2$	$53.96 \cdot 10^5$	99.9277
4	C	$13 \cdot 10^4$	$52.7 \cdot 10^5$	97.5926

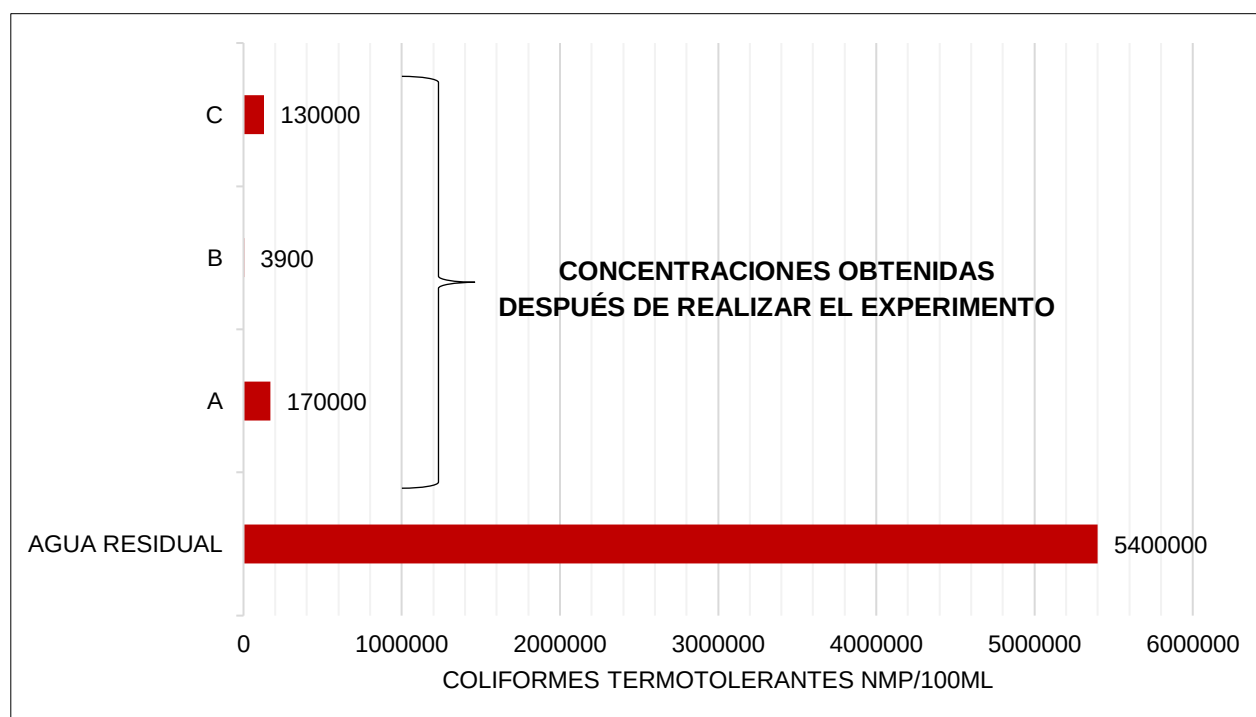
Fuente: Datos proporcionados por el laboratorio Louis Pasteur.

Mediante la técnica por Diluciones en Tubo múltiple se redujo considerablemente la cantidad de coliformes termotolerantes en las muestras de agua filtrada (figura 31). La

diferencia entre las concentraciones iniciales y finales es marcada; además de que el diseño del experimento permitió una interacción directa entre las aguas y los filtros obtenidos, observando que filtro produjo mejores resultados en cuanto a reducción de coliformes en comparación con los otros filtros.

Figura 31

Concentración de Coliformes Termotolerantes antes y después de la realización del experimento.



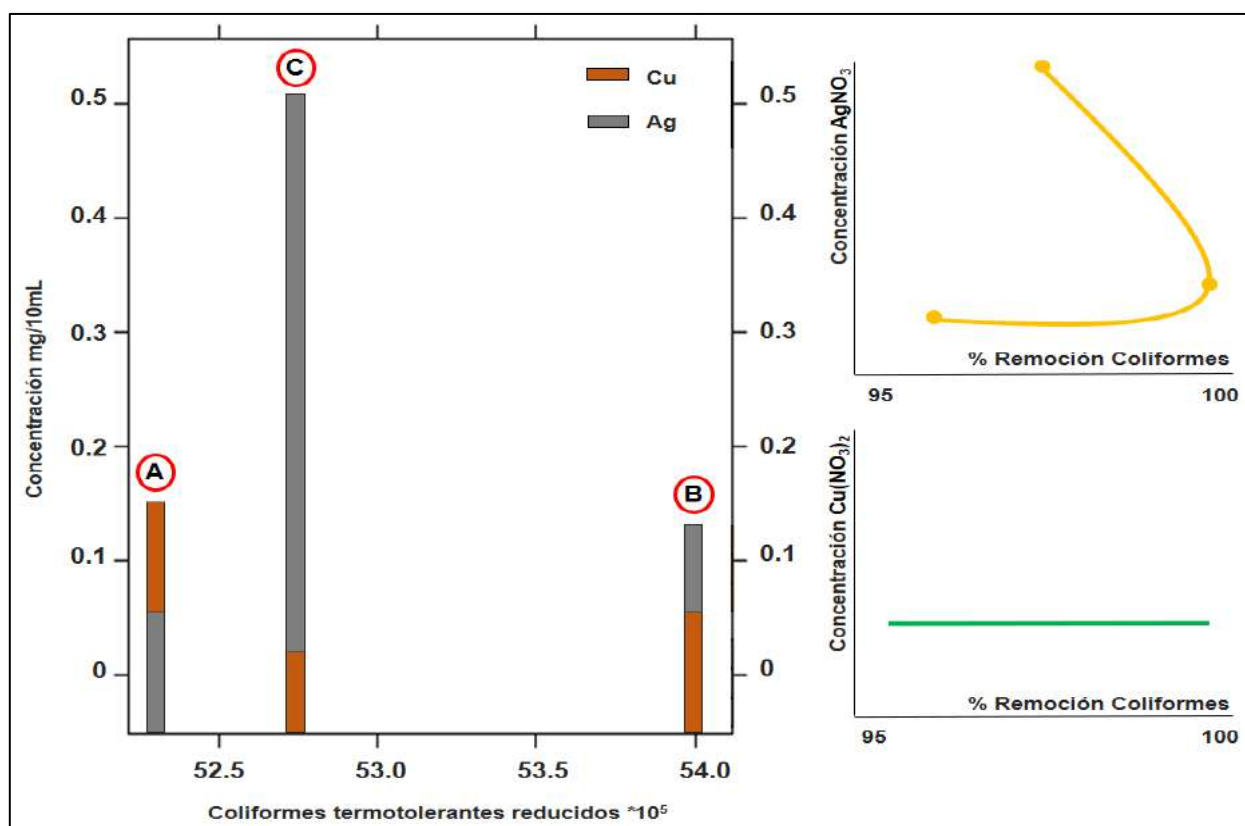
Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del Anexo 6.

Según la Autoridad Nacional del Agua, el límite máximo para los efluentes de Aguas Residuales Domésticas o Municipales en medición de Coliformes Termotolerantes es de 10 000 NMP/100mL y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM establece los LMP para cuerpos hídricos, en este caso el río Huatanay, no debe superar los 2000 NMP/100mL. Los valores iniciales del Agua Residual obtenida en este experimento no se encuentran dentro de los Límites establecidos por estándares de calidad de agua, superan en gran medida los exigidos por la ley y nos muestran un agua contaminada, no apta para su vertimiento en cuerpos hídricos sin un tratamiento adecuado. La tabla 13 muestra que ninguno de los experimentos, a pesar de que reducen considerablemente la cantidad de

Coliformes, cumplen los LMP establecidos por los reglamentos. Un propósito de la investigación era la comprobación de que si al reducir la concentración de la sal de plata y estabilizarla con el cobre, un metal con menor toxicidad, se obtendría un efecto bactericida similar. La figura 32 muestra el efecto de estos filtros. La gráfica de la izquierda muestra la relación de coliformes termotolerantes reducidos (tabla 16) y la concentración de plata y cobre en los filtros (tablas 8 y 9).

Figura 32

Relación entre la remoción de coliformes termotolerantes versus las concentraciones de cobre y plata en los filtros prototipo



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de la caracterización por Absorción Atómica y los resultados proporcionados por el laboratorio Louis Pasteur, especificados en el Anexo 5 y 6.

Podemos observar la reducción de los números de los coliformes termotolerantes según varía la concentración de las nanopartículas utilizadas en los filtros. Los resultados muestran porcentajes altos de remoción, independientes de la concentración de nanopartículas utilizada en cada filtro; aunque al observar las cifras el filtro B nos proporcionó números más bajos en cuanto a remoción de estos contaminantes. Los filtros

A y C presentan números similares, hecho a destacar ya que, aunque la concentración de cobre sea la misma la de plata es cien veces mayor en el C que en el A; sin embargo, su actividad bactericida es similar, y menor que la del filtro B, lo cual se observa en las gráficas de la derecha de la figura 32, que muestran la relación entre la concentración de sales precursoras en los filtros prototipo versus el porcentaje de remoción de coliformes. Se visualiza que al llegar a un punto el porcentaje de remoción alcanza un máximo, siendo este la concentración de AgNO_3 10 mM, para proceder a una disminución en porcentaje de efectividad a medida aumenta la concentración; mientras que la concentración de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ permanece constante en las tres muestras y por tanto no influye en la remoción, aunque si en la estabilidad de las nanopartículas bimetálicas. Se atribuye este hecho a la eficiencia de las propiedades de las nanopartículas bimetálicas, ya que también fue el filtro B el que presentó mejores resultados en las demás caracterizaciones realizadas en esta investigación. Con esta información podemos afirmar que la utilización de cobre y plata para obtener filtros incrementa el efecto bactericida de los metales utilizados, además de que el tener menos concentración de plata se reduce el efecto tóxico que estas producen, posibilitando su uso en la remediación de aguas.

