



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“BIOSÍNTESIS Y OPTIMIZACIÓN DE INHIBICIÓN BACTERIANA
DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA DERIVADAS DE QUEÑUA
(*Polylepis incarum*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA
DEL RIO COATA, PERÚ”**

Bach. Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Co-asesor: Ing. Eusebio German Peralta Julliri



Juliaca, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“BIOSÍNTESIS Y OPTIMIZACIÓN DE INHIBICIÓN BACTERIANA
DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA DERIVADAS DE QUEÑUA
(*Polylepis incarum*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA
DEL RIO COATA, PERÚ”**

Bach. Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Co-asesor: Ing. Eusebio German Peralta Julliri



Juliaca, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“BIOSÍNTESIS Y OPTIMIZACIÓN DE INHIBICIÓN BACTERIANA
DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA DERIVADAS DE QUEÑUA
(*Polylepis incarum*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA
DEL RÍO COATA, PERÚ”**

Bach. Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Co-asesor: Ing. Eusebio German Peralta Julliri

Juliaca, 2025

FICHA CARTOGRÁFICA

Mamani Chuquimamani , L. Y. (2025). *Biosíntesis y optimización de inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata derivadas de queñua (Polylepis incarum) para el tratamiento de agua cruda del río Coata, Perú.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani

TÍTULO: Biosíntesis y optimización de inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata derivadas de queñua (*Polylepis incarum*) para el tratamiento de agua cruda del río Coata, Perú.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2025

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (82 páginas)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

CODIGO: 01-000053-01/M21

NOTA: Incluye Bibliografía

ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro

CO-ASESOR: Ing. Eusebio German Peralta Julliri

PALABRAS CLAVE: Biosíntesis, desinfección, inhibición bacteriana, nanopartícula de plata, *Polylepis incarum*.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL

**“BIOSÍNTESIS Y OPTIMIZACIÓN DE INHIBICIÓN BACTERIANA
DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA DERIVADAS DE QUEÑUA
(*Polylepis incarum*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA
DEL RÍO COATA, PERÚ”**

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL**

Presentado por:

Bach. Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M.Sc. CESAR ENRIQUE YUPANQUI BENDITA

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. JAEL CALLA CALLA

JURADO (secretario)


2° MIEMBRO


M.Sc. EBED DAVID PAREDES RODRIGUEZ

JURADO (vocal)


3° MIEMBRO


DR. WILE MAMANI NAVARRO

ASESOR DE TESIS


ING. EUSEBIO GERMAN PERALTA JULLIRI

CO-ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A Dios, fuente de vida y fortaleza por concederme el privilegio de existir, guiar mis pasos con sabiduría y llenarme de bendiciones en el camino hacia el éxito.

A mis amados padres Néstor Mamani Layme y Julia Chuquimamani Huanca por ser un pilar inquebrantable en mi vida. Su amor, sacrificio y apoyo incondicional fueron un bálsamo en los momentos de dificultad y una fuente de alegría y motivación que me impulsó a seguir adelante.

A mi mentor, quien me inspiró profundamente a alcanzar siempre la excelencia. Su dedicación, paciencia y confianza que fueron fundamentales para mi desarrollo intelectual y profesional

Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani

AGRADECIMIENTO

“Esta tesis fue subvencionada por la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional de Juliaca en el Marco del VIII concurso de proyectos de tesis para la obtención del título profesional UNAJ–2024”

A la Universidad Nacional de Juliaca y la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal por brindarme una formación integral

Al Dr. Wile Mamani Navarro y al Ing. Eusebio German Peralta Julliri cuya rigurosa supervisión, exhaustivos aportes críticos y orientación metodológica, acompañadas de una constante perspectiva optimista enriquecieron significativamente la calidad y solidez de esta investigación.

Al Lic. Howard Arcana, Ing. Rodolfo Incacari y Ing. Eduardo Ortis cuyo respaldo, apoyo, orientación y experiencia específica fueron claves para el desarrollo de la ejecución y culminación de esta investigación.

Al Ing. Antonio Laura, Lic. Dennis Huisa, Ing. Marleni Mayta y Lic. Wilber Cornejo por apoyo constante y asistencia incondicional fueron esenciales en esta investigación.

A los miembros del jurado evaluador, por la predisposición de aportes constructivos y valiosas sugerencias, las cuales fueron fundamentales para la culminación exitosa de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. El problema de investigación.....	3
1.2. La pregunta de investigación.....	5
1.2.1. Pregunta general.....	5
1.2.2. Pregunta específica.....	5
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivo específico.....	5
1.4. Justificación.....	6
1.4.1. Justificación técnica.....	6
1.4.2. Justificación económica ambiental.....	6
1.4.3. Justificación social.....	6
1.5. Formulación de hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis general.....	7
1.5.2. Hipótesis específica.....	7

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1. Internacional.....	8
2.1.2. Nacional.....	12

2.1.3.	Local	13
2.2.	Marco Teórico.....	15
2.2.1.	Nanotecnología.....	15
2.2.2.	Nanopartículas	15
2.2.3.	Tipos de nanopartículas	15
2.2.4.	Métodos de síntesis de nanopartículas.....	16
2.2.5.	Método biológico.....	16
2.2.6.	Nanopartículas de plata	16
2.2.7.	Síntesis de nanopartículas de plata	17
2.2.8.	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.....	18
2.2.9.	Bacterias	18
2.2.10.	Filtro de membrana	19
2.2.11.	Actividad antimicrobiana de las nanopartículas de plata.....	19

CAPÍTULO III

METRIALES Y MÉTODOS

3.1.	Ámbito de Estudio	20
3.2.	Tipo de investigación.....	20
3.3.	Población y muestra.....	21
3.3.1.	Población	21
3.3.2.	Muestra	21
3.4.	Descripción de métodos.....	21
3.4.1.	Equipos, materiales, reactivos e insumos	21
3.4.2.	Biosíntesis de las nanopartículas de plata obtenidas de los compuestos fenólicos de las hojas de queñua (<i>Polylepis incarum</i>).....	22
3.4.3.	Optimización de los parámetros experimentales dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y pH mediante la metodología de superficie de respuesta.	23
3.4.4.	Determinación de la eficiencia de inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata para el tratamiento de agua cruda del río Coata	23

3.5. Diseño experimental	24
3.6. Análisis estadístico	25

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Biosíntesis de las nanopartículas de plata obtenidas de los compuestos fenólicos de las hojas de <i>Polylepis incarum</i>	26
4.1.1. Determinación de los compuestos fenólicos totales, metabolitos secundarios y grupos funcionales del extracto de <i>Polylepis incarum</i>	26
4.1.2. Caracterización de la nanopartícula de plata	28
4.2. Optimización de los parámetros experimentales dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y pH mediante la metodología de superficie de respuesta	33
4.2.1. Toma de muestra	33
4.2.2. Aplicación de las nanopartículas de plata con la muestra de agua	35
4.3. Determinación de la eficiencia de inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata para el tratamiento de agua cruda del río Coata.....	40
4.3.1. Contraste de hipótesis	41

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	45
5.2. Recomendaciones	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Factores y niveles para la presente investigación</i>	25
Tabla 2 <i>Matriz de diseño de segundo orden</i>	25
Tabla 3 <i>Coordenadas de la toma de muestra de agua cruda del río Coata</i>	33
Tabla 4 <i>Parámetros físicos del agua cruda del río Coata</i>	34
Tabla 5 <i>Tratamientos mediante metodología de superficie de respuesta</i>	36
Tabla 6 <i>Análisis de varianza ANOVA</i>	41
Tabla 7 <i>Estadística del modelo cuadrático</i>	43

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Biosíntesis de nanopartículas de plata	18
<i>Figura 2.</i> Punto de muestreo del agua cruda procedente del río Coata	20
<i>Figura 3.</i> Espectros de infrarrojo por transformada de Fourier	27
<i>Figura 4.</i> Micrografías con un aumento de 5 000 X y 200 000 X.....	28
<i>Figura 5.</i> Histograma del tamaño de las nanopartículas y su ajuste gaussiano	29
<i>Figura 6.</i> Composición elemental de las nanopartículas de plata.....	30
<i>Figura 7.</i> Micrografías de difracción de electrones de área seleccionada	31
<i>Figura 8.</i> Espectros de difracción de rayos X.....	32
<i>Figura 9.</i> Efecto de la dosis de nanopartículas de plata.....	37
<i>Figura 10.</i> Efecto del tiempo de contacto.....	38
<i>Figura 11.</i> Optimización del porcentaje de inhibición bacteriano.....	39
<i>Figura 12.</i> Gráfico de superficie 3-D efecto de interacción en la inhibición bacteriana	40
<i>Figura 13.</i> Diagrama de pareto	42
<i>Figura 14.</i> Criterios de análisis ANOVA	44
<i>Figura 15.</i> Recolecta de hojas del material vegetal	62
<i>Figura 16.</i> Herborización.....	62
<i>Figura 17.</i> Filtración del extracto vegetal.....	63
<i>Figura 18.</i> Síntesis de nanopartículas de plata	63
<i>Figura 19.</i> Toma de muestra de río Coata	64
<i>Figura 20.</i> Ubicación GPS del punto de toma de muestra.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 <i>Recolecta del material vegetal</i>	62
Anexos 2 <i>Síntesis de nanopartículas de plata</i>	63
Anexos 3 <i>Recolección de muestra de agua cruda del río Coata</i>	64
Anexos 4 <i>Identificación taxonómica de la especie vegetal</i>	65
Anexos 5 <i>Cuantificación de los polifenoles totales del extracto de <i>Polylepis incarum</i></i>	66
Anexos 6 <i>Estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas</i>	67

RESUMEN

La desinfección del agua es crucial, sin embargo, el uso del cloro como desinfectante convencional generan los subproductos de desinfección potencialmente tóxicos y cancerígenos al medio ambiente y la salud humana. Este estudio tuvo como objetivo biosintetizar y optimizar la eficiencia bacteriana de las nanopartículas de plata derivadas *Polylepis incarum* para el tratamiento de agua cruda del río Coata. La metodología se desarrolló en tres etapas, en la primera etapa sintetizo ecológicamente las nanopartículas de plata posteriormente se sometieron a una caracterización exhaustiva mediante espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, microscopio de barrido electrónico, difracción de rayos X, en la segunda, se optimizó los factores experimentales dosis de nanopartículas de plata, tiempo y pH mediante metodología de superficie de respuesta bajo un diseño compuesto central con tres factores y tres niveles, totalizando 20 tratamientos y en la tercera etapa se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano. Los resultados revelaron que el extracto *Polylepis incarum* tuvo una concentración de 30.77 AGmg/L de polifenoles y las nanopartículas de plata presentaron una estructura cristalina tipo cubica centrada en las caras, morfología esférica, distribución homogénea y un tamaño promedio de 41.9 nm, sin signos de agregación. Se alcanzó una inhibición del crecimiento bacteriano del 99.8 % en el tratamiento 12 a una dosis de 0.001 g/mL de nanopartículas de plata, en un tiempo de 30 minutos y un pH 7. La optimización de los parámetros experimentales fue del 99.98 % a una dosis de 0.0009 g/100 mL, tiempo de 29.44 minutos y pH 7.27, estadísticamente los factores de dosis de nanopartículas de plata y tiempo de contacto fueron significativos $p < 0.05$, mientras que el factor pH no fue significativo. En conclusión, las nanopartículas de plata demostraron su excepcional propiedad antibacteriana como una alternativa eficaz, ecológica y sostenible en la desinfección del agua.

Palabras clave: Biosíntesis, desinfección, inhibición bacteriana, nanopartícula de plata, *Polylepis incarum*.

ABSTRACT

Water disinfection is crucial, however, the use of chlorine as a conventional disinfectant generates disinfection byproducts that are potentially toxic and carcinogenic to the environment and human health. The objective of this study was to biosynthesize and optimize the bacterial efficiency of silver nanoparticles derived from *Polylepis incarum* for the treatment of raw water from the Coata River. The methodology was developed in three stages, in the first stage the silver nanoparticles were ecologically synthesized and then subjected to an exhaustive characterization by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy, X-Ray Diffraction, and in the second stage the experimental factors, doses, dosage and efficiency of the silver nanoparticles were optimized. In the second stage, the experimental factors silver nanoparticle dose, time and pH were optimized by means of a response surface methodology under a central composite design with three factors and three levels, totaling 20 treatments, and in the third stage, the percentage of inhibition of bacterial growth was determined. The results revealed that the *Polylepis incarum* extract had a concentration of 30.77 AGmg/L of polyphenols and the silver nanoparticles presented a face-centered cubic crystalline structure, spherical morphology, homogeneous distribution and an average size of 41.9 nm, with no signs of aggregation. The optimization of the experimental parameters was 99.98 % at a dose of 0.0009 g/100 mL, time of 29.44 minutes and pH 7.27, statistically the factors of silver nanoparticles dose and contact time were significant $p < 0.05$, while the pH factor was not significant. Bacterial growth inhibition of 99.8 % was achieved in treatment 12 at a dose of 0.001 g/mL of silver nanoparticles, time of 30 minutes and pH 7. In conclusion, silver nanoparticles demonstrated their exceptional antibacterial property as an effective, ecological and sustainable alternative in water disinfection.

Keywords: Biosynthesis, disinfection, bacterial inhibition, silver nanoparticle, *Polylepis incarum*.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso natural indispensable para el sostenimiento de la vida y por ende su remediación es esencial para el bienestar humano y ambiental (Borah et al., 2025). La contaminación del agua representa amenazas significativas tanto para los ecosistemas (Münzel et al., 2025) como para la salud global (Lema, 2025), generando efectos adversos incluso tras exposiciones de consumo a corto plazo (Obořilová et al., 2025). A nivel mundial, la alta incidencia de enfermedades transmitidas por el agua se relacionan con el consumo de fuentes de agua superficial contaminadas (Islam et al., 2021). Este deterioro de la calidad del agua se asocia principalmente con actividades antropogénicas (Pinheiro et al., 2021), industriales, agrícolas que enmarcan el crecimiento urbano (Peng et al., 2025), los cuales contribuyen a una contaminación microbiana atribuyendo una variedad de microorganismos patógenos y no patógenos al cuerpo hídrico (Islam et al., 2021). Asimismo, el acelerado desarrollo socioeconómico han deteriorado la calidad del agua superficial limitando el uso sostenible de los recursos hídricos (Gao et al., 2023).

Cada año existen más de 9 millones de muertes prematuras por la contaminación del agua (Münzel et al., 2025), la habitación de asentamientos antropogénicos en inmediaciones de cuencas y ríos contribuyen significativamente a una contaminación bacteriana (Bhatt et al., 2025), así como a la presencia de contaminantes inorgánicos como sulfatos, nitratos, metales pesados y materia orgánica (Peng et al., 2025). Particularmente la contaminación fecal de origen humano representa una amenaza directa al ecosistema acuático y la salud pública debido a su posible coexistencia con patógeno (Liu et al., 2025). Además la carga microbiana en los cuerpos hídricos está influenciada por las estaciones del año, en épocas de lluvia la concentración bacteriológica aumenta debido a la corriente superficial que permite la entrada de estos microorganismos al agua (Pinheiro et al., 2021). En este contexto la desinfección del agua es esencial para mitigar las infecciones de origen bacteriano, siendo el cloro el desinfectante más utilizado y tradicional (Calderón et al., 2023; Nduli et al., 2025). Sin embargo, en presencia de materia orgánica natural o amoníaco se forman metabolitos secundarios nocivos conocidos como subproductos de la desinfección potencialmente tóxicos (Zhu et al., 2022) y cancerígenos (Chaves et al., 2019) como los trihalometanos (Nduli et al., 2025) y los ácidos haloacéticos (Ranthom et al., 2023), estos se asocian al cáncer de vejiga (Xie et al., 2025). Representando una amenaza potencial de citotoxicidad, genotoxicidad y carcinogénesis para el medio ambiente y la salud humana (Du et al., 2024).

Los métodos tradicionales de tratamiento de agua presentan una eficiencia limitada frente a ciertos contaminantes mientras que las tecnologías de filtración por membrana como la osmosis inversa (Khanmohammadi et al., 2025), microfiltración, ultrafiltración y filtración electroquímica (Qi et al., 2024) han demostrado una mayor eficiencia. Sin embargo en los últimos años la nanotecnología ha emergido como herramienta innovadora en la remediación del agua como los nanotubos, óxidos de grafeno y las nanopartículas metálicas han demostrado capacidades excepcionales para tratar una amplia gama de contaminantes orgánicas, inorgánicas y microbianas (Anupam et al., 2025). El interés en las nanopartículas para la remediación del agua radica en su gran área superficial (relación superficie/volumen) (Borah et al., 2025). La síntesis de nanopartículas se basan en dos enfoques fundamentales de bottom-up y top-down, manteniéndose dentro del rango nanométrico de 1 a 100 nm (Deka et al., 2025). Estos métodos pueden desarrollarse mediante procesos físicos, químicos y biológicos, siendo este último el más compatible con los principios de sostenibilidad ambiental (Wahab et al., 2024). En este contexto la síntesis ecológica es una alternativa viable y sostenible que utiliza agentes biológicos como los extractos de plantas, bacterias, hongos y algas para producir nanopartículas de plata (Dheyab et al., 2025). Los extractos vegetales particularmente son eficientes en este proceso de síntesis ecológica, dado que son ricos en agentes reductores como fenoles, flavonoides y terpenoides que facilitan la conversión del ion plata a nanopartículas de plata (Deka et al., 2025). Las nanopartículas de plata se distinguen por su amplio espectro de propiedades antimicrobianas y fisicoquímicas únicas (Khan et al., 2022; Dheyab et al., 2025), dado que la plata tiene menos reactividad y excelente estabilidad, lo que hace preferible para aplicaciones biológicas como el tratamiento de agua (Tessem et al., 2024).

El crecimiento poblacional, industrial y los factores socioeconómicos en la ciudad de Juliaca están deteriorando la calidad de las aguas superficiales, principalmente por los vertimientos directos e indirectos al cauce del río Coata. En este contexto, la desinfección del agua es crucial, sin embargo, uso del cloro como desinfectante convencional generan los subproductos de desinfección, potencialmente tóxicos y cancerígenos al medio ambiente y la salud humana. Ante esta coyuntura surge la necesidad de desarrollar tecnologías de desinfección alternativas que no generen subproductos, en este marco el presente estudio tiene como objetivo biosintetizar y optimizar la eficiencia bacteriana de las nanopartículas de plata obtenidas de las hojas de *Polylepis incarum* para el tratamiento de agua cruda del río Coata.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.El problema de investigación

A nivel mundial el cambio climático se intensifica en el ciclo hidrológico, los caudales de los ríos se están menguando causando sequías e inundaciones en el mundo (UNESCO, 2024), el agua está siendo amenazada a nivel global debido al consumo desmedido y la contaminación descontrolada hacia los cuerpos hídricos (Guterres, 2024). La industrialización y la urbanización están causando graves impactos negativos, provocado por los vertimientos de las aguas residuales, comerciales e industriales desencadenando impactos significativos en los recursos hídricos (Purohit et al., 2020; Mansour et al., 2024). La contaminación de las aguas superficiales es un problema global con graves riesgos para la salud humana (Choque et al., 2024), casos de esta situación incluyen los ríos Kshipra-India (Purohit et al., 2020), Rispana-India (Bhatt et al., 2024), Wharfe- Reino Unido (Karunakaran et al., 2024), Karum-Irán (Mahmodian et al., 2024), Rachiine-Líbano (Mansour et al., 2024).

En Sudamérica las aguas superficiales son receptoras de distintos tipos de efluentes urbanos e industriales que afectan la composición natural del agua (Jurado et al., 2021), los microorganismos patógenos se transportan y se transmiten mediante el agua (Ali y Fatlawi, 2023; Popa et al., 2015). En las últimas décadas en Uruguay existe un alto crecimiento de eutrofización en los ríos, lagos y lagunas (Beretta y Carrasco, 2021), a causa del crecimiento poblacional urbano en la ciudad de Ushuaia Tierra de Fuego de Argentina está siendo afectada negativamente la calidad del agua en los diferentes arroyos urbanos (Barranquero et al., 2023; Granitto et al., 2021), así mismo este problema se documenta en Colombia el río de Bogotá está altamente contaminado desde la cabecera de cuenca y a lo largo de su cauce producto del vertimiento de los efluentes domésticos, municipales e industriales (Sánchez et al., 2020; Venegas et al., 2015), la fuente de agua superficial de la cuenca del río Alto Tietêla en la ciudad de São Paulo Brasil están altamente contaminadas por microorganismos patógenos como los coliformes totales y termotolerantes representando un alto riesgo para la salud de la población (Araújo et al., 2024).

En el siglo XXI persisten vulnerabilidades documentadas en la seguridad y proximidad de los sistemas de agua, en Iquitos los marcadores de rastreo de fuentes microbianas han permitido rastrear las principales fuentes de contaminación humana y animal en entornos domésticos en las comunidades de la Amazonía peruana (Schiaffino et al., 2020), el análisis microbiológico reveló la presencia *Coliformes totales* y *E.coli* representa un riesgo microbiológico significativo para los consumidores en Bagua (Ferro et al., 2024), en Cajamarca los factores domésticos, incluidos los recipientes de agua y la presencia de fauna doméstica contribuyen a la contaminación microbiana del agua (Larson et al., 2023).

El crecimiento poblacional y la industrialización en el departamento de Puno están afectando negativamente la calidad de las aguas superficiales (Ferro et al., 2022), particularmente en el río Coata donde la Autoridad Nacional del Agua ha identificado aproximándose a 21 puntos de vertimientos de aguas servidas hacia el cauce del río, provenientes de 8 municipales, 4 industriales, 7 botaderos de residuos sólidos y 3 descargas in situ ANA (2019), además del aporte de la lixiviación de fosas sépticas, estas situaciones incrementa significativamente la carga de microorganismos patógenos representando un riesgo sanitario latente para la población (Díaz et al., 2024). Aunque la cloración es el método más tradicional de desinfección (Calderón et al., 2023), su interacción con la materia orgánica natural genera subproductos de desinfección (Valenti et al., 2024), como los trihalometanos y ácidos haloacéticos (Ranthom et al., 2023). En consecuencia, de los subproductos de desinfección representa una amenaza potencial de citotoxicidad, genotoxicidad y carcinogénesis para el medio ambiente y la salud humana. A ello se suma la mala gestión de los efluentes urbanos, industriales y la contaminación del agua (Pacori, 2019; Ragot et al., 2023; Choque et al., 2024), contribuyendo a un alto índice de anemia y enfermedades diarreicas agudas causando la mortalidad infantil en la ciudad de Juliaca (Ferro et al., 2022). Además, la disponibilidad de agua en Juliaca será cada vez más crítica para las futuras generaciones debido a la creciente demanda de este recurso y la disminución del caudal del río Coata (ANA, 2015; Tapia et al., 2022).

1.2.La pregunta de investigación

1.2.1. Pregunta general

¿Cómo biosintetizar y optimizar la eficiencia bacteriana de las nanopartículas de plata obtenidas de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*) en el tratamiento de agua cruda del río Coata?

1.2.2. Pregunta específica

- ¿Cuál es el mecanismo para biosintetizar nanopartículas de plata a partir de los compuestos fenólicos presentes en las hojas de queñua (*Polylepis incarum*)?
- ¿Cuáles son los parámetros experimentales óptimos en términos de dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y pH según la metodología de superficie de respuesta?
- ¿Qué tan eficiente es la inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata en el tratamiento de agua cruda del río Coata?

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Biosintetizar y optimizar la eficiencia bacteriana de las nanopartículas de plata obtenidas de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*) para el tratamiento de agua cruda del río Coata.

1.3.2. Objetivo específico

- Biosintetizar nanopartículas de plata obtenidas de los compuestos fenólicos de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*)
- Optimizar los parámetros experimentales en dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y pH mediante la metodología de superficie de respuesta.
- Determinar la eficiencia de inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata para el tratamiento de agua cruda del río Coata

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación técnica

La presente investigación es necesaria debido a la amenaza potencial asociados a los subproductos de desinfección, que se generan con la interacción de la materia orgánica, estos son perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (Ranthom et al., 2023). Por ello, existe una necesidad urgente de desarrollar tecnologías de desinfección alternativas que no generen subproductos de desinfección (Rangaraju et al., 2024), la presente investigación aportará en el desarrollo de nanotecnologías sostenibles para el tratamiento bacteriano del agua (Prabula et al., 2024; Sharifi et al., 2024), mediante la biosíntesis ecológica de las nanopartículas de plata obtenidas de los compuestos fenólicos de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*).

1.4.2. Justificación económica ambiental

La biosíntesis de la nanopartícula de plata mediante métodos ecológico presenta beneficios económicos accesibles, ya que emplea precursores de bajo costo y requerimientos energéticos mínimos (Vanlalveni et al., 2021). Además se fomenta el aprovechamiento las hojas de la especie forestal nativa *Polylepis incarum* rica en metabolitos secundarios con capacidad reductores y estabilizadora (Gutierrez et al., 2023). Esto nos conlleva a procesos ambientalmente sostenibles que no generan productos químicos agresivos ni tóxicos, contribuyendo así al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y al fortalecimiento de una económica circular (Bakry et al., 2022; Budhathoki et al., 2024).

1.4.3. Justificación social

La utilización de nanotecnología con los datos obtenidos, puede ser tomada en cuenta por empresas prestadoras de servicios para el tratamiento de agua potable y municipios siendo ellos uno de los directos beneficiarios para el tratamiento de agua potable a parte de la población urbana y rural que haga uso de estas aguas tratadas con esta metodología. Además, la presente investigación pretende la generación de data base para futuras investigaciones.

1.5. Formulación de hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Las nanopartículas de plata biosintetizadas a partir de los compuestos fenólicos presentes en las hojas de queñua (*Polylepis incarum*) pueden ser optimizadas mediante la metodología de superficie de respuesta para alcanzar una alta eficiencia de inhibición bacteriana en el tratamiento de agua cruda del río Coata.

1.5.2. Hipótesis específica

- Los compuestos fenólicos extraídos de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*) permiten la biosíntesis eficiente de nanopartículas de plata con propiedades adecuadas para aplicaciones antibacterianas.
- La metodología de superficie de respuesta permite identificar los parámetros óptimos en dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y pH que maximizan la eficiencia de inhibición bacteriana.
- Las nanopartículas de plata biosintetizadas presentan una alta capacidad significativa de inhibición bacteriana en el tratamiento de agua cruda del río Coata

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacional

Kodiyala et al. (2025), sintetizaron nanopartículas de plata utilizando extracto de *Erythrina variegata* y analizaron sus propiedades antibacterianas. Los resultados del espectro de Fourier reveló picos en 1615 y 1634 cm^{-1} correspondientes al grupo carbonilo (C=O), la banda de 1343 cm^{-1} atribuida a la flexión del grupo fenol (O-H), y señales en 1020 cm^{-1} y 1211 cm^{-1} asociadas al estiramiento de (C-N) en aminas alifáticas. Asimismo, el análisis de la composición elemental confirmó la reducción del nitrato de plata a nanopartícula de plata, mostrando una estructura cubica centrada en las posiciones de los picos difracción 38.32°, 44.47°, 64.66° y 77.55°.

Oselusi et al. (2025), sintetizaron nanopartículas de plata a partir de hojas de *Ehretia rigida* y evaluaron sus propiedades antioxidantes y antibacterianos. Los resultados de los espectros de infrarrojo por transformada de Fourier demostraron que en el rango de 3700 cm^{-1} a 3200 cm^{-1} se asocia al estiramiento O-H indicando la presencia de alcoholes y fenoles unidos por enlaces de hidrogeno, asimismo la composición elemental muestra señales de C, O y N, estas se atribuyen a la presencia biomoléculas de recubrimiento del extracto vinculadas en la reducción y estabilización de las nanopartículas de plata.

Khereshki et al. (2025), sintetizaron nanopartículas de plata a partir *Lantana cámara* mediante la metodología de superficie de respuesta para evaluar su actividad antimicrobiana. Emplearon el análisis de varianza ANOVA para determinar su significancia de las variables independientes y sus interacciones, complementando con un diagrama de Pareto para identificar los factores más influyentes. Por su parte Kemala et al., (2025) aplicaron un modelo cuadrático validado mediante R^2 (98.91 %), R^2 ajustado (97.92 %) y R^2 predicho (91.05 %) para aceptar su modelo matemático, mientras que Hoseini et al., (2025) recurrieron a la optimización numérica para representar los gráficos efectos combinatorios.

Rocha et al. (2024), valorizaron subproductos vegetales para la biosíntesis de nanopartículas de plata con propiedades antimicrobianas y catalíticas. Evaluaron el extracto (eucalipto, té verde y té negro) como agente reductor. Los resultados muestran que el tamaño de las nanopartículas fue 40.6 a 86.4 nm. Asimismo el espectro de la composición elemental mostró un pico agudo a 3 Kev confirmando la plata metálica. Las nanopartículas de plata demuestran una capacidad inhibidora contra las bacterias Gram-negativas (*P. putida*, *E. coli*, *Vibrio spp.*) y Gram-positivas (*B. megaterium*, *S. aureus*, *S. equisimilis*).

Nassar et al. (2024), sintetizaron y caracterización de nanopartículas de plata mediadas por extracto de limón y evaluaron su eficacia antibacteriana. Los resultados demostraron que el tamaño fue de 36 nm con una estructura cubica centrada en las caras, el rendimiento óptimo para la síntesis de nanopartícula de plata fue a una proporción de 1:1 (AgNO_3 a 0.25 M: extracto de hoja del limón). Las nanopartículas de plata poseen una capacidad antibacteriana significativa contra la *E.coli* cuyo diámetro promedio de zona de inhibición excedían los 17 mm mientras que para las bacterias resistentes a fármacos fue de 15 mm.

Prabula et al. (2024), investigaron la actividad del extracto de *Bambusa vulgaris* en la síntesis de nanopartículas de plata para la descomposición del colorante de azul de metileno y agentes microbianos. Los resultados evidenciaron la formación de la nanopartícula de plata al apreciar el cambio de color a un tono marrón oscuro, tamaño 22 nm. La nanopartícula de plata alcanzo un 96 % de degradación del azul demostrando la eliminación de contaminantes orgánicos del agua. La actividad antibacteriana de las nanopartículas de plata fue eficiente en contra de las bacterias Gram-negativas.

Serunting et al. (2024), sintetizaron nanopartículas de plata altamente estables mediada por irradiación solar utilizando extracto de vainas de (*Archidendron bubalinum*) para aplicación de actividad antibacteriana. Los resultados demuestran que el cambio de color fue el indicador de la formación de las nanopartículas además el análisis del microscopio electrónico de barrido indicó una agregación cuyo tamaño fue de 94.40 nm, asimismo la banda del espectro de infrarrojo a una longitud

de 1607 cm^{-1} correspondieron al grupo carbonilo (C=O) y los picos de C y O se deben por la presencia de metabolitos secundarios.

Singhal et al. (2024), sintetizaron y optimizaron las nanopartículas de plata a partir de extracto de corteza de *Azadirachta indica* y evaluaron su aplicación antibacteriana. Los parámetros experimentales fueron molaridad de AgNO_3 (mM), relación de volumen de AgNO_3 a extracto (v/v) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Los resultados demostraron que las nanopartículas fueron homogéneas sin presencia de agregados. La actividad antimicrobiana aumentaba de manera dependiente de la dosis 2 a $8\text{ }\mu\text{g}$ contra bacterias Gram positivas y Gram negativas.

Thakur et al. (2024), optimizaron y caracterizaron nanopartículas de plata a partir de las hojas de *Pancreatium telanganense* y aplicaron contra bacterias patógenas. Los resultados demostraron que los metabolitos secundarios son responsables de la síntesis de nanopartículas de plata favoreciendo a la reducción del ion plata (Ag^+), asimismo la morfología fue irregular con un tamaño de 20 y 35 nm. Las actividades antibacterianas contra patógenos bacterianos mostraron una zona de inhibición muy eficaz de 18 mm y 17 mm respectivamente a $60\text{ }\mu\text{L}$ de nanopartículas de plata.

Vadakkan et al. (2024), inhibieron la colonización bacteriana mediada por nanopartículas de plata y analizaron los efectos mediante el modelado de superficie de respuesta. Las nanopartículas de plata se sintetizaron a partir de los extractos de las hojas de *Premna serratifolia*. Los resultados demuestran que el modelado de superficie de respuesta mediante el diseño de Box Behnken en la inhibición bacteriana demostró que depende en gran medida los parámetros de concentración de nanopartículas de plata, tiempo de reacción y la presencia de estabilizadores.