Los resultados obtenidos, al igual que Calderón Herrera (2022) presentaron un efecto antibacterial de casi el 90% utilizando nanopartículas sobre una matriz activada. El cobre, recubierto por plata metálica, presentó alta acción antibacterial incluso a concentraciones menores comparable al de la plata sola, por lo que la reducción notable de la cantidad de coliformes termotolerantes demuestra la efectividad de los filtros obtenidos. Las cantidades de Coliformes Termotolerantes obtenidas en este experimento no concuerdan con lo reportado por Díaz Bayuelo & Soler Cediell (2021) y Mogollón Cortez & Veloz Chipre (2021). En ambos casos el porcentaje de remoción fue menor a lo reportado por la presente investigación por lo que se afirma que el potencial de estos filtros y de las nanopartículas bimetálicas es mayor a la utilización de nanopartículas simples.

Mogollón Cortez & Veloz Chipre (2021) afirman que, mediante la aplicación directa de nanopartículas de plata se logró una eficiencia mayor al 50% en cuanto a remoción de estos contaminantes. El problema con la agregación directa de nanopartículas sobre

medios contaminados es la pérdida de la efectividad de estas después de un tiempo determinado, además que se dificulta su recuperación una vez depositadas, además de la contaminación generada a cuerpos de agua (Xu et al., 2023). Este problema se soluciona al soportar las nanopartículas en una matriz, facilitando su recuperación y reduciendo la contaminación en los medios en los que se aplique. Al analizar estas investigaciones podemos inferir que la reducción de microorganismos como los Coliformes Termotolerantes dependen en gran medida de la deposición de los agentes inhibidores sobre el soporte. Al haber obtenido un soporte con mayor área superficial y que facilite su interacción con medios contaminados como en la presente investigación se pudo obtener unos filtros con elevada capacidad antibacteriana, efectivos frente a microorganismos como el género de los coliformes termotolerantes, presentes en gran medida en las aguas residuales, por lo que el potencial del uso de filtros con nanopartículas bimetálicas para la remediación de aguas residuales queda ampliamente recomendado.

CONCLUSIONES

Se logró obtener los filtros prototipo de poliuretano dopados con nanopartículas bimetálicas de cobre y plata, aplicando el procedimiento de síntesis de las nanopartículas sobre el soporte activado elegido (poliuretano comercial), y se evaluó su impacto en el tratamiento de aguas residuales, frente a microorganismos comúnmente hallados en estas, donde los resultados obtenidos presentan la eficiencia de los filtros en procesos de purificación de aguas residuales domésticas contaminadas.

Se llegó a sintetizar las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata, a partir de sales precursoras de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ y AgNO_3 y extracto hidroetanólico de té verde. La caracterización se llevó a cabo mediante métodos espectroscópicos como el UV-visible y Absorción Atómica de llama; obteniendo en el rango UV-visible señales características al cobre en 550 y 700 nm y características a la plata en 430 nm; y en Absorción Atómica una disminución de las señales de los compuestos cúpricos a medida incrementaba la concentración de plata, por lo que se concluye que debido a que la señal de la plata se superpone a la del cobre en la lectura de los equipos se evidencia un recubrimiento y por tanto la formación de nanopartículas bimetálicas núcleo-coraza..

Las nanopartículas obtenidas fueron soportadas exitosamente sobre la matriz elegida, poliuretano comercial. La caracterización se realizó mediante Difracción de Rayos X, en donde los filtros presentaron señales en ángulos de 29.57° , 32.06° , 42.56° , 43.28° y 49.61° , concordantes con las señales de difracción de la plata y cobre metálico. En las gráficas también se pudo observar el impacto que genera la adición de plata sobre los nanocompuestos pues esta se superpone a las otras intensidades halladas, además de las interferencias generadas en la lectura por el extracto vegetal; sin embargo, se lograron identificar los componentes elementales de las nanopartículas bimetálicas, afirmándose la deposición exitosa de estas sobre la superficie del poliuretano. El soporte de poliuretano ayudó a la conservación de la estabilidad y las propiedades de las nanopartículas, incluso después de semanas de su obtención; haciéndolo una matriz idónea para soporte de nanocompuestos.

Se evaluó la capacidad antibacteriana de los filtros de poliuretano, primero frente a cepas de *Escherichia coli* en donde las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata obtuvieron halos de inhibición de un promedio de 1.7 – 4.8 cm, dependiendo de la concentración de plata precursora. Los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas fueron evaluados frente a aguas residuales domésticas contaminadas pertenecientes a un cuerpo de agua de la ciudad del Cusco. Al soportar las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata con probada actividad antibacteriana en una matriz porosa y flexible como es el poliuretano, se logró disminuir la cantidad de Coliformes Termotolerantes presentes en las muestras de agua, obteniendo un porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes en cada filtro del 96, 99 y 97%, afirmando la efectividad de los filtros sintetizados en la remoción de microorganismos presentes en aguas residuales. Por consiguiente, se concluye que estos filtros son una viable alternativa para la remediación de aguas residuales, especialmente en zonas donde existe escasez de insumos para la purificación de agua de consumo.

SUGERENCIAS

Al gobierno regional y a los gobiernos locales de la región Cusco se sugiere el monitoreo constante de los recursos hídricos de la región y establecer políticas para el tratamiento de aguas antes de su vertimiento en los cuerpos de agua. Se hace énfasis en la búsqueda de alternativas para implementar sistemas de tratamiento de aguas en zonas alejadas, independientes de insumos químicos de difícil acceso. El uso de estos filtros deberá presentarse como una alternativa al procedimiento de cloración de aguas, en especial en zonas rurales donde la implementación de estos procedimientos es complicada. Además, se recomienda la utilización de estos filtros junto a otros procedimientos de tratamiento primario y secundario de aguas, para mayor efectividad en la obtención de aguas limpias.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco se recomienda incentivar el desarrollo de investigaciones dirigidas a solucionar problemas actuales mediante convenios con diversas instituciones ambientales, brindando mayor financiamiento a actividades de investigación, en busca de su publicación en revistas internacionales. Asimismo, se recomienda la implementación de laboratorios de análisis e investigación, incentivando la realización de estudios aplicados.

A la Escuela Profesional de Química se recomienda brindar apoyo logístico para la realización de los trabajos de tesis, así como la búsqueda de colaboraciones con otras Escuelas Profesionales para realizar investigaciones más completas, realizadas por grupos de especialistas. También se invita la comprobación de la efectividad de los filtros obtenidos sobre la remoción de otros contaminantes como sulfatos, nitritos, metales pesados y otros tipos de microorganismos para saber si es factible su aplicación en zonas cercanas a aguas residuales industriales o mineras de la región.

A otros investigadores se recomienda la evaluación de otros parámetros al momento de sintetizar dos o más nanopartículas metálicas en un soporte, pues su combinación mejora en demasía sus propiedades, hecho comprobado en esta investigación con las propiedades antibacteriales de las nanopartículas bimetálicas de cobre y plata. Además, incrementar un análisis elemental de los nanomateriales obtenidos, mediante técnicas

espectroscópicas como el EDX, FRX, SEM o TEM, sería ideal para conocer la composición y forma de los materiales depositados en la matriz elegida y así mejorar y hacer más eficaz el procedimiento de obtención de estos filtros. La utilización de otros agentes reductores para la síntesis de nanocompuestos presenta alternativas para la obtención de diferentes materiales metálicos con amplia actividad antimicrobiana, por lo que se sugiere realizar investigaciones que optimicen el uso de nanomateriales en la remediación de medios contaminados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdo, M. M., Abdel-Hamid, M. I., El-Sherbiny, I. M., El-Sherbeny, G., & Abdel-Aal, E. I. (2023). Síntesis verde de AgNP, microperlas de alginato y microperlas de alginato cargadas de *Chlorella minutissima* para el tratamiento terciario de aguas residuales municipales. *Bioresource Technology Reports*, 21, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101300>
- Ali, F., Akbar, S., Sillanpaa, M., Younas, U., Ashraf, A., Pervaiz, M., Kausar, R., Ahmad, I., Alothman, A. A., & Ouladsmame, M. (2023). Recyclable Cu–Ag bimetallic nanocatalyst for radical scavenging, dyes removal and antimicrobial applications. *Chemosphere*, 313, 137321. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137321>
- Álvarez Bayona, R. A. (2019). *Modelación, síntesis y caracterización de nanopartículas bimetálicas*. ÁLVAREZ BAYONA, RAMÓN ALEXIS. <http://repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/7827>
- Balvín Beltrán, R. A., Zea Álvarez, J. L., Vera Gonzales, C., De Los Santos Valladares, L., Talavera Núñez, M. E., Balvín Beltrán, R. A., Zea Álvarez, J. L., Vera Gonzales, C., De Los Santos Valladares, L., & Talavera Núñez, M. E. (2020). Funcionalización del gel de polisiloxano con nanopartículas de plata y su caracterización. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(2), 175-191. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i2.287>
- Calderón Herrera, A. (2022). *Estudio de la inhibición de bacterias gramnegativas con nanopartículas de plata soportadas en zeolita clinoptilolita: Caso agua del efluente parque Benito Juárez*. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/8267
- Cappadona, V. (2022). *Can wastewater treatment plants cope with future nanoparticle loading scenarios?* 10.48730/b2d9-2a23
- Changanaquí Barrientos, K., Alvarado Iparraguirre, D., & Alarcon Cavero, H. (2019). Síntesis y caracterización de nanocompuestos Fe₃O₄/Ag: Su efecto contra *Enterobacter aerogenes* y *Enterococcus faecalis*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042019000200033
- Chávez-Lizárraga, G. A. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-61.
- Conde Rueda, R. (2020). *Síntesis y caracterización de nanopartículas bimetálicas, Au-Co, para la preparación de catalizadores activos en procesos de interés medioambiental*. <https://idus.us.es/handle/11441/105046>
- Díaz Bayuelo, P. A., & Soler Cediel, N. (2021). *Evaluación de un sistema de filtración para el tratamiento de agua cruda utilizando cascarilla de café modificada con nanopartículas de plata*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3661944>
- Díaz Panea, F. J. (2022). *Degradación del poliuretano y aplicaciones biotecnológicas como solución ambiental*. <https://idus.us.es/handle/11441/143623>
- Echevarría Muñoz, J. M. (2021). Síntesis y caracterización de compósitos a base de resina de poliéster insaturado con micropartículas de cobre y cobre@plata (Cu@Ag) para ser aplicados potencialmente en la industria plástica como aditivo antibacterial. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3060381>
- El-Rahman, N. R. A., Bekhit, M., & Fekry, M. (2022a). Fabrication and evaluation of polyurethane cationic surfactants, and their potential on silver nanoparticles stability, surface activity, and biological activity. *Egyptian Journal of Petroleum*, 31(4), 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2022.09.002>
- El-Rahman, N. R. A., Bekhit, M., & Fekry, M. (2022b). Fabrication and evaluation of polyurethane cationic surfactants, and their potential on silver nanoparticles stability, surface activity, and biological activity. *Egyptian Journal of Petroleum*, 31(4), 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2022.09.002>
- Falcón, B., & Falcón-Guerrero, R. (2024). Fitoquímica de la *Camellia sinensis* o té verde. *Kiru*, 21, 71-76. <https://doi.org/10.24265/kiru.2024.v21n2.04>