Sarkar et al. (2024), utilizaron el sustrato de hongos para la síntesis de las nanopartículas de plata con un enfoque de optimización de múltiples respuestas. Los resultados demuestran que el diámetro promedio de las nanopartículas de plata fue de $35 \pm 6\text{ nm}$. La evaluación antibacteriana de las nanopartículas de plata en una dosis máxima de $6.96 \pm 0.03\text{ ppm}$ frente a las bacterias *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis* fueron positivas llegando las UFC a cero

Singhal et al. (2024), sintetizaron y optimizaron nanopartículas de plata a partir del extracto de corteza de *Azadirachta indica* y aplicación antibacteriana. Los resultados del análisis composición elemental detectaron plata elemental a 3 Kev cuya concentración fue 68.1 %, asimismo el tamaño de la nanopartícula de plata fue de 30.6 nm a 76.35 nm. La actividad antimicrobiana contra la *E. coli* y *S. aureus* aumentó de manera dependiente con la dosis de nanopartícula de plata, las bacterias presentaron daños celulares en la membrana.

Abareethan et al. (2024), sintetizaron nanopartículas de plata a partir del extracto de hojas de *Solanum trilobatum* y evaluaron el potencial antioxidante y antimicrobiano. Los resultados demuestran que el tamaño de la nanopartícula de plata fue de 50 nm cuya morfología fue esférica además de ello confirmaron su cristalinidad como cubica centrada en las caras. Utilizaron el análisis de ANOVA para evaluar la significancia de los factores experimentales posterior a ello dimensionaron los gráficos de superficie para ilustrar los efectos combinatorios.

2.1.2. Nacional

Alvarado et al. (2023), sintetizaron nanopartículas de plata y microcompuesto de microfibras de celulosa a partir de residuos *Musa acuminata* y evaluaron su capacidad antimicrobiana. Los resultados demuestran que el extracto hidroetanólico es favorable para la síntesis de las nanopartículas de plata, estructura morfológica es esféricas y cuyo tamaño es 24 nm. Las nanopartículas de plata inhibieron el crecimiento bacteriano contra Gram-negativa (*E. Coli* ATCC: 25922) y Gram-positivo (*S. aureus* ATCC 25923).

Gutierrez et al. (2023), sintetizaron nanopartículas de plata y evaluaron su aplicación antibacteriana. Los resultados cualitativos demostraron que el extracto de *Polylepis* presentó metabolitos secundarios como los flavonoides, quinonas, fenoles, saponinas y pequeñas cantidades de triterpenos, esteroides y la cuantificaron los polifenoles totales fue según el contenido de disolventes, en medio acuoso la concentración fue 11.07 AGmg/mL, en medio hidroetanólico al 50 % fue 19.11 AGmg/mL y medio hidroetanólico al 70 % fue 19.59 AGmg/MI

Laime et al. (2022), optimizaron la síntesis de nanopartículas de plata conjugadas con *Lepechinia meyenii* mediante de metodología de superficie de respuesta en actividad antibacteriana. Los factores experimentales fueron la velocidad de agitación, pH, tiempo, temperatura y volumen de fracción etanólica. Los resultados demuestran que las nanopartículas de plata sintetizadas con la fracción etanólica presentan una actividad antibacteriana mejorada, cuyas condiciones optimizadas para la síntesis de nanopartículas fueron a un pH 9.45, temperatura 49.8 °C, volumen de fracción etanólica 152.6 µL y un tiempo de reacción de 213.2 min.

Vera et al. (2022), sintetizaron nanopartículas de plata conjugada con *Thelypteris glandulosolanosa* (Raqui-Raqui). Para la síntesis verde de nanopartículas de plata se realizó utilizando diferentes concentraciones (5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1 y 0.05 %) del extracto vegetal en una relación estequiométrica 1:3 como agente reductor para nitrato de plata 0.5 mM. Los resultados muestran que la nanopartícula de plata posee propiedades para reducir la solución de AgNO₃, el tamaño promedio las nanopartículas de plata fueron 39.16 nm y utilizando el análisis de composición elemental y microscopio electrónico de transmisión es 31.45 nm.

Alarcón et al. (2021), emplearon extractos etanólicos de hojas y pétalos de *Solanum grandiflorum* para la obtención de nanopartículas de plata. La síntesis se realizó con 1 mL de AgNO_3 con 4 mL de extracto etanólico (relación 1:4), se agitó durante 60 minutos y finalmente fueron lavadas a 10 000 rpm por triplicado. Los resultados de la espectroscopia de infrarrojo de transformada de Fourier a una longitud de 1028 cm^{-1} correspondieron al grupo (C-O), asimismo presentaron una morfología esférica con un tamaño menor a 50 nm en la primera semana y se incrementaron el tamaño en la tercera semana posterior a la síntesis.

Gakiya et al. (2020), evaluaron la actividad antimicrobiana mejorada de nanopartículas de plata conjugadas con péptidos sintéticos mediante química de clic. El péptido se funcionalizó con un alquino, mientras que las nanopartículas se funcionalizaron con grupos azida utilizando cadenas de tiol-polietilenglicol-azida (HS-PEG-N 3), de modo que el acetiluro y la azida puedan experimentar una reacción de clic. Los resultados de las pruebas antibacterianas contra la *E. coli*, muestran que la actividad bacteriana de los nanocompuestos Ag-PEG-ATCUN es mayor que la de las nanopartículas y los péptidos ATCUN por separado.

2.1.3. Local

Nieto et al. (2021), evaluaron los riesgos ambientales en los ríos y la plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en la costa y sierra peruana, específicamente Puno y Juliaca y también evaluaron las aguas superficiales de pozos (confluencia del río Torococha y Coata). Los resultados mostraron concentraciones microbiológicas elevadas de coliformes totales hasta 46000 NMP/100 mL y termotolerantes alcanzando los 170000 NMP/100 mL en cuerpo receptor por su parte Espinoza (2023) reportó en su investigación los parámetros fisicoquímicos del cuerpo receptor río Coata un pH 7.3, temperatura $12 \text{ }^\circ\text{C}$, Conductividad $460 \text{ }\mu\text{S/cm}$ y (TDS) 229 mg/L

Cabana y Lipe (2019), evaluaron el efecto de la curtición de pieles de Cuy (*Cavia porcellus*) con extracto tánico de queñua (*Polylepis incana*) con respecto a la raza y altitud. Uno de los parámetros experimentales fue las concentraciones de taninos de queñua (*Polylepis incana*) al 20 %, 40 % y 60 %. Los resultados indican que taninos de la especie forestal de queñua (*Polylepis incana*) presentaron un porcentaje de concentración de 0.146 %, concluyendo que las extracciones de taninos de esta especie forestal son más ecológica y amigable con el medio ambiente

Chura y Gomez (2018), evaluaron la factibilidad de la utilización de filtros cerámicos, conformados por jipi de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y arcilla, impregnadas con plata coloidal, como alternativa para la potabilización de agua cruda de pozo para procesos agroindustriales. Los resultados evidencian que el tratamiento 1 (filtro 01 con 20 % jipi de quinua y 80 % arcilla y concentración de plata coloidal 55 ppm) presenta una alta eliminación de carga microbiológica contra las bacterias 0 NMP/100 mL y heterotróficas 0 UFC/mL con un caudal de 0.474 L/min.

2.2.Marco Teórico

2.2.1. Nanotecnología

La nanotecnología ha surgido como un campo de investigación interdisciplinarios potencial (Tawade y Wasewar, 2023). El campo de la nanotecnología es la región más dinámica de la investigación en ciencias de los materiales y la síntesis de las nanopartículas en todo el mundo (Mohammadlou et al., 2016).

Es la transformación de materiales cuyas dimensiones están en un rango de 1 a 100 nm, estos materiales poseen características atómicas o moleculares (Contreras et al., 2017). Los catalizadores nanométricos aceleran la activación química y su reactividad (Narayan et al., 2019).

2.2.2. Nanopartículas

Las nanopartículas son partículas que se encuentran en estado sólido cuyo tamaño molecular < 100 nm, poseen excelente propiedades físicas (Stadler et al., 2019).

La formación de las nanopartículas comienza a partir de los núcleos, pasa por un estado fluctuante metaestable donde se forma la estructura primaria, finalmente se aprecia su forma final de las nanopartículas (Pryshchepa et al., 2020).

2.2.3. Tipos de nanopartículas

A. Las nanopartículas inorgánicas

Se encuentran las nanopartículas semiconductoras que son el (ZnO, ZnS, CdS), nanopartículas metálicas (Au, Ag, Cu, Al) y las nanopartículas magnéticas (Co, Fe, Ni) (Mohammadlou et al., 2016). Las nanopartículas metálicas y sus óxidos metálicos tienen estructuras cristalinas y posee propiedades físicas, químicas, ópticas, electrónicas y magnéticas determinadas por el componente metálico (Huang et al., 2024).

B. Las nanopartículas orgánicas

Incorporan nanopartículas de carbono como lo fullerenos, puntos cuánticos, nanotubos de carbono entre otros (Mohammadlou et al., 2016).

2.2.4. Métodos de síntesis de nanopartículas

A. Top-down (arriba hacia abajo)

Reducen el tamaño de agregación del material hasta llegar a un tamaño manométrico mediante en corte a valores requeridos y utilizan reactivos químicos (Biswas et al., 2012).

B. Bottom-up (abajo hacia arriba)

Son variedades de técnica sintéticas que utilizan materiales y dispositivos nanoestructurares multifuncionales mediante el autoensamblaje de átomos o moléculas para producir sistemas y ensamblajes a escala nanométrica más compleja (Biswas et al., 2012).

2.2.5. Método biológico

La química verde y la nanotecnología buscan mejorar la calidad del medio ambiente y sostenibilidad del ecosistema (Goyal et al., 2024). Los métodos de síntesis biológica son considerados ecológicos debido a que utilizan agentes reductores y de recubrimiento de origen biológico y estas no generan productos químicos nocivos y son amigables con el medioambiente (Pryshchepa et al., 2020; Vanlalveni et al., 2021).

2.2.6. Nanopartículas de plata

Las nanopartículas de cobre, titanio, zinc, magnesio, plata y oro poseen capacidad antimicrobianas (El-Berry et al., 2020). Las nanopartículas de plata actualmente poseen un alto interés en la comunidad investigadora debido a su amplia gama de aplicaciones en tecnología, microbiología, farmacología y parasitología (Changmai et al., 2020).

Las nanopartículas de plata poseen estudios amplios debido a su reactividad, estabilidad, selectividad y reciclabilidad en reacciones orgánicas catalíticas (Veisi, Dadres, et al., 2019; Veisi, Razeghi, et al., 2019). Las nanopartículas de plata no dependen únicamente en la liberación de iones metálicas sino también incide en la membrana celular de los microorganismos (Zhao et al., 2020).

2.2.7. Síntesis de nanopartículas de plata

Para la síntesis de las nanopartículas de plata se utilizan varias técnicas como el sol-gel, método hidrotérmico, deposición química de vapor, descomposición térmica, método de combustión asistida por microondas entre otros (Wu et al., 2012).

En los últimos años se viene utilizando la síntesis verde para la obtención nanopartículas de plata, cuya materia prima son las partes de las planta como la hoja, la corteza y las raíces (Vanlalveni et al., 2021). La síntesis de nanopartículas de plata mediante extractos de plantas y microorganismos que contienen saponinas, aminoácidos y compuestos fenólicos (Fouad et al., 2017), poseen una mayor estabilidad debido a que reduce espontáneamente los iones metálicos permitiendo una aplicación más sencilla que la biosíntesis utilizando microorganismos (Mohammadlou et al., 2016).

Para la síntesis de las nanopartículas de plata se utiliza los extractos vegetales estas se oxidan de Ag^+ a Ag^0 mediante diferentes biomoléculas como los taninos, flavonoides, alcaloides, cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos y saponinas en seguida se añade una solución de sal metálica a temperatura optima, la reacción se completa cambiando de color y se aprecia la formación de las nanopartículas de plata (Rafique et al., 2017).

A. Extracto acuoso de la planta

El potencial de los fitoquímicos en los extractos de plantas sirve como un agente reductor y estabilizador para ayudar en la biorreducción de iones de Ag^+ en una nanoforma estable Ag^0 (Saifuddin et al., 2024). Para la síntesis de nanopartículas de plata se usan varias partes de las plantas como las hojas, raíces, frutos, rizomas, entre otros (Vanlalveni et al., 2021). Para preparar el extracto acuoso de la planta previamente se debe lavar con agua corriente y después con agua destilada o etanol, en seguida se coloca en agua desionizada o alcohol el polvo molido de la planta y se calienta por debajo de los 60 °C durante algunas horas.

B. Contenido fenólico

Los grupos funcionales o biomoléculas son responsables de la reducción de iones de plata (Ibrahim et al., 2024).

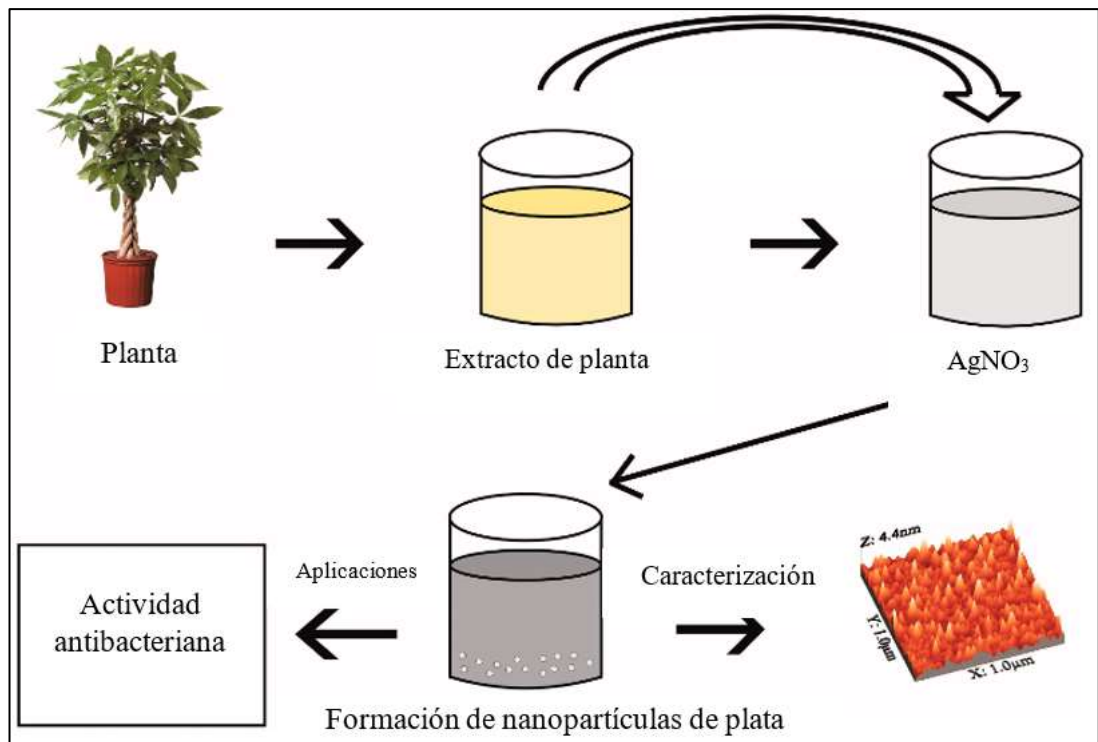


Figura 1. Biosíntesis de nanopartículas de plata

Fuente: Rafique et al., (2017)

2.2.8. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Son aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes e incluyendo su desinfección (ECA, 2017).

La muestra es el volumen mínimo representativo de un cuerpo de agua que permite obtener información sobre su calidad (NTP 214.003, 2021).

2.2.9. Bacterias

A. Coliformes totales

El grupo coliforme está conformada de bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, gramnegativas, no esporuladas y de forma alargada que desarrollan una colonia roja con un brillo metálico en un medio que contenga lactosa tras una incubación de 24 horas a 35 °C (APHA-AWWA-WPCF, 1992). El grupo coliformes se caracteriza por producir aldehídos a partir de la fermentación de la lactosa (NTP 214.003, 2021).

B. Coliformes termotolerantes

Son un grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45 °C, estas bacterias provienen de aguas de los efluentes industriales (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

2.2.10. Filtro de membrana

La técnica del filtro de membrana es extraordinariamente eficaz para estudiar agua potable, aguas naturales, aguas saladas, pero no al agua residual debido a su elevada turbidez, compuestos orgánicos y contenido de metales. La técnica de filtro de membrana nos proporciona resultados numéricos más rápidos y precisos que el método de tubos múltiples, sin embargo esta técnica tienen limitaciones para estudiar aguas con elevada turbidez (APHA-AWWA-WPCF, 1992). El volumen de muestra de agua estándar a filtrar es de 100 mL.

2.2.11. Actividad antimicrobiana de las nanopartículas de plata

La actividad antibacteriana de las nanopartículas de plata posee una mejor eficiencia en las bacterias Gram-negativas (Prabula et al., 2024). Cuanto más pequeña sea la nanopartícula de plata mayor es la actividad antimicrobiana (Vanlalveni et al., 2021). Las nanopartículas de plata causan cambios estructurales y daños en la membrana exterior de las células bacterianas, penetrando a la célula y conllevándolo a la muerte celular (Sondi y Salopek, 2004; Sukdeb et al., 2007).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Ámbito de Estudio

El presente estudio se desarrolló utilizando muestras de agua cruda provenientes del agua superficial del río Coata, situada al noreste de la ciudad de Juliaca. Esta ciudad conocida como la “Ciudad de los vientos” se caracteriza por un clima seco y frío típico de la región altiplánica. El punto de muestreo se encuentra a una altitud de 3 859 metros sobre el nivel del mar con coordenadas UTM zona 19L: 0381318 E y 8289707 N. Asimismo, los análisis de laboratorio fueron realizados en las instalaciones de Universidad Nacional de Juliaca.

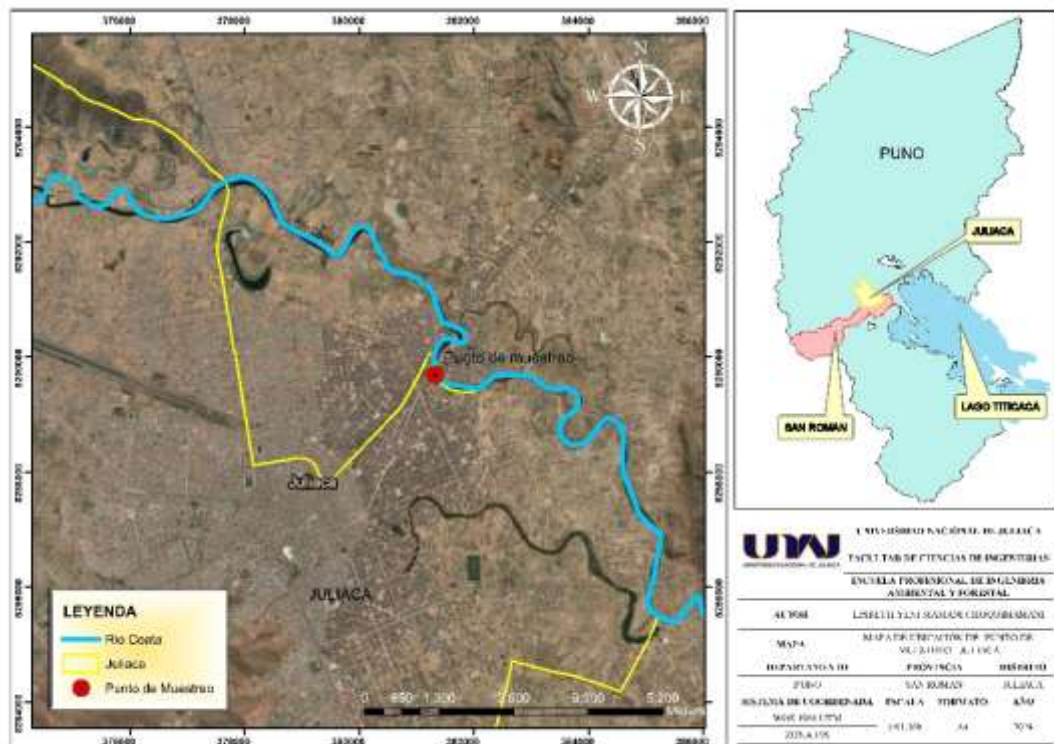


Figura 2. Punto de muestreo del agua cruda procedente del río Coata

3.2.Tipo de investigación

La presente investigación tuvo un alcance explicativo, enfoque cuantitativo-experimental. Asimismo, se contemplaron submétodos dentro de esta categoría, por lo que la investigación fue considerada como experimentos puros (Sampieri et al., 2014). En este diseño se manipularon intencionalmente las variables independientes con el propósito de analizar los efectos de dicha manipulación sobre las variables dependientes.

3.3.Población y muestra

3.3.1. Población

El presente estudio estuvo comprendido por una población infinita (Gutierrez y Vara, 2008), constituida principalmente por agua cruda procedente del río Coata (Espinoza, 2023).

3.3.2. Muestra

La muestra de la presente investigación fue una muestra puntual y no probabilística optada por conveniencia del investigador (Sampieri et al., 2014). Dado que la población fue considerada infinita, se optó por tomar una muestra representativa con un volumen de 4 litros (Gutierrez y Vara, 2008).

3.4.Descripción de métodos

3.4.1. Equipos, materiales, reactivos e insumos

a. Materiales

Frascos de vidrio 1 L, frasco ámbar de vidrio 1 L, probetas de vidrio 100 mL, matraz erlenmeyer de vidrio 250 mL, bureta de vidrio 25 mL, fioles de 250 mL, vasos de precipitado de 500 mL y 250 mL, papel filtro whatman N°40, luna de reloj, espátulas metálicas, mortero de porcelana, varilla de vidrio, termómetro de mercurio, tubos de ensayo, soporte universal, mechero de bunsen, micropipetas 10 µL, placas petri, filtros de membranas pre-esterilizadas (poro de 0.45 µm), almohadillas absorbentes de (48 mm de diámetro)

b. Equipos

Balanza analítica, tamizador eléctrico, agitador, centrifuga, bomba de vacío de alta presión, contador de colonias, equipo de baño maría, incubadora, destilador de agua, multiparámetro, pH metro, estufa, autoclave, equipo de filtración por membrana, microscopio electrónico de transmisión, espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

c. Reactivos e insumos

Agua destilada, agua ultrapura, etanol 96 %, ácido clorhídrico (HCl al 37 %), hidróxido de sodio (NaOH 99 %), nitrato de plata (AgNO₃ al 99 %) y medio de agar para la nutrición bacteriana

3.4.2. Biosíntesis de las nanopartículas de plata obtenidas de los compuestos fenólicos de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*)

a. Preparación de extracto

La preparación del extracto de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*) se llevó a cabo aplicando el método propuesto por Dhanalakshmi y Losetty (2024), el cual se detalla a continuación:

- Las hojas queñua (*Polylepis incarum*) fueron recolectadas del distrito de Lampa, Puno. Las hojas de la especie arbórea obtenidas fueron lavadas, inicialmente con agua corriente de la red pública en seguida con agua destilada, para eliminar cualquier partícula o coloide impregnada en el material vegetal, posteriormente las hojas de queñua se secaron en sombra a temperatura ambiente durante 1 semana.
- Para la obtención del extracto vegetal, se pesaron 10 gramos de hojas secas de queñua y se mezclaron con 200 mL de agua destilada. La mezcla se colocó sobre un agitador magnético. Posteriormente la solución se dejó enfriar a temperatura ambiente, se filtró con papel filtro Whatman y se centrifugó durante 10 minutos a 10 000 rpm. El extracto resultante fue almacenado a 4 °C.

b. Determinación de los compuestos fenólicos totales del extracto

La determinación de los compuestos fenólicos del extracto de queñua (*Polylepis incarum*) se enviaron a un laboratorio externo para la determinación de los compuestos fenólicos mediante el método de Folin Ciocalteu (Kim et al., 2024).

c. Síntesis de la nanopartícula de plata

La síntesis de nanopartícula de plata a partir del compuesto fenólico de las hojas de queñua (*Polylepis incarum*) se llevó a cabo aplicando el método de Dhanalakshmi y Losetty (2024).

Inicialmente se preparó 90 mL de AgNO₃ 1 mM bajo agitación constante. Luego, se añadieron 10 mL del extracto de hoja bajo agitación constante durante 3 horas a una temperatura de 80 °C hasta observar la formación del precipitado. La solución se centrifugó a una velocidad de 10 000 rpm durante 10 minutos, posterior a ello se lavó tres veces con agua destilada y una vez con etanol y finalmente se secó en un horno a 60 °C durante 24 horas. Las nanopartículas obtenidas se almacenaron en pequeños viales para su caracterización.

3.4.3. Optimización de los parámetros experimentales dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y pH mediante la metodología de superficie de respuesta.

a. Toma de muestra

Se ubicó en un punto de fácil acceso, donde la corriente es homogénea y poca turbulencia, cuya denominación es captación, lugar ya está establecida por la empresa Seda Juliaca (EPS Sedajuliaca, 2010).

Para el análisis microbiológico la toma de muestra del agua se realizó de manera directa dejando un espacio para la aireación y mezcla de 1/3 del frasco de vidrio previamente esterilizado (DIGESA, 2007).

Para la toma de muestra se utilizó un brazo muestreador, en seguida se tomó la muestra del río Coata a 20 cm – 30 cm de profundidad en dirección opuesta del flujo del río, evitando los sedimentos del fondo (ANA, 2016).

b. Conservación y almacenamiento

Las muestras recolectadas se conservaron en un cooler para el análisis bacteriológico de la muestra de agua y refrigerarlas a 4 °C (DIGESA, 2007).

c. Aplicación de las nanopartículas de plata con la muestra de agua

La preparación de la muestra de agua y la aplicación de nanopartículas de plata se realizó Amibo et al., (2024).

Inicialmente se eliminó los sólidos en suspensión que pueden obstaculizar en el proceso de inactivación bacteriana. La muestra de agua se filtró con papel Whatman y posteriormente la muestra filtrada se almacenará a 4 °C

Posteriormente se introdujo la dosis de nanopartículas de plata (0.0005, 0.00075 y 0.001 g/100mL), posteriormente se ajustó el pH a (6, 7 y 8) con hidróxido de sodio (0.1 M NaOH) y ácido clorhídrico (0.01 M HCl) y tiempo de contacto a (20, 30 y 40 minutos).

3.4.4. Determinación de la eficiencia de inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata para el tratamiento de agua cruda del río Coata.

Para el recuento de colonias bacterianas se realizó mediante el método de filtración por membrana NTP 214.031 (2001).

a. Inicialmente

- Se esterilizó el equipo de filtración
- Se saturó la placa Petri previamente esterilizada con el medio de agar para la nutrición bacteriana

b. Filtración

- Se esterilizo la pinza y se colocó el filtro de membrana estéril sobre la base del sistema de filtración
- Se colocó con cuidado el embudo o vaso de filtración sobre la base del sistema, fijándolo con una pinza.
- Se colocó el embudo de filtración sobre la base del sistema
 - Agua tratada con nanopartículas de plata
 - Agua sin tratamiento
- Se filtró 100 mL de muestras de agua, con el equipo generador de vacío
- Se retiró el embudo y el filtro de membrana con una pinza estéril y se colocó la membrana en la placa Petri contenido del medio de agar para la nutrición bacteriana.

c. Incubación

- Se incubó por 22 a 24 horas en la incubadora a 35 ± 0.5 °C
- Se cuantificó las colonias una vez transcurridos 24 horas.

d. Cuantificación

La densidad de bacteriana se expresó en unidades formadoras de colonias (UFC) por 100 mL, se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Colonias bacterianas} \frac{\text{(totales)}}{100 \text{ mL}} = \frac{\text{Colonias contadas}}{\text{mL de muestra filtrada}} \times 100 \quad (2)$$

Para la determinación del porcentaje de eliminación inhibición de crecimiento bacteriano, se aplicó la siguiente formula:

$$\% \text{ Inhibicion del crecimiento bacteriano} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (3)$$

3.5. Diseño experimental

El diseño experimental del estudio de investigación fue de diseño compuesto central de segundo orden (Gutierrez y Vara, 2008) con tres factores y tres niveles con un total de 20 tratamientos.

Tabla 1*Factores y niveles para la presente investigación*

Factores	Niveles		
	-1	0	+1
Dosis de AgNPs (g/100 mL)	0.0005	0.00075	0.001
Tiempo (min)	20	30	40
pH	6	7	8

Tabla 2*Matriz de diseño de segundo orden*

Número de tratamientos	Nanopartículas de plata (g/100mL)	Tiempo (min)	pH	Número de colonias bacterianas inhibidas (UFC/100mL)	Inhibición del crecimiento bacteriano (%)
1	1	-1	-1	-	-
2	0	0	-1	-	-
3	0	0	0	-	-
4	1	1	1	-	-
5	0	0	0	-	-
6	-1	-1	-1	-	-
7	1	1	-1	-	-
8	0	-1	0	-	-
9	-1	-1	1	-	-
10	-1	1	1	-	-
11	0	0	1	-	-
12	1	0	0	-	-
13	0	0	0	-	-
14	0	0	0	-	-
15	-1	0	0	-	-
16	1	-1	1	-	-
17	0	1	0	-	-
18	0	0	0	-	-
19	-1	1	-1	-	-
20	0	0	0	-	-

3.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico del estudio de investigación de diseño de segundo orden, se realizó utilizando el software estadístico (Minitab versión 19) para el procesamiento de datos de los tratamientos experimentales. El contraste de la hipótesis se efectuó mediante el análisis de varianza ANOVA, diagrama de Pareto y prueba de normalidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Biosíntesis de las nanopartículas de plata obtenidas de los compuestos fenólicos de las hojas de *Polylepis incarum*

4.1.1. Determinación de los compuestos fenólicos totales, metabolitos secundarios y grupos funcionales del extracto de *Polylepis incarum*

a) Compuestos fenólicos totales

La concentración de polifenoles totales en el extracto de *Polylepis incarum* determinada mediante el método de Folin-Ciocalteu fue de 30.77 AGmg/L. Estos resultados fueron superiores a la reportada por investigaciones anteriores en las se cuantificaron los polifenoles totales en el extracto de queñua obtenidos con diferentes disolventes, en medio acuoso la concentración fue 11.07 AGmg/mL, en medio hidroetanólico al 50 % fue 19.11 AGmg/mL y medio hidroetanólico al 70 % fue 19.59 AGmg/mL (Gutierrez et al., 2023), asimismo otros investigadores utilizaron extracto hidroetanólico de *Musa acuminata* (Alvarado et al., 2023), fracción etanólica *Lepechinia meyenii* (Laime et al., 2022) y *Solanum grandiflorum* (Alarcón et al., 2021). La diferencia observada entre el presente estudio y el anterior estudio se podría atribuirse al empleo del disolvente, ya que en esta investigación se empleó el agua destilada mientras que el estudio anterior utilizó mezclas hidroetanólicas, lo que habría influido significativamente en la extracción de polifenoles totales.