- Fernández, M. G. V., Andrade, J. E. C., Cerritos, R. C., Carmen, M. D., Hernández, S., Espinosa, J. C. M., & Miranda, J. M. M. (2020). MATERIAL DE CÁSCARA DE NUEZ DE MACADAMIA Y POLIURETANO CON ACTIVIDAD BACTERICIDA CONFERIDA POR NANOPARTÍCULAS DE PLATA. *Miscelánea Científica en México, Tomo VI*, 336-344.
- Guyer, J. P. (2019). *Una Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. Guyer Partners.
- Hao, Z., Wang, M., Cheng, L., Si, M., Feng, Z., & Feng, Z. (2024). Synergistic antibacterial mechanism of silver-copper bimetallic nanoparticles. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1337543>
- Heidari, H., Teimuri, F., & Ahmadi, A.-R. (2022). Nanocellulose-based aerogels decorated with Ag, CuO and ZnO nanoparticles: Synthesis, characterization and the antibacterial activity. *Polyhedron*, 213, 115629. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2021.115629>
- Hormaiztegui, M. E., Pardini, O. R., Amalvy, J. I., Ollier, R. P., & Álvarez, V. A. (2022). EFECTO DEL MÉTODO DE INCORPORACIÓN DE NANOARCILLAS EN UN POLIURETANO DE BASE ACUOSA. *Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia IDETEC 2022*, 92.
- Jatoi, A. W. (2020). Polyurethane nanofibers incorporated with ZnAg composite nanoparticles for antibacterial wound dressing applications. *Composites Communications*, 19, 103-107. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.03.004>
- Le, Y., Zhou, F., Yang, L., Zhu, Y., & Yang, D. (2024). Enhanced Antimicrobial Activity of AgCu Nanoparticles: The Role of Particle Size and Alloy Composition. *Molecules*, 29(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/molecules29133027>
- Li, C., Ye, H., Ge, S., Yao, Y., Ashok, B., Hariram, N., Liu, H., Tian, H., He, Y., Guo, G., & Rajulu, A. V. (2022a). Fabricación y propiedades de espumas de poliuretano nanocompuestas flexibles antimicrobianas con nanopartículas de cobre generadas *in situ*. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 3603-3615. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.115>
- Li, C., Ye, H., Ge, S., Yao, Y., Ashok, B., Hariram, N., Liu, H., Tian, H., He, Y., Guo, G., & Rajulu, A. V. (2022b). Fabrication and properties of antimicrobial flexible nanocomposite polyurethane foams with *in situ* generated copper nanoparticles. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 3603-3615. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.115>
- Malik, M. A., Albeladi, S. S., Al-Maaqar, S. M., Alshehri, A. A., Al-Thabaiti, S. A., Khan, I., & Kamli, M. R. (2023). Biosynthesis of Novel Ag-Cu Bimetallic Nanoparticles from Leaf Extract of *Salvia officinalis* and Their Antibacterial Activity. *Life*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/life13030653>
- Marín Silva, D. A. (2022). *Funcionalización de matrices a base de polímeros biodegradables mediante incorporación de nanopartículas* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/134869>
- Mogollón Cortez, G. F., & Veloz Chipre, X. V. (2021). *Síntesis de nanopartículas de plata utilizando hojas de Petiveria Alliacea L. (Anamú) y su aplicación en tratamiento de aguas* [bachelorThesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/57487>
- Pacco Yuca, H., & Hurtado Ojeda, L. H. (2020). *Síntesis, caracterización y escalamiento por el método similitud en la obtención de nano partículas de óxido de cobre*. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/1768ae7a-a2a8-43cc-b3c2-b952cbb06c6b>
- Quispe Pérez, M. L., Piñas Rivera, L. C., Del Valle González, J. R., & Aguirre Chávez, F. (2020). Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. *FlacsoAndes*. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/152391-opac>
- Quispe Vilca, D. P. (2021). *Uso de nanopartículas en la purificación de aguas. Revisión sistemática 2021*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65417>

- Rajeshkumar, S., Menon, S., Venkat Kumar, S., Tambuwala, M. M., Bakshi, H. A., Mehta, M., Satija, S., Gupta, G., Chellappan, D. K., Thangavelu, L., & Dua, K. (2019). Potencial antibacteriano y antioxidante de nanopartículas de cobre biosintetizadas mediadas por extracto de planta de *Cissus arnotiana*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 197, 111531. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111531>
- Ramvalho, R. S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales: Vol. Vol.1*. Reverte.
- Salhuana, A. D. (2022). EL SECTOR SANEAMIENTO | REVISTA GOBIERNO Y GESTIÓN PÚBLICA. *Revista Gobierno y Gestión Pública*, Vol. 9(Núm. 2). <https://revistagobiernoygestionpublica.usmp.edu.pe/index.php/RGGP/article/view/281>
- Sánchez Ramírez, L. I. (2021). *Nanopartículas Cu y CuO/Cu₂O mediadas por extracto de Larrea tridentata y su potencial en la remediación de agua y como antimicrobiano* [masterThesis, Tesis (M.C.)--Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Saltillo]. <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/3813>
- Savelyev, Y., Gonchar, A., Movchan, B., Gornostay, A., Vozianov, S., Rudenko, A., Rozhnova, R., & Travinskaya, T. (2017). Antibacterial polyurethane materials with silver and copper nanoparticles. *Materials Today: Proceedings*, 4(1), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.196>
- Sutradhar, P., Saha, M., & Maiti, D. (2014). Microwave synthesis of copper oxide nanoparticles using tea leaf and coffee powder extracts and its antibacterial activity. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 4(1), 86. <https://doi.org/10.1007/s40097-014-0086-1>
- Thirumoorthy, G., Balasubramanian, B., George, J. A., Nizam, A., Nagella, P., Srinatha, N., Pappuswamy, M., Alanazi, A. M., Meyyazhagan, A., Rengasamy, K. R. R., & Lakshmaiah, V. V. (2024). Phytofabricated bimetallic synthesis of silver-copper nanoparticles using *Aerva lanata* extract to evaluate their potential cytotoxic and antimicrobial activities. *Scientific Reports*, 14(1), 1270. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51647-x>
- Thomas, A., Babu, H., & Shanmugam, R. (2022). Evaluation of cytotoxic and antioxidant properties of copper nanoparticles using green tea and neem formulation: An in-vitro study. *International journal of health sciences*, 773-780. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS8.11568>
- Urdapilleta Inchaurregui, V. (2020). *Diseño y evaluación de filtro purificador de agua a partir de nanopartículas manufacturadas, nanopartículas del suelo y materiales reciclados* [doctoralThesis, Tesis (D.C.)--Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Programa Multidisciplinario de Nanociencias y Nanotecnología]. <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/3489>
- Vejar Gereda, A. G. (2020). Estudio de los métodos de desinfección alternativos a la cloración para la eliminación de microorganismos patógenos en el tratamiento de agua para consumo humano. *Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenieras y Arquitectura*. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5331>
- Wang, C., Zhang, J., Chen, J., Shi, J., Zhao, Y., He, M., & Ding, L. (2022). Bio-polyols based waterborne polyurethane coatings reinforced with chitosan-modified ZnO nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 208, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.066>
- Xu, M., Luo, H., Rong, H., Wu, S., Zheng, Z., & Chen, B. (2023). Calcium alginate gels-functionalized polyurethane foam decorated with silver nanoparticles as an antibacterial agent for point-of-use water disinfection. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231, 123289. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123289>
- Yusuf, A., Al Jitan, S., Garlisi, C., & Palmisano, G. (2021). A review of recent and emerging antimicrobial nanomaterials in wastewater treatment applications. *Chemosphere*, 278, 130440. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130440>
- Zhao, J., Wang, X., Hoang, S. A., Bolan, N. S., Kirkham, M. B., Liu, J., Xia, X., & Li, Y. (2021). Silver nanoparticles in aquatic sediments: Occurrence, chemical transformations, toxicity, and analytical methods. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126368. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126368>

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE TESIS: “OBTENCIÓN DE FILTROS PROTOTIPO DOPADOS CON NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. CUSCO: 2023-2024”

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO METODOLÓGICO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE: CONCENTRACIONES DE COBRE Y PLATA EN FILTROS PROTOTIPO VARIABLE DEPENDIENTE: CAPACIDAD ANTIBACTERIANA	PARÁMETROS DE SÍNTESIS	- Sales precursoras - PH - Activación del soporte	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Explicativa-correlacional ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: Cuantitativo DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Experimental MUESTREO: Aleatorio: Aguas residuales TÉCNICAS: Experimentación y análisis de datos INSTRUMENTOS: Fichas de recolección de datos Ensayos de laboratorio Software estadístico
¿Es factible la obtención de filtros de poliuretano dopados con Cu-AgNP para el tratamiento de aguas residuales?	Obtener filtros de poliuretano dopados con Cu-AgNP para el tratamiento de aguas residuales.	Es factible la obtención de los filtros de poliuretano dopados con Cu-AgNP para el tratamiento de aguas residuales.		CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA	- UV-visible - Absorción Atómica - DRX	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		MÉTODO DE SIEMBRA EN AGAR	Halos de inhibición	
¿Cuáles son las condiciones óptimas para la obtención de Cu-AgNP?	Sintetizar Cu-AgNP y caracterizarlas mediante métodos espectroscópicos.	Es factible la síntesis y caracterización de las Cu-AgNP.				
¿Es factible la obtención de los filtros prototipo de poliuretano dopados con Cu-AgNP?	Obtener y caracterizar filtros prototipo de poliuretano dopados con Cu-AgNP.	Es factible la obtención de los filtros prototipo de poliuretano dopados con Cu-AgNP.		TÉCNICA NMP	% CT reducidos	
¿Qué efecto producirán las nanopartículas bimetalicas y filtros prototipo sobre la carga bacteriana de aguas residuales?	Evaluar la capacidad antibacteriana de las nanopartículas bimetalicas y filtros prototipo en aguas residuales.	Los filtros prototipo dopados con nanopartículas bimetalicas reducen la carga bacteriana presente en aguas residuales.				

ANEXO 2

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE PROYECTO DE TESIS: “OBTENCIÓN DE FILTROS PROTOTIPO DOPADOS CON NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CUSCO: 2023-2024”

Nº	ACTIVIDADES	2023					2024												
		A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1	Aprobación de Protocolo de Tesis																		
2	Inicio de Proyecto de Tesis																		
3	Pruebas experimentales																		
4	Realización ensayos de laboratorio																		
5	Construcción de instrumentos para toma de muestras																		
6	Análisis en laboratorio																		
7	Análisis de datos																		
8	Redacción del primer borrador																		
9	Aprobación de Apto al Título																		
10	Redacción del informe final																		
11	Asignación Dictaminantes																		
12	Aprobación del informe final																		
13	Determinación de hora y fecha																		
14	Sustentación																		

ANEXO 3

FIGURA N°33. OBTENCIÓN DEL EXTRACTO VEGETAL



A. Secado de las hojas de la planta



B. Triturado y pesado



C. Preparación del extracto de té verde



D. Maceración

FIGURA N°34. BIOSÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS



A. Preparación de las nanopartículas de cobre





B. Preparación de las nanopartículas bimetálicas de cobre-plata

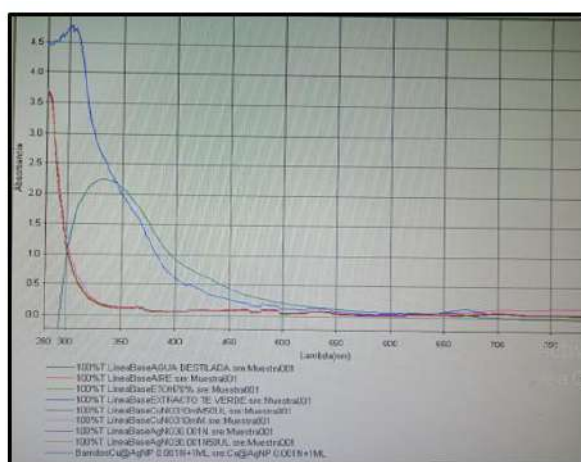
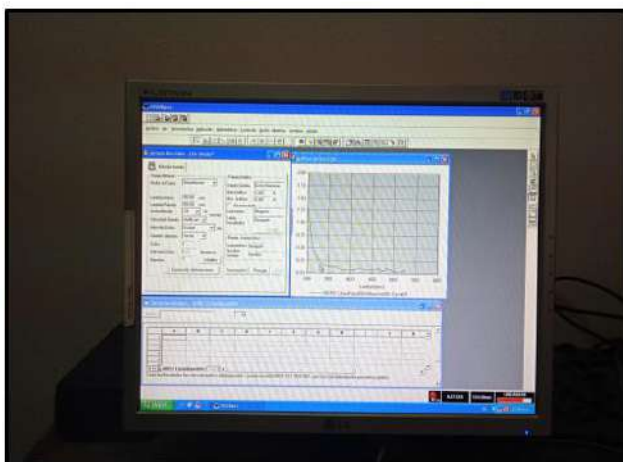
FIGURA N°35. CARACTERIZACIÓN POR UV-VISIBLE