Además de ello los resultados del análisis fitoquímico cualitativo mediante el método de cromatografía en capa fina (TLC) confirman la presencia de los metabolitos secundarios tales como flavonoides, sesquiterpenlactonas, saponinas y terpenos. Estos resultados son consistentes con estudios previos que también reportaron la presencia de flavonoides, quinonas, fenoles, saponinas y pequeñas cantidades de triterpenos, esteroides (Gutierrez et al., 2023), taninos (Cabana y Lipe, 2019), compuestos fenólicos, alcaloides y glicósidos. La presencia de metabolitos secundarios en el extracto de sugiere un rol fundamental en la reducción del ion plata (Ag^+) (Thakur et al., 2024) y en la posterior estabilización de las nanopartículas de plata.

b) Grupos funcionales

La identificación de los grupos funcionales presentes en extracto de hojas *Polylepis incarum* se examinaron mediante espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier abarcando un espectro de número entre 650 cm^{-1} y 4000 cm^{-1}

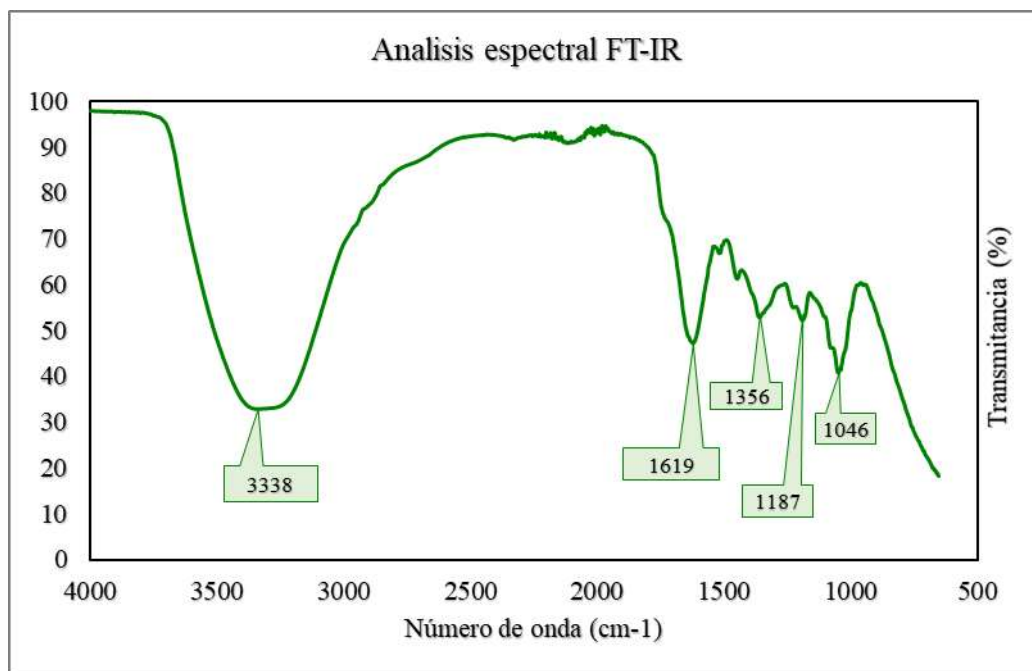


Figura 3. Espectros de infrarrojo por transformada de Fourier

Los resultados de los espectros exhibieron varias señales de intensidades de pico en 3338.24 cm^{-1} , 1619.26 cm^{-1} , 1356.97 cm^{-1} , 1187.84 cm^{-1} y 1046.68 cm^{-1} cada una correspondiente a grupos funcionales específicos del extracto del *Polylepis incarum*. La banda ancha e intensa formada a 3338.24 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de estiramiento de los grupos Hidroxilo (O-H) y amida (N-H) indicativos de alcoholes y compuestos fenólicos. La banda registrada en 1619.26 cm^{-1} se asoció al estiramiento del grupo carbonilo (C=O) de la amida, asimismo también reflejaron la presencia de estructuras aromáticas (C=C) y grupos (-COOH) de polifenoles. La banda a 1356.97 cm^{-1} indicó la presencia de Fenoles (O-H). Finalmente, las bandas en 1187.84 cm^{-1} y 1046.68 cm^{-1} se atribuyeron al estiramiento de las aminas alifáticas (C-N). Estos resultados son similares a lo reportado por la literatura en donde reportaron picos espectrales a 3440 y 1638 cm^{-1} (Oselusi et al., 2025), en la banda a 1627 y 1037 cm^{-1} (Serunting et al., 2024), 3306 , 1615 , 1343 , 121 y 1020 cm^{-1} (Kodiyala et al., 2025) y 1028 cm^{-1} (Alarcón et al., 2021).

4.1.2. Caracterización de la nanopartícula de plata

a) Microscopio electrónico de barrido

El análisis morfológico y químico elemental de las nanopartículas de plata derivadas de las hojas *Polylepis incarum* se realizó mediante el microscopio electrónico de barrido

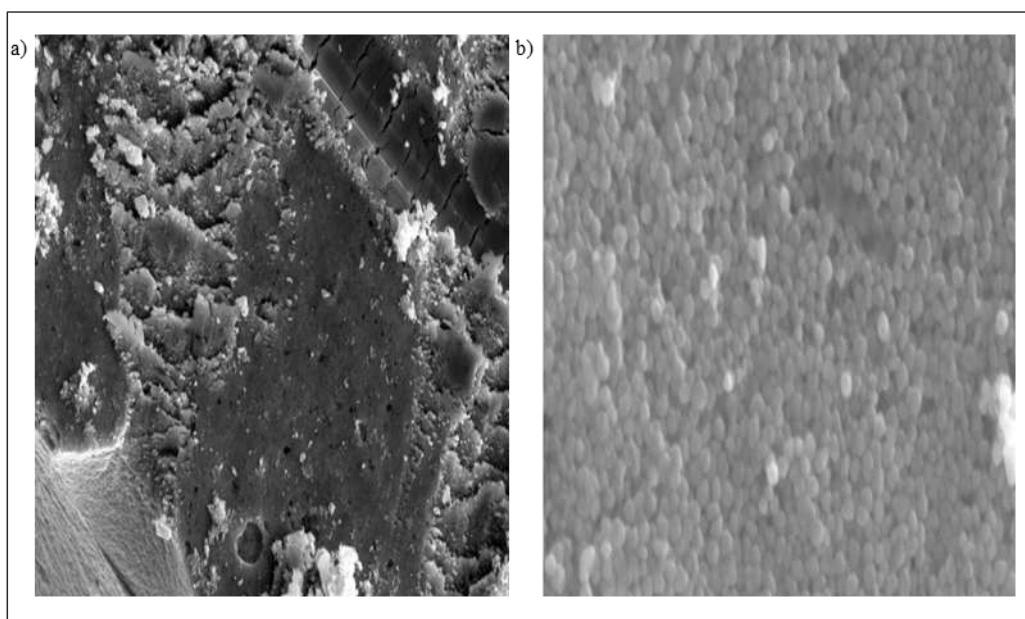


Figura 4. Micrografías con un aumento de 5 000 X y 200 000 X

En la figura 4 se presentan dos micrografías de microscopio electrónico de barrido obtenidas con un aumento de 5 000 X y 200 000 X. En la figura a) con una magnificación de 5 000 X muestra una superficie rugosa y porosa, atribuidas al efecto del secado y la acción de los compuestos fitoquímicos que estabilizaron las nanopartículas de plata. En la figura b) a una magnificación de 200 000 X, se observa que las nanopartículas de plata exhiben una morfología predominantemente esférica con una distribución homogénea y sin evidencia de signos de agregación. Estos hallazgos son consistentes con la literatura en donde enmarcan que las nanopartículas son recubiertas por los metabolitos secundarios y usualmente exhiben una forma esférica (Alvarado et al., 2023). Así mismo la distribución uniforme es significancia de que los agentes de recubrimiento actuaron eficazmente, evitando agregaciones de las nanopartículas de plata (Serunting et al., 2024; Singhal et al., 2024).

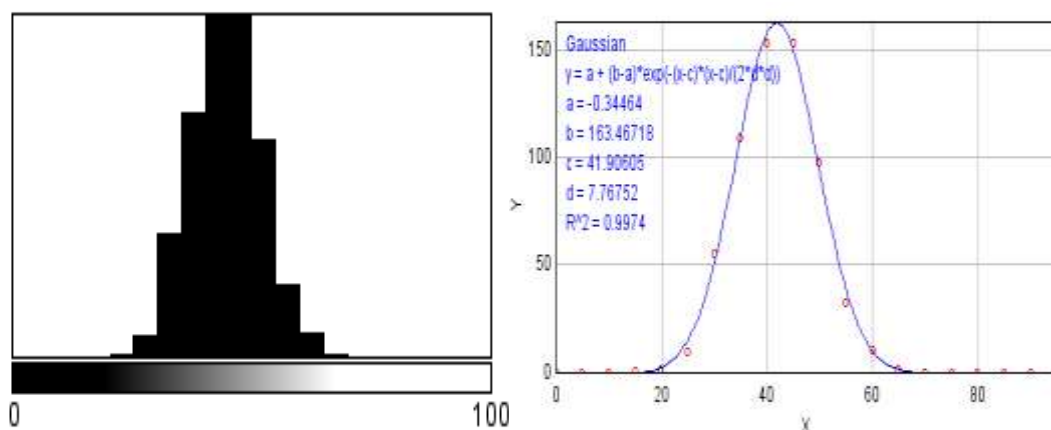


Figura 5. Histograma del tamaño de las nanopartículas y su ajuste gaussiano

En la figura 5 se presenta la distribución del tamaño de las nanopartículas de plata derivadas de las hojas de *Polylepis incarum* que fueron evaluadas a través de las imágenes del microscopio electrónico de barrido. En la figura izquierda se presenta el histograma de la frecuencia absoluta del tamaño de las nanopartículas de plata mientras que al lado derecho se muestra el ajuste de la curva gaussiana, el cual exhibe un coeficiente de determinación de 0.9974 esto indica un excelente ajuste. Estos resultados revelan que las nanopartículas de plata presentan una distribución simétrica con un tamaño promedio de 41.9 nm sugieren un proceso de síntesis homogéneo y controlado. Estos resultados concuerdan con la literatura en donde reportaron que las nanopartículas sintetizadas mediante métodos biogénicos presentaron un tamaño de 31.45 nm (Vera et al., 2022), 40.6 a 86.4 nm (Rocha et al., 2024). Asimismo, la forma y el tamaño son consistentes con estudios previos que utilizaron extractos de hojas 50 nm (Abareethan et al., 2024), 36 nm (Nassar et al., 2024). Esta consistencia entre los estudios refuerza la confiabilidad y reproducibilidad de los hallazgos actuales con respecto a la síntesis nanopartículas de plata.

b) Dispersión de energía de rayos X

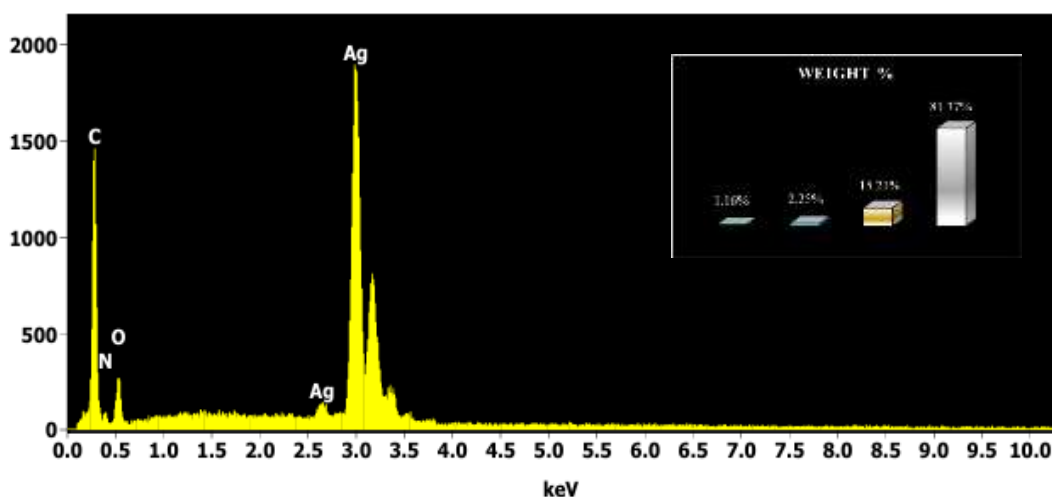


Figura 6. Composición elemental de las nanopartículas de plata

En la figura 6 muestra un pico fuerte a 3 keV con un porcentaje de 81.37 % que indica la presencia de plata elemental, esto confirma una síntesis exitosa de nanopartículas de plata con una alta pureza, la ausencia de nitrógeno en el espectro indico una reducción completa de la sal de nitrato precursora. Estos resultados son consistentes con estudios previos donde el espectro muestra un pico agudo a 3 Kev que confirma la presencia de plata de valencia cero (Rocha et al., 2024) producto de reducción del nitrato de plata a nanopartícula de plata (Kodiyala et al., 2025). En comparación con Singhal et al., (2024) obtuvieron un menor porcentaje de plata cerivalente de 68.1 % que el presente estudio

Más allá del pico prominente de plata elemental, el espectro también presenta señales correspondientes a otros elementos, en particular carbono (C) con un 15.21 %, nitrógeno 1.16 % (N) y oxígeno 2.25 % (O), indica la presencia de metabolitos secundarios que estabilizaron las nanopartículas de plata. Estos resultados son consistentes con estudios previos en donde las otras señales de C, O y N se atribuyen a la presencia de moléculas funcionales presentes en el extracto .

c) **Microscopia electrónica de transmisión**

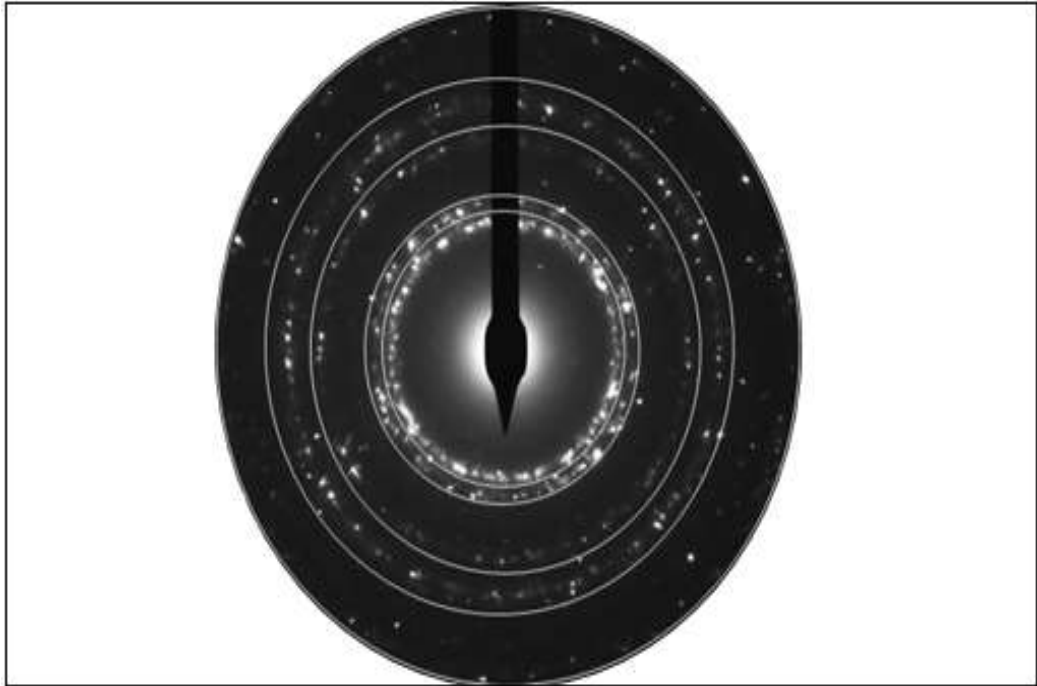


Figura 7. Micrografías de difracción de electrones de área seleccionada

En la figura 7 se muestra la micrografía de difracción de electrones de área seleccionada, típica de las nanopartículas de plata derivadas de las hojas *Polylepis incarum*. Los resultados evidencian que los anillos de difracción son concéntricos punteados, indican que las nanopartículas de plata sintetizadas ecológicamente presentan una estructura de naturaleza cristalina con diferentes formas, el cual exhibe estructura de una red cubica centrada en las caras. Estos resultados concuerdan con investigaciones con la literatura en donde los anillos de difracción son concéntricos punteados indicando una forma cubica centrada en las caras (Abareethan et al., 2024; Nassar et al., 2024; Kodiyala et al., 2025)

d) Difracción de rayos X

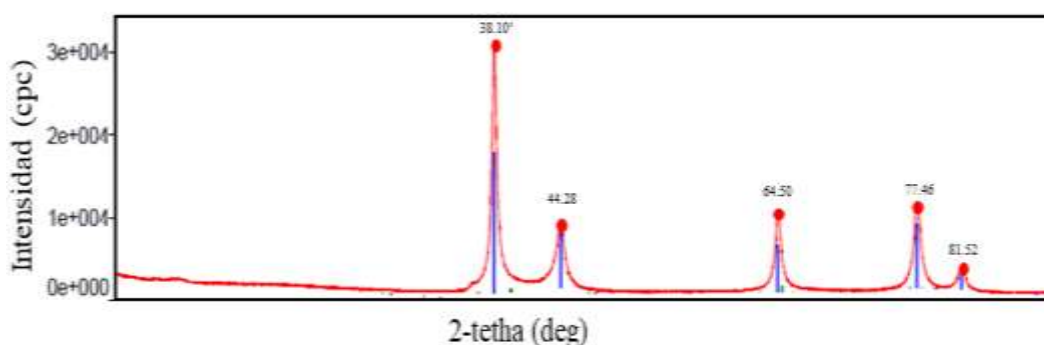


Figura 8. Espectros de difracción de rayos X

El espectro reveló cinco picos de difracción con ángulos de un valor de 2θ de 38.10° , 44.28° , 64.50° , 77.46° y 81.52° correspondiente al plano reflexiones cristalinas de (111) (200) (220) (311) (222) lo que confirma su cristalinidad con una estructura cristalina cubica centrada en las caras. Estos hallazgos validan aún más la naturaleza cristalina y la integridad estructural de las nanopartícula de plata derivadas proporcionando información esencial sobre sus propiedades. Estos resultados coinciden con la literatura en donde los planos a (111) (200) (220) (311) (222) corresponden a la difracción discreta a 38.04° , 43.69° , 64.39° , 77.07° y 81.49° (Gavade et al., 2025). Asimismo Kodiyala et al. (2025), obtuvieron picos difracción cercanos a 38.32° , 44.47° , 64.66° y 77.55° . Con ello se indexan como una estructura cubica centrada en las caras (Abareethan et al., 2024)

e) Fluorescencia por rayos X

La caracterización elemental de las nanopartículas de plata sintetizadas ecológicamente se realizó mediante fluorescencia por rayos X con sistema de energía dispersiva, utilizando un tubo de rayos X de 50 kV y un detector de tipo SSD. Los resultados obtenidos revelaron una composición predominante de oxígeno 83.5 % y un contenido significativo de plata 8.32 %, lo cual sugiere una alta proporción de grupos oxigenados asociados a los grupos funcionales del extracto vegetal que estabilizaron las nanopartículas de plata. Este resultado respalda la exitosa síntesis de nanopartículas de plata derivadas de *Polylepis incarum*.