A. Preparación de las muestras



B. Equipo de espectroscopía UV-visible



C. Lectura de las muestras en el equipo

FIGURA N°36. CARACTERIZACIÓN POR ABSORCIÓN ATÓMICA



A. Preparación de las muestras

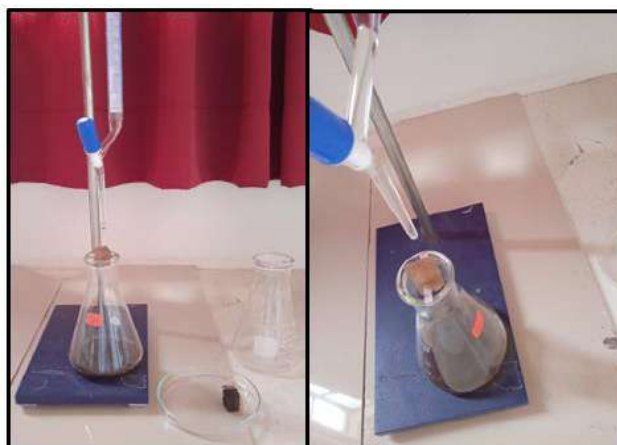


B. Curva patrón



C. Equipo de Absorción Atómica

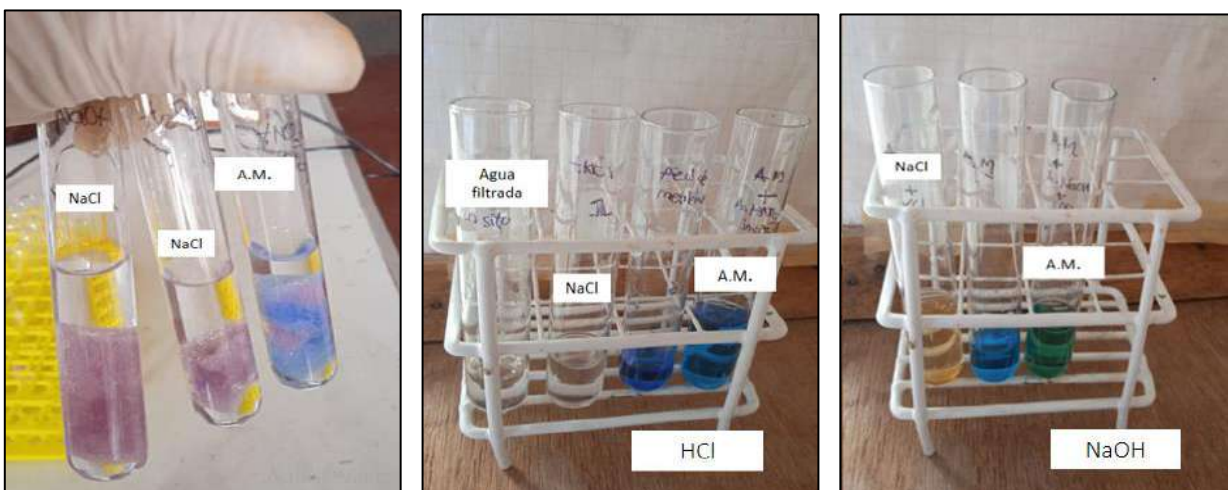
FIGURA N°37. ACTIVACIÓN DEL SOPORTE DE POLIURETANO



A. Prueba de retención de nanopartículas



B. Activación del Poliuretano



C. Evaluación de presencia de plata en los filtros de poliuretano

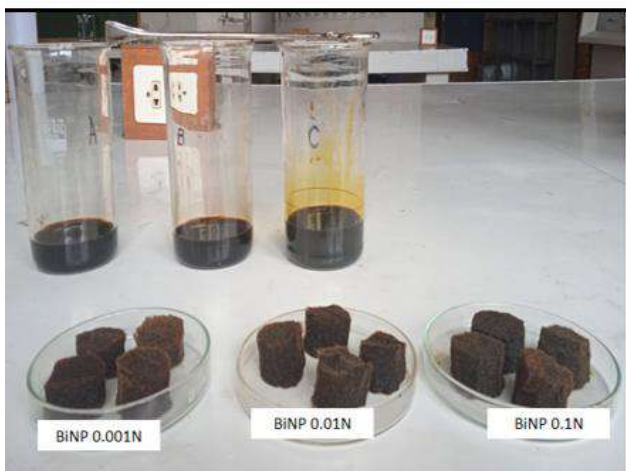
FIGURA N° 38. OBTENCIÓN DE LOS FILTROS PROTOTIPO



A. Síntesis in situ de las nanopartículas de cobre



B. Síntesis in situ de las nanopartículas bimetálicas



D. Obtención de los filtros dopados con nanopartículas bimetálicas

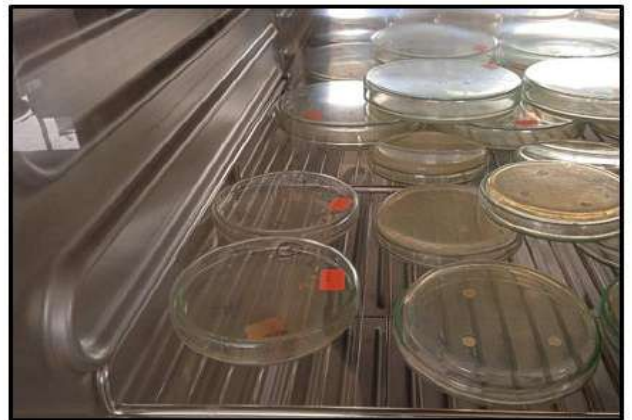
FIGURA N°39. DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA MEDIANTE EL MÉTODO DE SIEMBRA EN AGAR



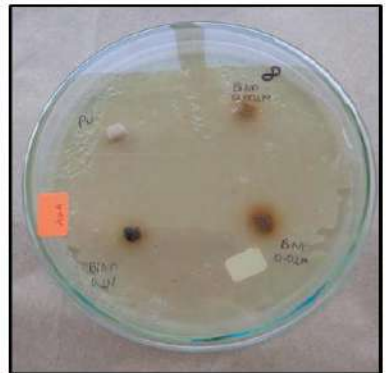
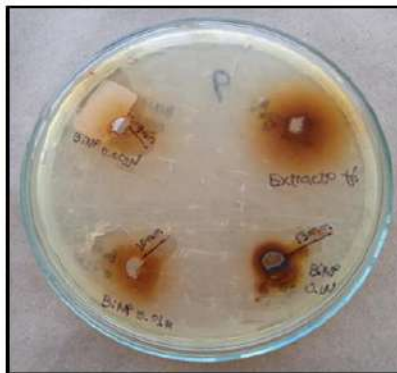
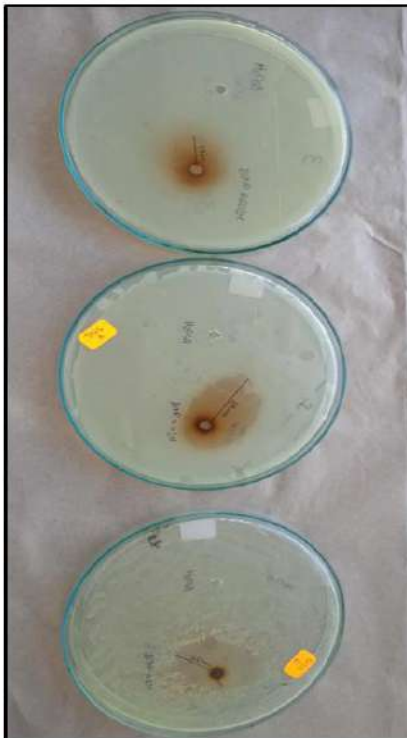
A. Preparación de los agares



B. Sembrado de la muestra de *E. coli* en tubos BHI



C. Sembrado de la muestra de *E. coli* en agar Müller-Hilton



D. Halos de inhibición de las muestras obtenidas

FIGURA N°40. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

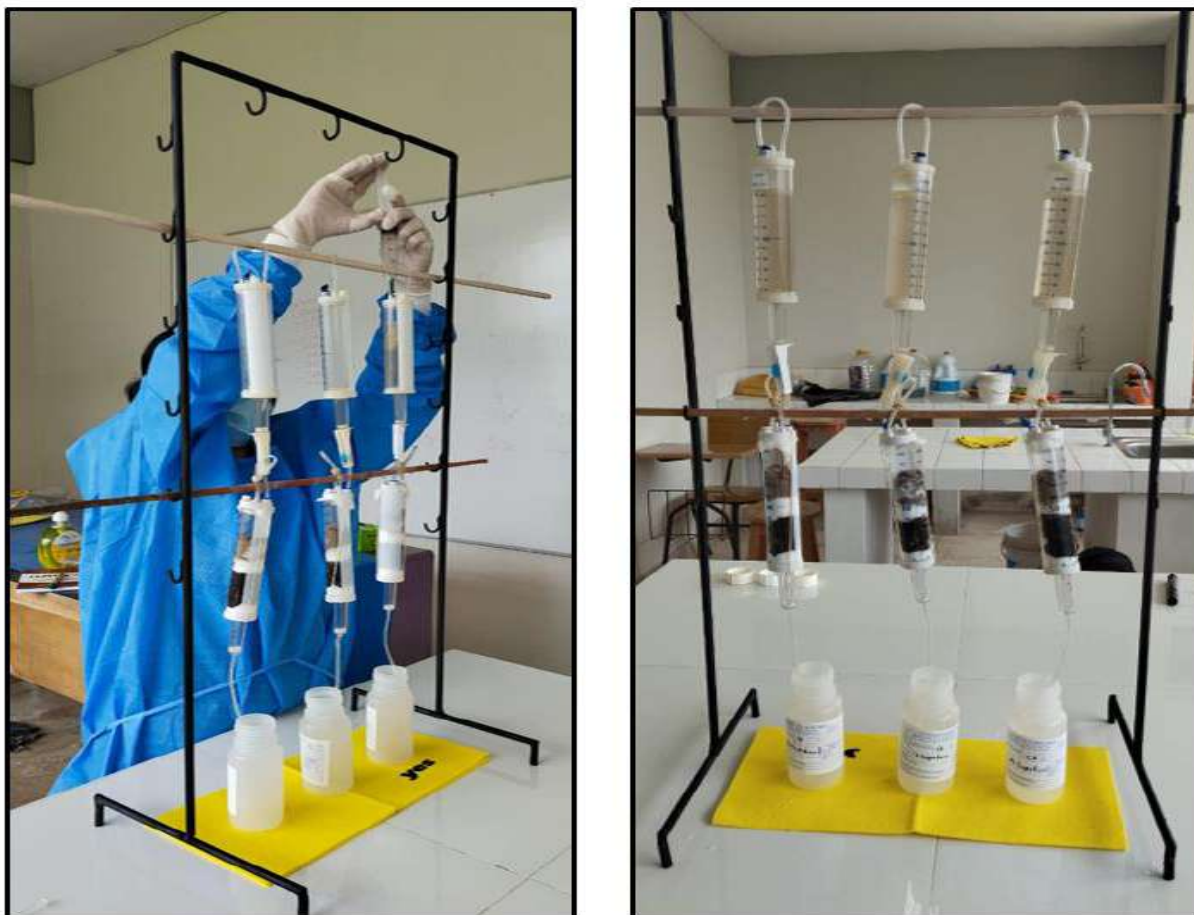


A. Localización del punto de muestreo para recolección de aguas residuales



B. Recolección de muestras de aguas residuales

FIGURA N°41. ARMADO DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN PARA LA CUANTIFICACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA



A. Armado del sistema de filtración



B. Recolección de muestras de agua tratada

ANEXO 4

RESULTADOS DE ESPECTROSCOPIA UV-VISIBLE

CONTROL UV-VISIBLE DE LOS SPR DE LAS NANOPARTÍCULAS DE COBRE

CONTROL UV-VIS							
N°	pH	[CuNO ₃] mM	Dilución	Día 1		Día 3	
				Absorbancia	Longitud de onda (nm)	Absorbancia	Longitud de onda (nm)
1	10	10	5%	0.142/0.08	400/670	0.25	430
2	10	15	5%	0.097/0.07	400/510	0.14	430
3	10	20	5%	0.138/0.05	400/510	0.24	430
4	8	10	5%	0.21	430	0.4	435
5	9	10	5%	0.28	430	0.39	435
6	10	10	5%	0.33	430	0.25	430
7	11	10	5%	0.46	430	0.61	430
8	12	10	5%	0.31	430	0.75	430

CONTROL UV-VISIBLE DE LOS SPR DE LAS NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS DE COBRE-PLATA

Control UV-Visible								
N°	pH	[AgNO ₃] mM	[AgNO ₃] mL	Dilución	Día 1		Semana 1	
					Absorbancia	Longitud de onda (nm)	Absorbancia	Longitud de onda (nm)
1	8	1	5	2%	0.31/0.1	430/650	0.28/0.05	433
2	9	1	5	2%	0.33/0.12	430/650	0.3/0.2	430

3	10	1	5	2%	0.42/0.20	430/650	0.40/0.13	431/653
4	11	1	5	2%	0.49/0.21	430/650	0.32/0.05	430/635
5	12	1	5	2%	0.65/0.28	430/650	0.29/0.06	435/638
6	8	10	10	0.3%	0.5	425	0.56	430
7	9	10	10	0.3%	0.47	425	0.48	430
8	10	10	10	0.3%	0.62	425	0.65	430
9	11	10	10	0.3%	0.625	425	0.60	430
10	12	10	5	0.3%	0.74	425	0.79	430
11	8	100	5	0.066%	0.28	430	0.35	430
12	9	100	5	0.066%	0.33	430	0.36	430
13	10	100	5	0.066%	0.62	430	0.68	430
14	11	100	5	0.066%	0.81	430	0.84	430
15	12	100	5	0.066%	0.70	430	0.76	430
16	10	1	1	2%	0.19/0.1	430/650	0.15	430/660
17	10	1	2	2%	0.2/0.13	430/650	0.24/0.16	430/662
18	10	1	5	2%	0.36/0.17	430/650	0.41/0.25	430
19	10	1	10	2%	0.32/0.16	430/650	0.33/0.18	430
20	10	10	1	0.3%	0.24	430	0.30	430
21	10	10	2	0.3%	0.32	430	0.36	430
22	10	10	5	0.3%	0.45	430	0.49	430
23	10	10	10	0.3%	0.78	430	0.85	430
24	10	100	1	0.066%	0.19	425	0.26	425
25	10	100	2	0.066%	0.46	425	0.58	425
26	10	100	5	0.066%	0.38	425	0.47	425
27	10	100	10	0.066%	0.71	425	0.73	425p



RESULTADOS

Cusco, 13 de Diciembre del 2023⁻⁵¹

Solicitantes : Pierina Francesca Luque Callo
Tipo de Análisis : Determinación de Cobre y Plata
Metodo ; Absorcion Atomica llama
Tipo de Muestras : Nanoparticulas de Cobre y Plata
Cantidad de Muestra : 3 frascos de vidrio con 20 mL aproximadamente de cada uno
Almacenamiento : 4 °C.

Condiciones de Análisis por Espectrofotometro

Equipo : Espectrofotometro Absorcion Atomica Varian AA240FS
Longitud de Onda : 324.8 nm (Cobre) 328.1 nm (Plata)
Correccion de Fondo : Activado.
Modo de medición : Absorvancia (llama)
Software de Control : SpectrAA
Lecturas por Muestra : 3

Muestra	Ag mg/L	Cu mg/L
1 M A1	5.456	16.968
2 M A2	5.431	16.909
3 M A3	5.419	16.812
4 M B1	13.083	5.151
5 M B2	13.066	5.133
6 M B3	13.038	5.126
7 M C1	51.46	1.871
8 M C2	51.01	1.882
9 M C3	50.85	1.885
10 Ag 1.5	1.412	1.553

Nota: La determinación expresa los ppm de Cobre y Plata presente en la muestra, la metodología de la medicion es de acuerdo al fabricante del equipo.




Químico. Jorge Choquenaira Pari
Analista del Laboratorio de Cromatografía y
Espectrometría – UNSAAC.
CQP - 914

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Facultad de Ciencias
Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría

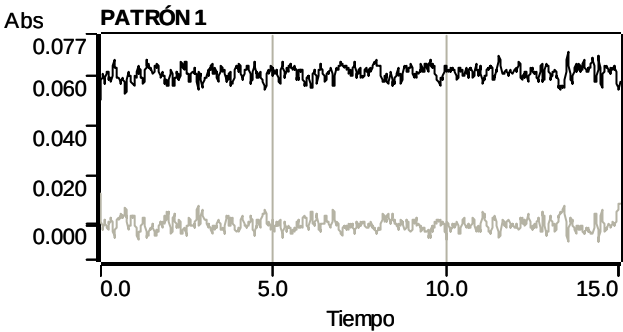
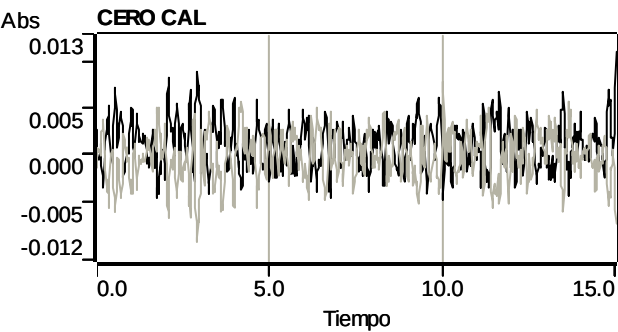
Analista JCHP
Fecha de inicio 10:40 a.m. 13/12/2023
Hoja de trabajo Cu 04
Comentario
Métodos Cu
Nombre ordenador UNSAAC-CB4D71BB
Nº de Serie:

Método: Cu NP (Llama)

Elemento - Matriz:	Cu - NP
Tipo de instrumento:	Llama
Unidades de Conc.:	mg/L
Modo del instrumento:	Absorbancia
Modo de muestreo:	Manual
Modo de calibración:	Concentración
Modo de medida:	Integración
Réplicas Patrones:	3
Réplicas muestras:	3
Factor de expansión:	1.0
Lectura mínima:	Desactivado
Suavizado:	7 puntos
Cifras Decimales Conc:	3
Longitud de onda:	324.8 nm
Anchura de rendija:	0.5 nm
Ganancia:	38 %
Corriente de lámpara:	4.0 mA
Posición de la lámpara:	4
Corrección de fondo:	C. Fondo activado
PATRÓN 1:	0.500 mg/L
PATRÓN 2:	1.000 mg/L
PATRÓN 3:	1.500 mg/L
PATRÓN 4:	5.000 mg/L
PATRÓN 5:	10.000 mg/L
Frec. de ajuste de pendiente:	50
Nº Patrón para ajuste de pendiente:	2
Límite Inf. Ajuste de Pendiente:	75.0 %
Límite Sup. Ajuste de Pendiente:	125.0 %
Frec. de recalibración:	100
Algoritmo de calibración:	Racional Nuevo
Límite inferior de calibración:	20.0 %
Límite superior de calibración:	150.0 %
SIPS:	Desactivado
Tiempo de medida:	5.0 s
Retraso previo a la lectura:	4 s
Tipo de llama:	Aire/Acetileno
Flujo de Aire:	13.50 L/min
Flujo de acetileno:	2.00 L/min
Altura del quemador:	0.0 mm

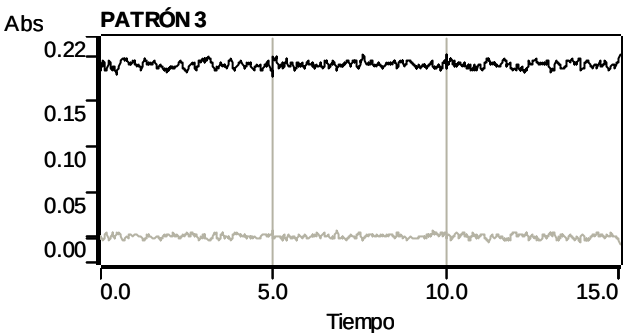
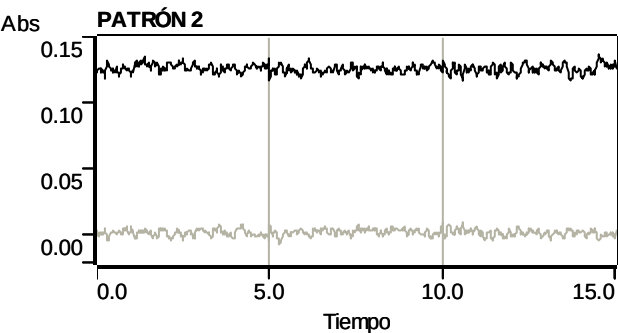
Muestra ID	Concentración mg/L	%RSD	SD		
CERO CAL	0.000	30.7	0.0003		
Lecturas					
	0.0012	0.0007	0.0008	13/12/2023	12:24:52 p.m.

PATRÓN 1	0.500	1.0	0.0006		
Lecturas					
	0.0590	0.0599	0.0600	13/12/2023	12:25:28 p.m.



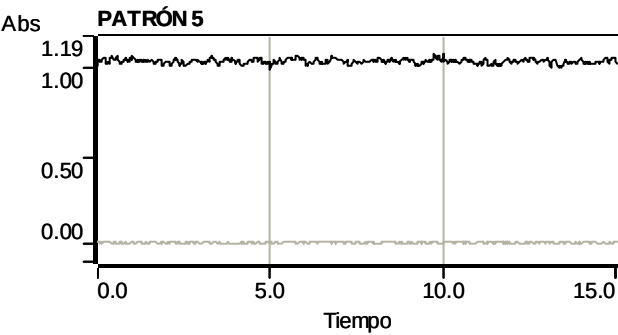
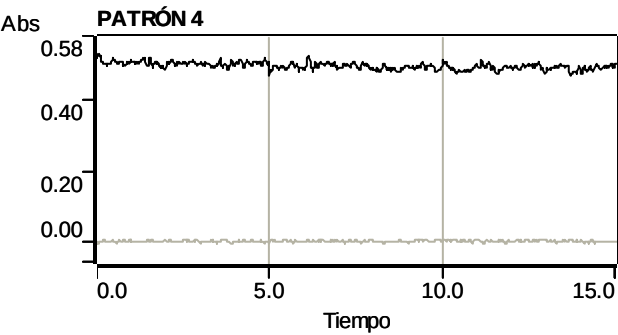
PATRÓN 2	1.000	0.5	0.0006		
Lecturas					
	0.1251	0.1238	0.1243	13/12/2023	12:26:00 p.m.

PATRÓN 3	1.500	0.3	0.0005		
Lecturas					
	0.1875	0.1885	0.1880	13/12/2023	12:26:34 p.m.