4.2.Optimización de los parámetros experimentales dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y pH mediante la metodología de superficie de respuesta

4.2.1. Toma de muestra

Tabla 3

Coordenadas de la toma de muestra de agua cruda del río Coata

Coordenadas UTM (Zona 19 L)		Altitud (m.s.n.m.)
Este	Norte	
0381318	8289707	3859

En la tabla 3 presenta las coordenadas geográficas del punto de muestreo de agua cruda del río Coata, registradas mediante un dispositivo de GPS de marca GARMIN, configurado en el sistema de coordenadas UTM, zona 19L. Las coordenadas obtenidas fueron (Este 0381318 y Norte 8289707) con una altitud de 3859 m.s.n.m. Este punto de muestreo fue establecido por la Empresa Prestadora de Servicios de Agua Potable Sedajuliaca como sitio de captación de agua cruda del río Coata. La selección de este punto de muestreo responde a criterios técnicos como la fácil accesibilidad, flujo de corriente homogénea y baja turbulencia, estas condiciones aseguran la representatividad de la muestra de agua (ANA, 2016).

La recolección de la muestra de agua cruda del río Coata se efectuó empleando un brazo muestreador, lo cual permitió acceder a la columna de agua sin perturbar las características fisicoquímicas del cuerpo hídrico. La muestra fue recolectada de manera directa del río Coata a una profundidad de 20 cm – 30 cm en dirección opuesta del flujo del río, con el fin de evitar los sedimentos del fondo (ANA, 2016). Asimismo, conforme a la directrices de la ANA y DIGESA se dejó un espacio de 1/3 del frasco de vidrio para la aireación y mezcla de la muestra (DIGESA, 2007).

Tabla 4*Parámetros físicos del agua cruda del río Coata*

Parámetro	Unidad	Valores	ECA (Categoría 1-A2)
pH	-	7.01	5.5-9.0
Temperatura	°C	12.7	Δ3 °C
Turbiedad	NTU	26.1	100
Solidos totales disueltos	mg/L	267	1000
Conductividad eléctrica	μS/cm	561	1600

En la tabla 4 se presentan los resultados de los parámetros físicos del agua cruda del río Coata, los cuales fueron comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas en la Categoría 1, subcategoría A2 correspondiente a Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (MINAM, 2017). El valor del pH registrado fue de 7.01 este valor indica la una condición neutra, mientras que la temperatura del agua fue de 12.7 °C valor característica de zonas alto andinas debido a su altitud. La turbiedad registrada alcanzo los 26.1 NTU este valor nos indica que el agua fue turbia debido a las partículas suspendidas y coloides que limitan el paso de la luz a través del agua. En cuanto a la concentración de solidos totales disueltos se obtuvo una concentración de 267 mg/L, mientras que la conductividad eléctrica fue de 561 μS/cm ambos valores son indicativos de una mineralización baja. La salinidad estimada a 0.3 % es compatible con cuerpos hídricos de agua dulce. Todos los parámetros mencionados se encuentran por debajo del umbral de los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas. Estos valores de los resultados son consistentes con estudios previos realizados en la misma cuenca hidrográfica, como Espinoza (2023), quien reporto un pH 7.3, temperatura 12 °C, Conductividad 460 μS/cm y (TDS) 229 mg/L.

4.2.2. Aplicación de las nanopartículas de plata con la muestra de agua

El análisis bacteriológico del agua cruda del río Coata se llevó a cabo mediante el método filtración por membrana, inicialmente se introdujo la dosis de nanopartículas de plata (0.0005, 0.00075 y 0.001 g/100 mL), posteriormente se ajustó el pH a (6, 7 y 8) con hidróxido de sodio (0.1 M NaOH) y ácido clorhídrico (0.01 M HCl) y tiempo de contacto a (20, 30 y 40 minutos). Después de ello se incubó durante de 24 horas durante 37°C. Finalmente se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC), totalizando 571 (UFC).

Este resultado evidencia una elevada carga microbiana en el margen izquierdo del río Coata, correspondiente al punto de muestreo del presente estudio. Esta observación concuerda con evaluaciones previas realizadas por la EPS Sedajuliaca, que señalaron una mayor carga bacteriana en el margen izquierdo en comparación con los márgenes derecho y central del cauce del río Coata. Esta elevada carga microbiana ha sido atribuida principalmente a procesos de lixiviación de fosas sépticas que favorecen el ingreso de microorganismos patógenos al cuerpo hídrico. Estudios anteriores han documentado niveles alarmantes desde reportes de coliformes fecales de 574 MNP/100 mL, coliformes totales hasta 46000 NMP/100 mL y termotolerantes alcanzando los 170000 NMP/100 mL (Nieto et al., 2021) .

Tabla 5*Tratamientos mediante metodología de superficie de respuesta*

Orden de ejecución	Nanopartículas de plata (g/100 mL)	Tiempo (min)	pH	Número de colonias bacterianas inhibidas (UFC/100 mL)	Inhibición del crecimiento bacteriano (%)
1	0.001	20	6	564	98.774
2	0.00075	30	6	545	95.447
3	0.00075	30	7	547	95.797
4	0.001	40	8	567	99.299
5	0.00075	30	7	545	95.447
6	0.0005	20	6	497	87.04
7	0.001	40	6	566	99.124
8	0.00075	20	7	524	91.769
9	0.0005	20	8	489	85.639
10	0.0005	40	8	523	91.594
11	0.00075	30	8	541	94.746
12	0.001	30	7	570	99.825
13	0.00075	30	7	546	95.622
14	0.00075	30	7	543	95.096
15	0.0005	30	7	518	90.718
16	0.001	20	8	561	98.249
17	0.00075	40	7	536	93.87
18	0.00075	30	7	542	94.921
19	0.0005	40	6	514	90.018
20	0.00075	30	7	548	95.972

En la tabla 5 presenta los resultados experimentales obtenidos mediante la metodología de superficie de respuesta, los resultados revelaron que a una concentración de 0.0005 g/mL el número de colonias bacterianas inhibidas fue de 523 UFC/100 mL, mientras que a una concentración de 0.00075 g/mL el número de colonias bacterianas aumentaron a 548 UFC/100 mL y finalmente a una concentración de 0.001 g/mL número de colonias bacterianas inhibidas se maximizó a 570 UFC/100 mL. Evidenciando un efecto antimicrobiano directamente proporcional con el aumento la concentración de nanopartículas de plata. Estos resultados concuerdan con estudios previos que enmarcan que las capacidades antibacterianas de las nanopartículas de plata son dependientes de la dosis (Singhal et al., 2024) de manera similar mostraron actividad inhibitoria a concentraciones de 25 50 y 100 microgramos/ml (Prabula et al., 2024).

El mecanismo de la acción antibacteriana de las nanopartículas de plata se enmarcan a la literatura en donde las fuerzas van der Waals y la atracción electrostática, conducen a la formación de especies reactivas de oxígeno, inhibición de la replicación del ADN y daño de los orgánulos, así como fuga de citoplasma resultante de la perforación de la membrana celular (Ferreira et al., 2025). Estos resultados subrayan la importancia de optimizar los parámetros experimentales para maximizar la efectividad de la eficiencia de las nanopartículas de plata e ion plata en aplicaciones ambientales específicamente en potabilización de agua (Chura y Gomez, 2018).

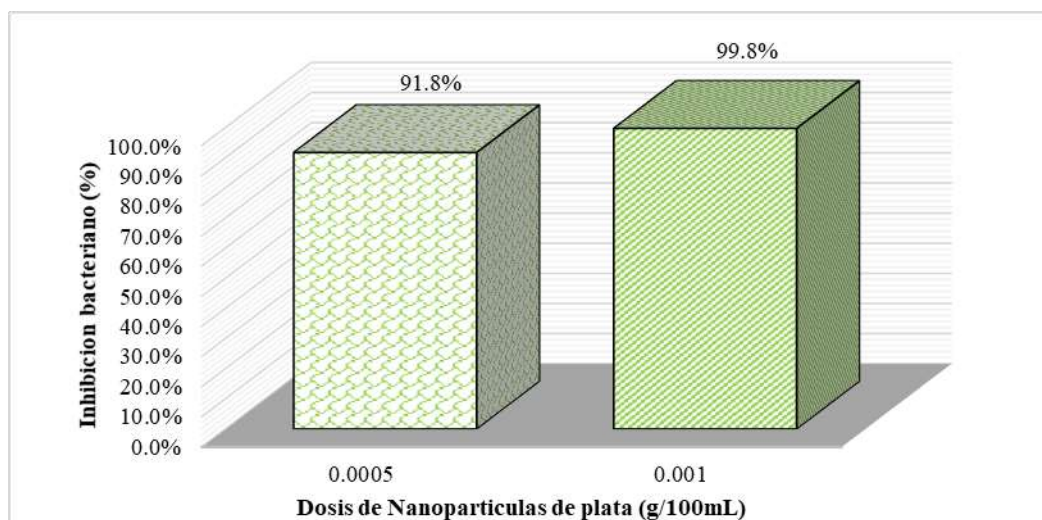


Figura 9. Efecto de la dosis de nanopartículas de plata

El efecto de la dosis de nanopartículas de plata sobre la inhibición del crecimiento bacteriano evidenció una relación directa y una sinergia elevada, evidenciada por un incremento tasa de inhibición del crecimiento bacteriano, que paso de un 90.7 % a 99.8 % al aumentar la concentración de nanopartículas de plata de 0.0005 g/mL a 0.001 g/mL. Este comportamiento se atribuye a una mayor expansión de la superficie de contacto entre las nanopartículas de plata y los microorganismos patógenos, lo que favorece a la interacción celular y potencia el efecto antibacteriano.

Estos resultados son consistentes con estudios previos que destacan como el aumento de concentración de nanopartículas de plata contribuyen al incremento de la actividad bacteriana (Vadakkan et al., 2024). Esta evidencia resalta la importancia de la optimización de la dosis como parámetro fundamental en la maximización de la eficiencia de los procesos de desinfección basados en nanopartículas de plata (Singhal et al., 2024).

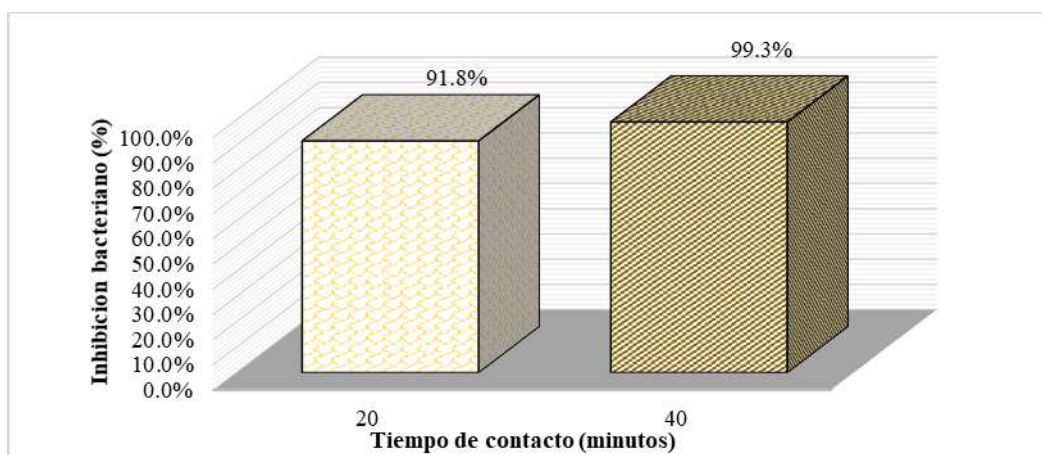


Figura 10. Efecto del tiempo de contacto

El tiempo de contacto se consolidó como un parámetro crítico en la optimización la inhibición del crecimiento bacteriano, mostrando una influencia significativa sobre la eficiencia del tratamiento. Se observó un incremento en la tasa de inhibición del 91.8 % al 99.3 % al aumentar el periodo de exposición de 20 minutos a 40 minutos, lo que indica que un mayor periodo de contacto permite que las nanopartículas de plata interactúen eficazmente con las bacterias, favoreciendo su adhesión, penetración y acción biocida. Estos resultados se alinean estrechamente con la literatura existente, que destacan como la tasa de desinfección se mantiene elevada con un buen periodo de tiempo de contacto entre las nanopartículas de plata con las bacterias (Vadakkan et al., 2024).

El efecto del pH sobre la inhibición del crecimiento bacteriano fue menos significativo en comparación que los otros parámetros evaluados, como la dosis de nanopartículas de plata y el tiempo de contacto. Los hallazgos de este estudio revelaron que un aumento de pH de 6 a 7 estuvo asociado con una mejora en la tasa de inhibición del crecimiento bacteriano mientras que un incremento adicional de pH de 7 a 8 condujo a una la tasa de inhibición decreciente. Estos resultados concuerdan con la literatura que destacan que las bacterias aumentan su capacidad de supervivencia al adaptarse al medio básico, esta adaptabilidad subraya la compleja interacción entre los factores ambientales y el comportamiento microbiano (Amibo et al., 2024).



Figura 11. Optimización del porcentaje de inhibición bacteriano

En la figura 11 se ilustra los parámetros óptimos obtenidos a través del análisis de optimización numérica, los cuales permitieron maximizar el porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano considerando los factores experimentales dosis de nanopartículas de plata, tiempo de contacto y pH dentro de sus respectivos límites superior e inferior. La elección de estas condiciones se basó en obtención de una deseabilidad compuesta máxima de 1.000, realizando ensayos por triplicado para confirmar aún más la condición ideal. Las condiciones óptimas obtenidas del software fueron de 99.98 % lograda a una dosis de 0.0009 g/100 mL, tiempo de 29.44 minutos y pH 7.27 respectivamente. Hubo una variación muy pequeña entre el resultado predicho y el experimental, este logro máximo indica el potencial del antibacteriano de las nanopartículas de plata sintetizadas con *Polylepis incarum*. Estos resultados coinciden con estudios anteriores en donde destacan y utilizaron la optimización numérica para predecir con mucha más precisión los parámetros óptimos (Hoseini et al., 2025)

4.3. Determinación de la eficiencia de inhibición bacteriana de las nanopartículas de plata para el tratamiento de agua cruda del río Coata

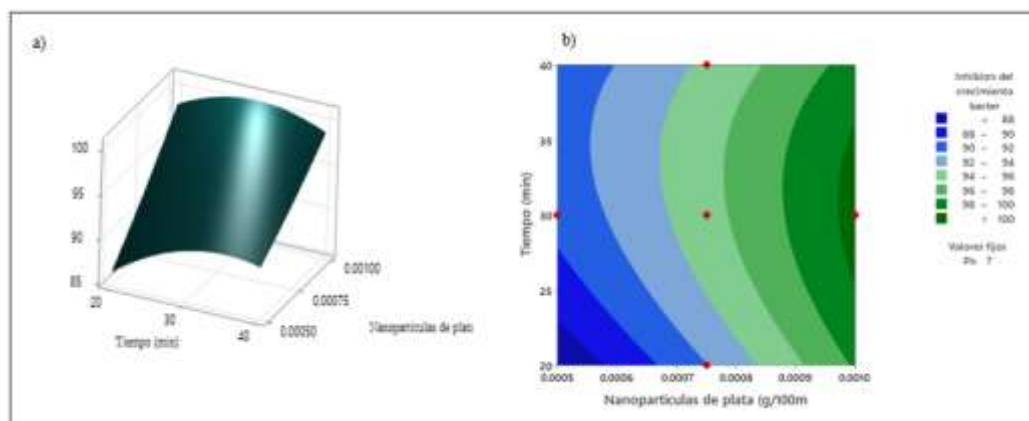


Figura 12. Gráfico de superficie 3-D efecto de interacción en la inhibición bacteriana

En la figura 12 se presenta el diagrama de superficie de respuesta, en la figura a) se presenta el gráfico de 3D y la figura b) presenta el gráfico de contorno, ambos gráficos demuestran el efecto de interacción de la dosis de nanopartículas de plata y el tiempo de contacto en la inhibición del crecimiento bacteriano. Así mismo aumento de dosis resulto mayor eliminación bacteriana, del mismo modo la eficiencia de la desinfección también incremento con tiempos de contacto más prolongados. La interacción entre ambos parámetros tuvo un impacto significativo en la eliminación de bacterias con un valor ($p < 0.05$) según el análisis de varianza de ANOVA.