PATRÓN 4	5.000	1.4	0.0070
Lecturas			

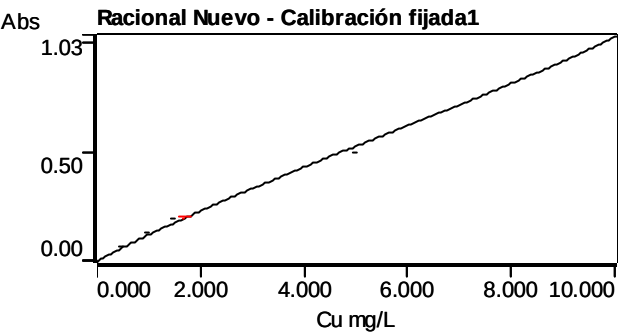
	0.4981	0.4880	0.4848	13/12/2023	12:27:12 p.m.
PATRÓN 5	10.000	0.2	0.0024		
Lecturas					
	1.0348	1.0372	1.0323	13/12/2023	12:27:50 p.m.



Ajuste de curva = Racional Nuevo
Conc.característica = 0.035 mg/L
r = 0.9998
Concentración calculada = 0.007 0.488 1.047 1.623 4.649 10.125
Residuales = -0.007 0.012 -0.047 -0.123 0.351 -0.125

Conc = A

$(0.03346 \times A \times A - 0.05704 \times A + 0.12539)$



MA1	16.968	0.3	0.0006		
Lecturas					
	0.1965	0.1962	0.1953	13/12/2023	12:28:40 p.m.
Dilución introducida por usuario	10.000				
MA2	16.909	0.6	0.0012		
Lecturas					

	0.1967	0.1945	0.1949	13/12/2023	12:29:14 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	10.000				
MA3	16.812	0.2	0.0004		
	Lecturas				
	0.1946	0.1938	0.1945	13/12/2023	12:29:52 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	10.000				
MB1	5.151	0.1	0.0007		
	Lecturas				
	0.5371	0.5377	0.5385	13/12/2023	12:30:34 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	1.0000				
MB2	5.133	0.3	0.0014		
	Lecturas				
	0.5375	0.5360	0.5347	13/12/2023	12:31:12 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	1.0000				
MB3	5.126	0.1	0.0004		
	Lecturas				
	0.5351	0.5359	0.5352	13/12/2023	12:31:50 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	1.0000				
MC2	1.882	0.3	0.0007		
	Lecturas				
	0.2159	0.2163	0.2150	13/12/2023	12:33:22 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	1.0000				
MC3	1.885	0.3	0.0006		
	Lecturas				
	0.2160	0.2156	0.2167	13/12/2023	12:34:06 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	1.0000				
C u 1.5	1.553	0.2	0.0004		
	Lecturas				
	0.1799	0.1806	0.1807	13/12/2023	12:34:48 p.m.

Dilución introducida por usuario
1.0000

MC1 1.871m 0.8 0.0017
Lecturas

0.2165 0.2137 0.2135 13/12/2023 12:36:34 p.m.
Dilución introducida por usuario
1.0000

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Facultad de Ciencias
Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría

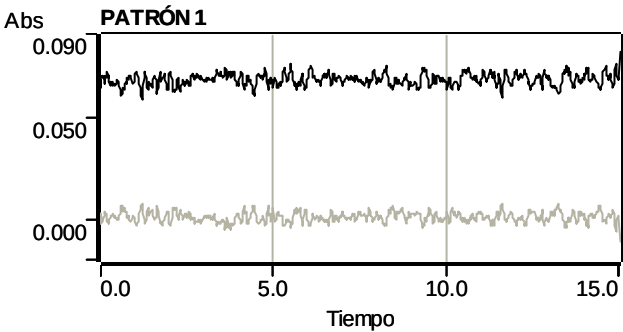
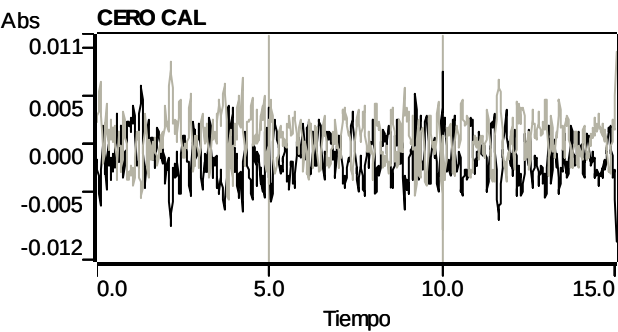
Analista JCHP
Fecha de inicio 12:37 p.m. 13/12/2023
Hoja de trabajo Ag 05
Comentario
Métodos Ag
Nombre ordenador UNSAAC-CB4D71BB
Nº de Serie:

Método: Ag NP (Llama)

Elemento - Matriz:	Ag - NP
Tipo de instrumento:	Llama
Unidades de Conc.:	mg/L
Modo del instrumento:	Absorbancia
Modo de muestreo:	Manual
Modo de calibración:	Concentración
Modo de medida:	Integración
Réplicas Patrones:	3
Réplicas muestras:	3
Factor de expansión:	1.0
Lectura mínima:	Desactivado
Suavizado:	7 puntos
Cifras Decimales Conc:	3
Longitud de onda:	328.1 nm
Anchura de rendija:	0.5 nm
Ganancia:	32 %
Corriente de lámpara:	4.0 mA
Posición de la lámpara:	3
Corrección de fondo:	C. Fondo activado
PATRÓN 1:	0.500 mg/L
PATRÓN 2:	1.000 mg/L
PATRÓN 3:	1.500 mg/L
PATRÓN 4:	5.000 mg/L
PATRÓN 5:	10.000 mg/L
Frec. de ajuste de pendiente:	50
Nº Patrón para ajuste de pendiente:	2
Límite Inf. Ajuste de Pendiente:	75.0 %
Límite Sup. Ajuste de Pendiente:	125.0 %
Frec. de recalibración:	100
Algoritmo de calibración:	Racional Nuevo
Límite inferior de calibración:	20.0 %
Límite superior de calibración:	150.0 %
SIPS:	Desactivado
Tiempo de medida:	5.0 s
Retraso previo a la lectura:	4 s
Tipo de llama:	Aire/Acetileno
Flujo de Aire:	13.50 L/min
Flujo de acetileno:	2.00 L/min
Altura del quemador:	0.0 mm

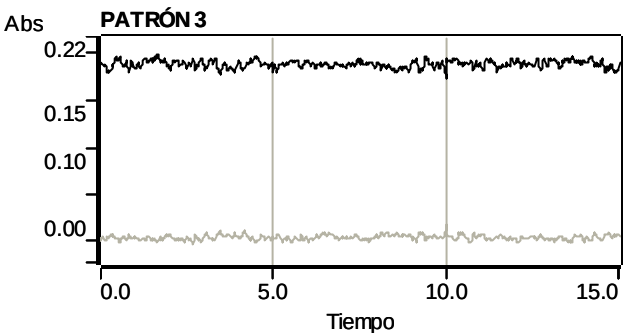
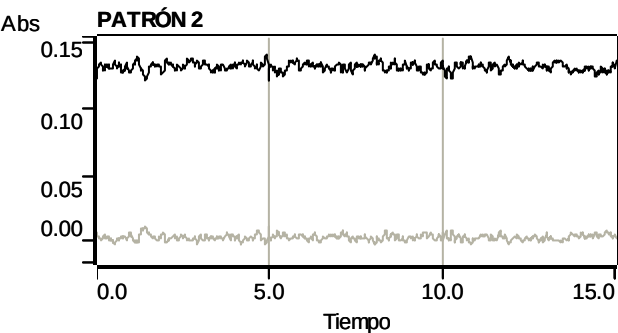
Muestra ID	Concentración mg/L	%RSD	SD		
CERO CAL	0.000	19.1	0.0003		
Lecturas					
	-0.0016	-0.0012	-0.0017	13/12/2023	12:49:48 p.m.

PATRÓN 1	0.500	0.6	0.0004		
Lecturas					
	0.0687	0.0692	0.0695	13/12/2023	12:50:18 p.m.



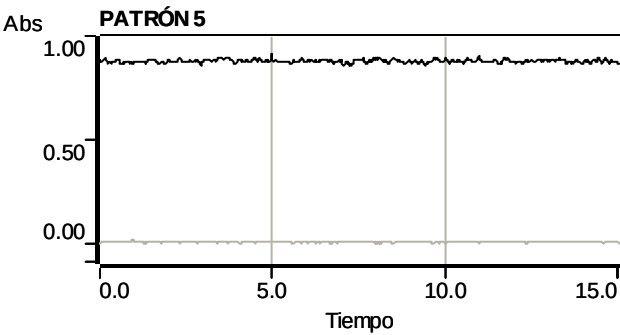
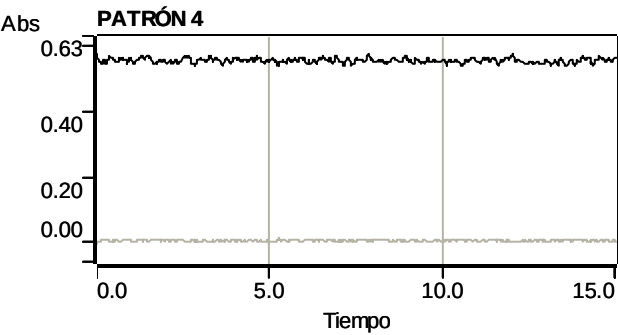
PATRÓN 2	1.000	0.3	0.0005		
Lecturas					
	0.1333	0.1330	0.1324	13/12/2023	12:50:54 p.m.

PATRÓN 3	1.500	0.5	0.0009		
Lecturas					
	0.1892	0.1880	0.1897	13/12/2023	12:51:28 p.m.