La inhibición de crecimiento bacteriano máximo del 99.8 % se logró con una dosis de nanopartículas de plata de 0.001 g/mL, un tiempo de contacto de 30 minutos y un pH 7. Sin embargo, otras combinaciones de variables como dosis de nanopartícula de plata y pH no mostraron efectos notables. Esto explica porque, aunque una dosis mayor facilita la eliminación bacteriana, un aumento de pH reduce la eficiencia es debido a la adaptabilidad de las bacterias a medio alcalinos dado a ello la variable respuesta no logra una variación significativa, de forma similar la interacción entre tiempo y pH sigue esta tendencia. Estos resultados coinciden con investigaciones anteriores en donde utilizaron los gráficos de superficie para ilustrar los efectos combinatorios (Abareethan et al., 2024; Hoseini et al., 2025)

4.3.1. Contraste de hipótesis

Tabla 6

Análisis de varianza ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor <i>F</i>	Valor- <i>p</i>
Modelo	294.14	9	32.68	100.45	< 0.0001
A-AgNP	252.63	1	252.63	776.44	< 0.0001
B-Tiempo	15.46	1	15.46	47.52	< 0.0001
C-pH	0.0767	1	0.0767	0.2359	0.6377
AB	7.09	1	7.09	21.8	0.0009
AC	0.0345	1	0.0345	0.1059	0.7516
BC	1.69	1	1.69	5.19	0.0459
A ²	0.3074	1	0.3074	0.9447	0.354
B ²	12.33	1	12.33	37.9	0.0001
C ²	0.0698	1	0.0698	0.2145	0.6532
Residual	3.25	10	0.3254		
Falta de ajuste	2.43	5	0.486	2.95	0.1301

En la tabla 6 los resultados indicaron que los factores lineales A, B, el factor de interacción AB y BC y los factores cuadráticos B² fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$). En este contexto la dosis de nanopartículas de plata (A-AgNP) mostro una influencia estadísticamente muy significativa sobre el porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano ($p < 0.0001$), de igual modo el tiempo de contacto (B-Tiempo) presento un efecto significativo ($p < 0.0001$). Por el contrario, el factor (C-pH) no mostro un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.6377$), los cual sugiere que este parámetro no tiene impacto en la inhibición bacteriana. Sin embargo, la interacción entre dosis de nanopartículas de plata y tiempo (AB) resulto significativa ($p = 0.0009$), lo que evidencia un efecto sinérgico entre ambos factores que optimiza la eficiencia del tratamiento. Las interacciones de BC ($p = 0.0459$) y el termino cuadrático de B² ($p = 0.0001$) también demostraron ser significativos.

Por otro lado, la falta de ajuste de no fue significativa ($p = 0.1301$), lo cual confirma la adecuación del modelo propuesto y respaldan estadísticamente la viabilidad del uso de nanopartículas de plata en la inhibición del crecimiento bacteriano siendo la dosis de nanopartículas de plata y el tiempo de contacto los factores críticos para maximizar su efectividad. Estos resultados son consistentes con la literatura en donde utilizaron el análisis de varianza ANOVA para determinar la significancia de las variables independientes y sus interacciones (Abareethan et al., 2024; Khereshki et al., 2025), el valor p determina si el efecto del modelo y de cada factor es significativo estableciendo una significancia de $p < 0.05$ (Sarkar et al., 2024).

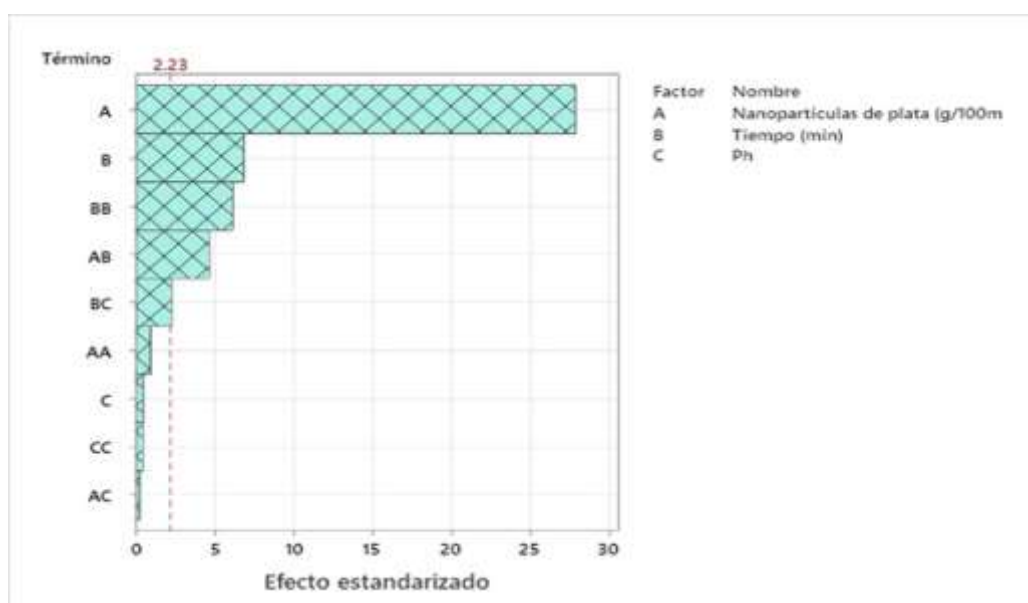


Figura 13. Diagrama de Pareto

En la figura 13 las barras correspondientes a los factores lineales A, B, así como a sus interacciones AB y BC junto con el término cuadrático B^2 superaron el umbral crítico de 2.23, esto nos indica un efecto estadísticamente significativo. En contraste con factor C, AC, A^2 y C^2 no superaron dicho umbral, lo que sugiere que no ejerce una influencia significativa. Este análisis confirma los hallazgos del análisis de varianza de ANOVA y respalda del modelo cuadrático. Además estos resultados coinciden con estudios previos que utilizaron el diagrama de Pareto para identificar los factores más significativos que afectan el la variable respuesta (Khereshki et al., 2025).

Tabla 7*Estadística del modelo cuadrático*

R^2	$R^2_{\text{(ajustado)}}$	$R^2_{\text{(predicho)}}$
98.91 %	97.92 %	91.05 %

En la tabla 7 se presenta la estadística de ajuste del modelo cuadrático, evidenciando un excelente grado de ajuste, con valores máximos de R^2 (98.91 %), R^2 ajustado (97.92 %) y R^2 predicho (91.05 %). Estos indicadores respaldan la idoneidad del modelo cuadrático como el más adecuado, empleando para su validación estadística los valores de p y F, los coeficientes de determinación, así como la falta de ajuste y la consistencia de correlación entre variables. Asimismo, la concordancia razonablemente entre R^2 ajustado y el R^2 predicho con una diferencia inferior a 0.2, indica una buena capacidad predictiva. Este conjunto de indicadores respalda la selección del modelo cuadrático como una herramienta estadística para optimizar la eficiencia de inhibición bacteriana. Estos resultados son consistentes en donde la aceptación de un modelo matemático se basan en técnicas de regresión, Kemala et al., (2025) reportó resultados similares con esta investigación, en donde el R^2 fue de 98.91 % y el R^2 ajustado fue de 97.92 %. De manera similar Hoseini et al., 2025 reportó que R^2 fue de 98.22 %, el R^2 ajustado fue de 96.15 % y el R^2 predicho fue de 89.97 %.

Ecuación del porcentaje de eficiencia de inhibición del crecimiento bacteriano

Eficiencia de inhibición del crecimiento bacteriano (%)

$$\begin{aligned}
 &= 95.26 + 5.03A + 1.24B - 0.0876C - 0.9416AB \\
 &- 0.0656AC + 0.4596BC + 0.3343A^2 - 2.12B^2 \\
 &+ 0.1593C^2
 \end{aligned} \tag{4}$$

Donde:

- A es la dosis de nanopartículas de plata(g/100mL)
- B Representa el tiempo de contacto en (minutos)
- C es el pH.

La ecuación del porcentaje de eficiencia de inhibición del crecimiento bacteriano se expresa en términos del factor codificado, demostrando las relaciones entre los factores como la (dosis de nanopartícula de plata, tiempo de contacto y el pH) y la respuesta (porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano). En investigaciones recientes manifiestan que las ecuaciones vinculan los factores de entrada y salida mediante técnicas de regresión (Kemala et al., 2025)

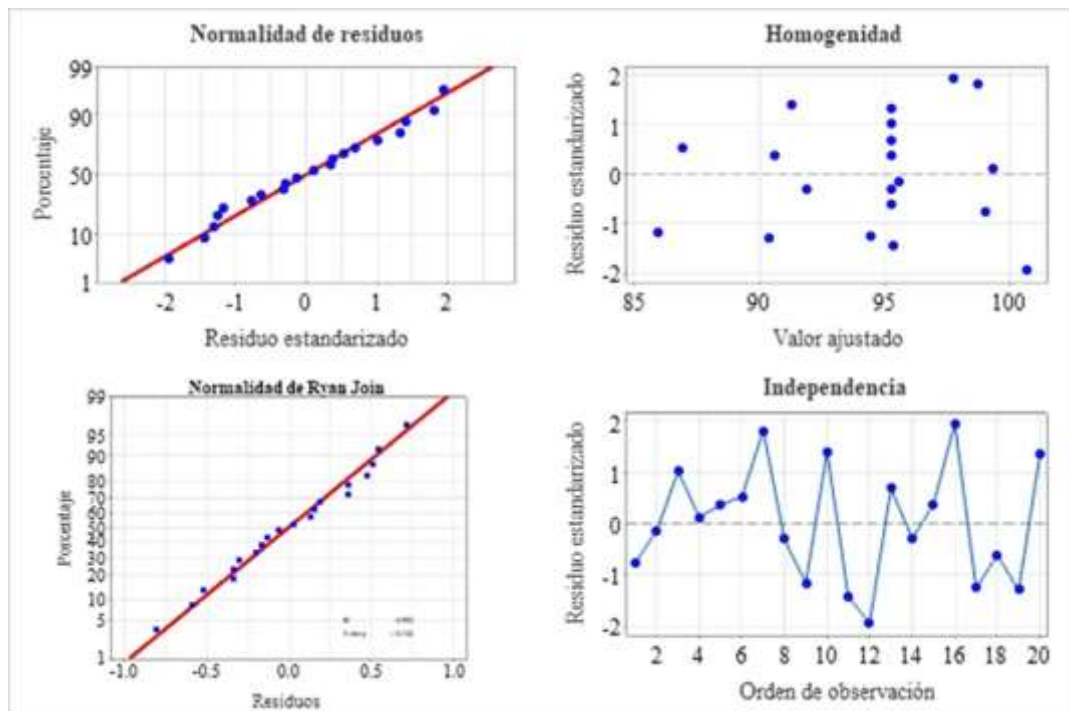


Figura 14. Criterios de análisis ANOVA

En la figura 14 se presentan los graficas que permiten validar los supuestos de ANOVA, el supuesto de la normalidad se confirma mediante la alineación de los puntos en la gráfica de probabilidad normal, así como en la prueba de Ryan-Joiner ($p > 0.100$), lo que indica una distribución normal de los residuos. La homogeneidad de varianzas se evidencia en la dispersión aleatoria de los residuos estandarizados frente a los valores ajustados, sin formación de patrones sistemáticos. Finalmente, la independencia se valida por la ausencia de tendencias en el gráfico de residuos respecto al orden de observación. Estos resultados respaldan el cumplimiento de los supuestos de ANOVA, en concordancia con estudios previos que utilizaron herramientas graficas similares para su validación (Sarkar et al., 2024).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró biosintetizar nanopartículas de plata a partir de los compuestos fenólicos presentes en las hojas de *Polylepis incarum*. El extracto vegetal presentó una concentración de polifenoles de 30.77 AGmg/L y reveló la presencia de flavonoides, sesquiterpenlactonas, saponinas y terpenos como metabolitos secundarios. Las nanopartículas de plata obtenidas exhibieron una naturaleza cristalina cúbica centrada en las caras, con morfología esférica predominante, distribución homogénea y un tamaño promedio de 41.9 nm, sin evidencia de signos de agregación, confirmando una síntesis eficiente y estable.

Mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta bajo un diseño compuesto central, se optimizaron los parámetros experimentales que influyen en inhibición del crecimiento bacteriano, evaluando 20 tratamientos. El incremento de la dosis de nanopartículas de plata de 0.0005 g/mL a 0.001 g/mL elevó la eficiencia de inhibición de 90.7 % a 99.8 %. Asimismo, al aumentar el tiempo de exposición de 20 minutos a 40 minutos mejoró la tasa de inhibición de 91.8 % al 99.3 %. Ambos factores fueron estadísticamente significativos, mientras que el factor pH no mostró una influencia relevante, posiblemente debido a la capacidad adaptativa de las bacterias en medios alcalinos. La optimización de los parámetros experimentales fue del 99.98 % a una dosis de 0.0009 g/100mL, tiempo de 29.44 minutos y pH 7.27 respectivamente.

La eficiencia de inhibición del crecimiento bacteriano se maximizó en el tratamiento experimental N° 12 en condiciones de dosis de nanopartículas de plata de 0.001 g/mL, un tiempo de contacto de 30 minutos y un pH 7, logrando una mayor eficiencia de inhibición del crecimiento bacteriano del 99.8 %. Este hallazgo respalda el potencial de las nanopartículas de plata sintetizadas de las hojas de *Polylepis incarum* como una alternativa efectiva y sostenible.