PATRÓN 4	5.000	0.2	0.0013
Lecturas			

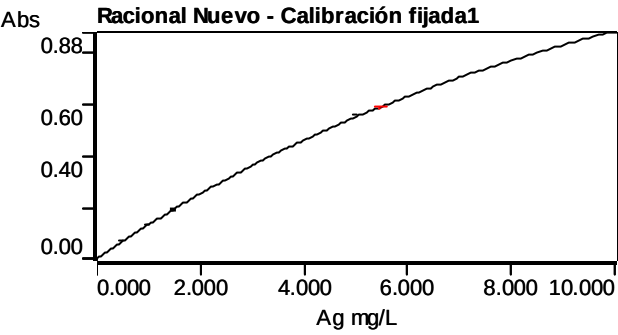
	0.5568	0.5551	0.5543	13/12/2023	12:52:02 p.m.
PATRÓN 5	10.000	0.0	0.0004		
Lecturas					
	0.8786	0.8777	0.8785	13/12/2023	12:52:40 p.m.



Ajuste de curva = Racional Nuevo
Conc.característica = 0.032 mg/L
r = 1.0000
Concentración calculada = -0.011 0.510 1.003 1.457 5.077 9.941
Residuales = 0.011 -0.010 -0.003 0.043 -0.077 0.059

Conc = A

(-0.01413 x A x A - 0.04496 x A + 0.13874)



MA1	5.456	0.4	0.0026		
Lecturas					
	0.5885	0.5874	0.5836	13/12/2023	12:53:20 p.m.
Dilución introducida por usuario	1.0000				
MA2	5.431	0.3	0.0020		
Lecturas					

	0.5862	0.5824	0.5850	13/12/2023	12:53:58 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	1.0000				
MA3	5.419	0.3	0.0017		
	Lecturas				
	0.5850	0.5839	0.5816	13/12/2023	12:54:36 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	1.0000				
MB1	13.083	0.2	0.0014		
	Lecturas				
	0.6677	0.6701	0.6701	13/12/2023	12:55:16 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	2.0000				
MB2	13.066	0.1	0.0007		
	Lecturas				
	0.6682	0.6686	0.6693	13/12/2023	12:55:52 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	2.0000				
MB3	13.038	0.1	0.0008		
	Lecturas				
	0.6668	0.6678	0.6684	13/12/2023	12:56:30 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	2.0000				
MC1	51.460	0.3	0.0017		
	Lecturas				
	0.5602	0.5632	0.5601	13/12/2023	12:57:12 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	10.000				
MC2	51.010	0.2	0.0009		
	Lecturas				
	0.5563	0.5580	0.5581	13/12/2023	12:57:46 p.m.
	Dilución introducida por usuario				
	10.000				
MC3	50.850	0.3	0.0015		
	Lecturas				
	0.5548	0.5557	0.5578	13/12/2023	12:58:24 p.m.

Dilución introducida por usuario
10.000

Ag 1.5

1.412 0.1 0.0002
Lecturas

0.1834 0.1837 0.1836 13/12/2023 12:58:58 p.m.

Dilución introducida por usuario
1.0000



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

INFORME DE ENSAYO LLP-2147-2024 SO-0516-2024

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Pierina Francesca Luque Callo
Dirección Legal: Urb. Lucrepata D-12.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua residual
Matriz microbiológico: Agua residual industrial
Fecha de Ingreso de Muestra: 2024/05/24
Fecha de Ensayo: 2024/05/24
Nro. Cotización: 133-05-2024

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Pierina Francesca Luque Callo
Muestreo fue realizado según el instructivo:
LLP-MP14-I01: Instructivo Toma-Preservación de Muestras de alimentos y Aguas Laboratorio Microbiológico
Fecha de Muestreo: 2024/05/24
Hora de Muestreo: 10:15
Procedencia de la Muestra: Rio Huatanay, Altura del camal.
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco estéril de 250ml; transportado en cadena de frío.
Cadena de custodia LLP-MP14-F04 de fecha: 2024/05/24

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2024/05/29

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Coliformes fecales	NMP/100ml	54x10 ⁵

Métodos de Referencia:

Coliformes Fecales (NMP)

SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)

Biga Mercedes Manizá Quispe Flórez
C.B.P. 417
DIRECTOR DE CALIDAD
LABORATORIO LOUIS PASTEUR



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**

LLP-MP17-F02 VER12 ENERO 2024

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefono: 084-771906 Cel. 975713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
Wanchaq - Cusco - Perú
Telefono: 084-771906
Celular: 975 713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

OPINIONES E INTERPRETACIONES

INFORME DE ENSAYO LLP-2147-2024

Pág. 1 de 1

DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales D1. Riego de vegetales

Determinaciones	Unidad de Medida	Límite Máximo permisible	Valores Hallados
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000	54x10 ⁵

Observaciones

De acuerdo a los ensayos realizados la muestra analizada **no** se encuentra dentro de los límites establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM / Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
Wanchaq - Cusco - Perú
Teléfono: 084-771906
Celular: 975 713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

INFORME DE ENSAYO LLP-2148-2024 SO-0516-2024

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Pierina Francesca Luque Callo
Dirección Legal: Urb. Lucrepata D-12.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua superficial "A"
Fecha de Ingreso de Muestra: 2024/05/24
Fecha de Ensayo: 2024/05/24
Nro. Cotización: 133-05-2024

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Pierina Francesca Luque Callo
Fecha de Muestreo: 2024/05/24
Procedencia de la Muestra: Río Huatanay, Altura del camal.
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco estéril de 250ml; transportado en cadena de frío.
Cadena de custodia LLP-MP14-F04 de fecha: 2024/05/24

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2024/05/29

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Coliformes fecales	NMP/100ml	17x10 ⁴

Métodos de Referencia:

Coliformes Fecales (NMP)

SMEVW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)


Dra. Mercedes Maritza Quispe Flórez
C.B.P. 4917
DIRECTOR DE CALIDAD
LABORATORIO LOUIS PASTEUR



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
Wanchaq - Cusco - Perú
Telefono: 084-771906
Celular: 975 713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

OPINIONES E INTERPRETACIONES

INFORME DE ENSAYO LLP-2148-2024

Pág. 1 de 1

DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales D1. Riego de vegetales

Determinaciones	Unidad de Medida	Límite Máximo permisible	Valores Hallados
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000	17x10 ⁴

Observaciones

De acuerdo a los ensayos realizados la muestra analizada **no** se encuentra dentro de los límites establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM / Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
Wanchaq - Cusco - Perú
Telefono: 084-771906
Celular: 975 713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

INFORME DE ENSAYO LLP-2149-2024 SO-0516-2024

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Pierina Francesca Luque Callo
Dirección Legal: Urb. Lucrepata D-12.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua superficial "B"
Fecha de Ingreso de Muestra: 2024/05/24
Fecha de Ensayo: 2024/05/24
Nro. Cotización: 133-05-2024

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Pierina Francesca Luque Callo
Fecha de Muestreo: 2024/05/24
Procedencia de la Muestra: Río Huatanay, Altura del camal.
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco estéril de 250ml; transportado en cadena de frío.
Cadena de custodia LLP-MP14-F04 de fecha: 2024/05/24

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2024/05/29

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Coliformes fecales	NMP/100ml	39x10 ²

Métodos de Referencia:

Coliformes Fecales (NMP)

SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)


Blga. Mercedes Maritza Quispe Flórez
C.B.P. 4917
DIRECTOR DE CALIDAD
LABORATORIO LOUIS PASTEUR



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
Wanchaq - Cusco - Perú
Telefono: 084-771906
Celular: 975 713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

OPINIONES E INTERPRETACIONES

INFORME DE ENSAYO LLP-2149-2024

Pág. 1 de 1

DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales D1. Riego de vegetales

Determinaciones	Unidad de Medida	Límite Máximo permisible	Valores Hallados
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000	39x10 ²

Observaciones

De acuerdo a los ensayos realizados la muestra analizada **no** se encuentra dentro de los límites establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM / Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
Wanchaq - Cusco - Perú
Telefono: 084-771906
Celular: 975 713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

INFORME DE ENSAYO LLP-2150-2024 SO-0516-2024

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Pierina Francesca Luque Callo
Dirección Legal: Urb. Lucrepata D-12.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua superficial "C"
Fecha de Ingreso de Muestra: 2024/05/24
Fecha de Ensayo: 2024/05/24
Nro. Cotización: 133-05-2024

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Pierina Francesca Luque Callo
Fecha de Muestreo: 2024/05/24
Procedencia de la Muestra: Río Huatanay, Altura del camal.
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco estéril de 250ml; transportado en cadena de frío.
Cadena de custodia LLP-MP14-F04 de fecha: 2024/05/24

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2024/05/29

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Coliformes fecales	NMP/100ml	13x10 ⁴

Métodos de Referencia:

Coliformes Fecales (NMP)

SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)


Biga Mercedes Maritza Quispe Flórez
C.B.P. 4917
DIRECTOR DE CALIDAD
LABORATORIO LOUIS PASTEUR



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. El Laboratorio Louis Pasteur S. R. Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
Wanchaq - Cusco - Perú
Telefono: 084-771906
Celular: 975 713500 - 974787151
laboratoriolouispasteur@yahoo.es
www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

OPINIONES E INTERPRETACIONES

INFORME DE ENSAYO LLP-2150-2024

Pág. 1 de 1

DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales
D1. Riego de vegetales

Determinaciones	Unidad de Medida	Límite Máximo permisible	Valores Hallados
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000	13x10 ⁴

Observaciones

De acuerdo a los ensayos realizados la muestra analizada **no** se encuentra dentro de los límites establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM / Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada. **El Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. no se responsabiliza por la información de la muestra declarada por el cliente.**