5.2.Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios que incorporen el uso de solventes alternativos como el etanol o metanol con el objetivo de mejorar la obtención la extracción mayor de compuestos bioactivos de las hojas de *Polylepis incarum*

Asimismo, se sugiere incorporar y evaluar el efecto de la temperatura como variable experimental en futuras investigaciones considerando rango controlado de 15 °C, 20 °C y 25 °C

Finalmente se recomienda investigar la influencia del pH en la adaptabilidad y persistencia de bacterias patógenas presentes en aguas superficiales ubicadas a más de 3500 m.s.n.m.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abareethan, M., Sathiyapriya, R., Pavithra, M. E., Parvathy, S., Thirumalaisamy, R., Selvankumar, T., Chinnathambi, A., & Almoallim, H. S. (2024). Biogenic silver nanoparticles from *Solanum trilobatum* leaf extract and assessing their antioxidant and antimicrobial potential. *Chemical Physics Impact*, 9, 100771. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100771>
- Alarcón, H., Tolmos, M., Villacrés, N., & Huarote, E. (2021). Green chemistry—An eco-friendly alternative in obtaining AG0 nanoparticles. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3), Article 3. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.354>
- Ali, Z. H., & Fatlawi, A. H. (2023). Efficiency of silver nano particles in removing *Escherichia coli* ATCC 25922 from drinking water distribution pipes. *Results in Engineering*, 17, 100988. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100988>
- Alvarado, C., Burgos, R. L., Intriago, H. G., Leal, A., & Alvarado, D. L. (2023). Silver nanoparticles and cellulose microfiber micro-composite from banana (*Musa acuminata*) waste: Green synthesis, antioxidant property and antimicrobial capacity. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.003>
- Amibo, T. A., Majamo, L. S., & Mekonnen, D. T. (2024). Optimizing bacterial growth inhibition in spring water through central composite design using a nanocomposite of nanocellulose and green-synthesized nanosilver. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05446-z>
- ANA. (2015). Informe Técnico N° 172—2015-ANA-AAA.TIT-SDGCRH. *Portal de Autoridad Nacional del Agua*.
- ANA. (2016). Protocolo nacional para monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. *Ministerio de Agricultura- Autoridad Nacional del Agua*. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/rj._010-2016-ana_0.pdf
- ANA. (2019). Resultados de monitoreo participativo de la calidad de agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata. *Portal de Autoridad Nacional del Agua*.
- Anupam, K., Aggrawal, R., Bhattacharya, I., Das, S., Goley, P. K., Anupriya, Yadav, V., Shakya, A., Singh, R., Dixit, A. K., Bhaskar, T., & Dutt, D. (2025). Role of nanotechnology in the treatment of industrial effluent – a bibliometrics perspective. En R. Singh, A. Kumar, & S. Sinha (Eds.), *Advances in Chemical Pollution*,

- Environmental Management and Protection* (Vol. 12, pp. 187-283). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2024.10.007>
- APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Metodos Normalizados para el Analisis de Aguas potables y Residuales. Standard Methods-For the Examination of Water and Wastewater. 17 Edition.*
- Araújo, R. S. de, Barbosa, M. R. F., Dropa, M., Araujo de Castro, V. C., Galvani, A. T., Padula, J. A., Bruni, A. de C., Brandão, C. J., Lallo, M. A., & Sato, M. I. Z. (2024). Environmental surveillance of *Cryptosporidium* and *Giardia* in surface supply water and treated sewage intended for reuse from an urban area in Brazil. *Environmental Pollution*, *363*, 125089. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125089>
- Bakry, A. M., Alamier, W. M., Salama, R. S., Samy El-Shall, M., & Awad, F. S. (2022). Remediation of water containing phosphate using ceria nanoparticles decorated partially reduced graphene oxide (CeO₂-PRGO) composite. *Surfaces and Interfaces*, *31*, 102006. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2022.102006>
- Barranquero, R. S., Guerrero, M., Noriega, R. B., Ruiz de Galarreta, A., Mezzina, A., Paz, L. E., San Juan, R. F., Varni, M., & Cortelezzi, A. (2023). Environmental assessment of water management and urban growth: A case study in an Argentina Pampean plain's basin. *Applied Geography*, *160*, 103095. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103095>
- Beretta, A., & Carrasco, L. (2021). Relevant factors in the eutrophication of the Uruguay River and the Río Negro. *Science of The Total Environment*, *761*, 143299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143299>
- Bhatt, S., Mishra, A. P., Chandra, N., Sahu, H., Chaurasia, S. K., Pande, C. B., Agbasi, J. C., Ali Khan, M. Y., Abba, S. I., Egbueri, J. C., Durin, B., & Hunt, J. (2024). Characterizing seasonal, environmental and human-induced factors influencing the dynamics of Rispana River's water quality: Implications for sustainable river management. *Results in Engineering*, *22*, 102007. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102007>
- Bhatt, Swain, M., & Yadav, D. (2025). Artificial intelligence based detection and control strategies for river water pollution: A comprehensive review. *Journal of Contaminant Hydrology*, *271*, 104541. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2025.104541>
- Biswas, A., Bayer, I. S., Biris, A. S., Wang, T., Dervishi, E., & Faupel, F. (2012). Advances in top-down and bottom-up surface nanofabrication: Techniques, applications &

- future prospects. *Advances in Colloid and Interface Science*, 170(1), 2-27. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.11.001>
- Borah, G., ukwishaka, Y., Thakur, A., Kumar, A., Komal, K., Kumar, M., Singh, P., & Borah, P. (2025). Microbial fabrication of biogenic nanoparticles and their applications in water remediation. *Total Environment Engineering*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.teengi.2025.100006>
- Budhathoki, S., Chaudhary, N., Guragain, B., Baral, D., Adhikari, J., & Chaudhary, N. K. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles from Brassaiopsis hainla extract for the evaluation of antibacterial and anticorrosion properties. *Heliyon*, 10(15), e35642. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35642>
- Cabana, N. A., & Lipe, R. (2019). Evaluación de la curtición de piel de cuy (*Cavia porcellus*) con extracto tánico de queñua (*Polylepis incana*), según la raza (Perú, Andina) y altitud (Arequipa, Puno). *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11453>
- Calderón, D., Corbera, F., Cuesta, M., Pieterse, B., Ridder, D., van Loosdrecht, M. C. M., van Halem, D., Laurenzi, M., & Weissbrodt, D. G. (2023). Microbiome, resistome and mobilome of chlorine-free drinking water treatment systems. *Water Research*, 235, 119905. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119905>
- Changmai, B., Sudarsanam, P., & Rokhum, S. L. (2020). Biodiesel production using a renewable mesoporous solid catalyst. *Industrial Crops and Products*, 145, 111911. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111911>
- Chaves, R. S., Guerreiro, C. S., Cardoso, V. V., Benoliel, M. J., & Santos, M. M. (2019). Hazard and mode of action of disinfection by-products (DBPs) in water for human consumption: Evidences and research priorities. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 223, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.05.015>
- Choque, D., Herbas, R. K., Ligarda, C. A., Solano, A. M., Buleje-Campos, D., Choque, Y., Muñoz, J. C., Pumacayo, Z. O., Sumarriva, L. A., & Silvera, N. A. (2024). Caffeine, surfactants and organic matter in a high Andean River: Chumbao River case, Apurimac, Peru. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100548. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100548>
- Chura, P. E., & Gomez, J. (2018). Estudio de filtros cerámicos impregnados con plata coloidal, como un sistema de tratamiento de agua para procesos agroindustriales.

- Universidad Nacional del Altiplano.* <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8492>
- Contreras, J. E., Rodriguez, E. A., & Taha-Tijerina, J. (2017). Nanotechnology applications for electrical transformers—A review. *Electric Power Systems Research*, *143*, 573-584. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.10.058>
- Deka, K., Nongbet, R. D., Das, K., Saikia, P., Kaur, S., Talukder, A., & Thakuria, B. (2025). Understanding the mechanism underlying the green synthesis of metallic nanoparticles using plant extract(s) with special reference to Silver, Gold, Copper and Zinc oxide nanoparticles. *Hybrid Advances*, *9*, 100399. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100399>
- Dhanalakshmi, M., & Losetty, V. (2024). Synthesis of sustainable silver nanoparticles using plant extract and their antimicrobial, anticancer, and photocatalytic dye degradation efficiency analysis. *Process Biochemistry*, *144*, 64-78. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.05.026>
- Dheyab, M. A., Aziz, A. A., Nowfal, S. H., Braim, F. S., Abdullah, W., Kasasbeh, W. H., Jameel, M. S., Alanezi, S. T., Alrosan, M., & Oladzadabbasabadi, N. (2025). Sustainable green synthesis of silver nanoparticles for safer biomedical application. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *13*(2), 115998. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115998>
- Díaz, S. M., Barrios, M. E., Galli, L., Cammarata, R. V., Torres, C., Fortunato, M. S., García López, G., Costa, M., Sanguino Jorquera, D. G., Oderiz, S., Rogé, A., Gentiluomo, J., Carbonari, C., Rajal, V. B., Korol, S. E., Gallego, A., Blanco Fernández, M. D., & Mbayed, V. A. (2024). Microbiological hazard identification in river waters used for recreational activities. *Environmental Research*, *247*, 118161. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118161>
- DIGESA. (2007). Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales. *Portal del MINSA.* [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/protocolo-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales-\(continentales\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/protocolo-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales-(continentales).pdf)
- Du, J., Liu, D., Zhang, Z., Ai, H., Fu, M.-L., Sun, W., & Yuan, B. (2024). Comparative effectiveness of sequential and synergistic (VUV/UV) and chlorine disinfection on DBPs and humic acid reduction. *Separation and Purification Technology*, *335*, 126083. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.126083>

- ECA. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, DS-004-2017-MINAM*.
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- El-Berry, M. F., Sadeek, S. A., Abdalla, A. M., & Nassar, M. Y. (2020). Facile, controllable, chemical reduction synthesis of copper nanostructures utilizing different capping agents. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 51(10), 1418-1430. <https://doi.org/10.1080/24701556.2020.1837162>
- EPS Sedajuliaca. (2010). Memoria descriptiva del sistema existente de agua potable y alcantarillado en la EPS Sedajuliaca S.A. *Porta EPS Sedajuliaca*. <https://sedajuliaca.com/plan-operativo-institucional/>
- Espinoza, A. (2023). Determinación de los parametros físicos y químicos en las aguas superficiales del río Coata, (puente independencia) zona baja – distrito de Coata 2022. *Repositorio de la Universidad Privada San Carlos*.
- Ferreira, A. P. V., Jimenez, L. E., Álvarez, R. M. S., Dalmaso, P. R., & Hollmann, A. (2025). Physicochemical and biological characterization and applications of silver nanoparticles obtained by green synthesis using *Cichorium intybus*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 709, 136075. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.136075>
- Ferro, P., Morales, E., Ticona, E., Ferró-Gonzales, P., Oblitas, A., & Ferró-González, A. L. (2024). Water quality and phenotypic antimicrobial resistance in isolated of E. coli from water for human consumption in Bagua, under One Health approach. *Heliyon*, 10(1), e23961. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23961>
- Ferro, P., Rossel, L. J., Ferró, A. L., & Vaz, I. (2022). Quality Control of Drinking Water in the City of Ilave, Region of Puno, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710779>
- Fouad, H., Hongjie, L., Yanmei, D., Baoting, Y., El-Shakh, A., Abbas, G., & Jianchu, M. (2017). Synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus subtilis* to control filarial vector *Culex pipiens pallens* and its antimicrobial activity. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45(7), 1369-1378. <https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1241793>
- Gakiya, M., Palomino, L., Pierce, S., Angeles, A. M., Krishna, V., & Rodriguez, J. C. F. (2020). Enhanced antimicrobial activity of silver nanoparticles conjugated with

- synthetic peptide by click chemistry. *Journal of Nanoparticle Research*, 22(4), 90. <https://doi.org/10.1007/s11051-020-04799-6>
- Gao, Y., Wang, S., Zhang, C., Xing, C., Tan, W., Wu, H., Niu, X., & Liu, C. (2023). Assessing the impact of urban form and urbanization process on tropospheric nitrogen dioxide pollution in the Yangtze River Delta, China. *Environmental Pollution*, 336, 122436. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122436>
- Gavade, N. L., Deshmukh, S. P., Serena Dossou, A., Raut, S., & Garadkar, K. M. (2025). Phytosynthesis of anisotropic silver and gold nanoparticles: Characterization and anticancer activity towards HIO180 and HeyA8 cells. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 333, 125905. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2025.125905>
- Goyal, R., Devi, M., Gautam, R. K., & Gupta, S. (2024). Chapter 1—Insights into the prospects of green chemistry and nanotechnology in environmental sustainability. In A. L. Srivastav, A. S. Grewal, Markandeya, & T. D. Pham (Eds.), *Role of Green Chemistry in Ecosystem Restoration to Achieve Environmental Sustainability* (pp. 3-9). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15291-7.00030-4>
- Granitto, M., Diodato, S., & Rodríguez, P. (2021). Water quality index including periphyton chlorophyll-*a* in forested urban watersheds from Tierra del Fuego (Argentina). *Ecological Indicators*, 126, 107614. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107614>
- Guterres, A. (2024). Needless competition for water, reckless pollution draining world's lifeblood, Secretary-General tells Bali Forum, urging solutions for sustainable use. *Secretary General of United Nations*. <https://digitallibrary.un.org/record/4048535>
- Gutierrez, N., Mesco, N. J., Maldonado, A. R., & Mamani, S. A. (2023). Biosynthesis of silver nanoparticles with queñua extract and its antibacterial application in the tributary of the PTAR. *Revista Colombiana de Química*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/111932/92960>
- Gutierrez, & Vara. (2008). Análisis y diseños de experimentos. *Mc Graw Hill Segunda edición*.
- Hoseini, S. F., Ashengroph, M., & Zorab, M. M. (2025). Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles using the fungus *Alternaria* sp. OP242500: Optimization through box-Behnken design. *Results in Chemistry*, 15, 102265. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102265>
- Huang, Y., Guo, X., Wu, Y., Chen, X., Feng, L., Xie, N., & Shen, G. (2024). Nanotechnology's frontier in combatting infectious and inflammatory diseases:

- Prevention and treatment. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9(1), 1-50. <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01745-z>
- Ibrahim, N. H., Taha, G. M., Hagaggi, N. Sh. A., & Moghazy, M. A. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles and its environmental sensor ability to some heavy metals. *BMC Chemistry*, 18(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13065-023-01105-y>
- Islam, M. M. M., Iqbal, M. S., D'Souza, N., & Islam, Md. A. (2021). A review on present and future microbial surface water quality worldwide. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100523>
- Jurado Zavaleta, M. A., Alcaraz, M. R., Peñaloza, L. G., Boemo, A., Cardozo, A., Tarcaya, G., Azcarate, S. M., & Goicoechea, H. C. (2021). Chemometric modeling for spatiotemporal characterization and self-depuration monitoring of surface water assessing the pollution sources impact of northern Argentina rivers. *Microchemical Journal*, 162, 105841. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105841>
- Karunakaran, E., Battarbee, R., Tait, S., Brentan, B. M., Berney, C., Grinham, J., Herrero, M. A., Omolo, R., & Douterelo, I. (2024). Integrating molecular microbial methods to improve faecal pollution management in rivers with designated bathing waters. *Science of The Total Environment*, 912, 168565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168565>
- Kemala, P., Idroes, R., Khairan, K., Ramli, M., Ginting, B., Helwani, Z., Aulia, R., Idroes, G. M., Yusuf, M., & Efendi, R. (2025). Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles: Enhancing optimization reaction, characterization, and antimicrobial properties with *Lantana camara* from geothermal area. *South African Journal of Chemical Engineering*, 51, 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.11.002>
- Khan, S. A., Jain, M., Pandey, A., Pant, K. K., Ziora, Z. M., Blaskovich, M. A. T., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2022). Leveraging the potential of silver nanoparticles-based materials towards sustainable water treatment. *Journal of Environmental Management*, 319, 115675. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115675>
- Khanmohammadi, Yagnambhatt, S., DelVescovo, D., & Maisonneuve, J. (2025). Thermally driven reverse osmosis: Thermodynamics of a novel process that uses heat for desalination and water purification. *Desalination*, 613, 119103. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.119103>
- Khereshki, N., Zavvar Mousavi, H., Farsadrooh, M., Evazalipour, M., Feizi-Dehnayebi, M., Mohammadi Ziarani, G., Henary, M., Rtimi, S., & Aminabhavi, T. M. (2025).

- Biogenic synthesis of silver nanoparticles for colorimetric detection of Fe³⁺ in environmental samples: DFT calculations and molecular docking studies. *Journal of Environmental Management*, 387, 125880. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125880>
- Kim, H.-B., You, H.-S., Ryu, S., Lee, H.-Y., & Baek, J.-S. (2024). Green Synthesis of Silver Nanoparticles from Mulberry Leaf through Hot Melt Extrusion: Enhanced Antioxidant, Antibacterial, Anti-Inflammatory, Antidiabetic, and Anticancer Properties. *Food Hydrocolloids for Health*, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2024.100184>
- Kodiyala, G., Yelamanda Rao, K., Chapati, V. P., Meenugula, K., Nadimikeri, J., Salkapuram, S., Nambi, R., Amooru, G. D., & Mekapogu, M. (2025). Phyto-mediated synthesis of silver nanoparticles using *Erythrina variegata* L. leaf extract and evaluation of their anti-bacterial, anti-Alzheimer, antioxidant and cytotoxic activities. *Next Nanotechnology*, 7, 100157. <https://doi.org/10.1016/j.nxnano.2025.100157>
- Laime, L. A., Soncco, A. A., Peralta, G., Arenas, C. A., Pineda, J. L., Díaz, J. C., Alvarez, A., Aguila, S., Davies, N. M., Yáñez, J. A., & Vera, C. (2022). Optimization of Synthesis of Silver Nanoparticles Conjugated with *Lepechinia meyenii* (Salvia) Using Plackett-Burman Design and Response Surface Methodology—Preliminary Antibacterial Activity. *Processes*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/pr10091727>
- Larson, A. J., Haver, S., Hattendorf, J., Salmon-Mulanovich, G., Riveros, M., Verastegui, H., Mäusezahl, D., & Hartinger, S. M. (2023). Household-level risk factors for water contamination and antimicrobial resistance in drinking water among households with children under 5 in rural San Marcos, Cajamarca, Peru. *One Health*, 16, 100482. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100482>
- Lema, M. W. (2025). Contamination of urban waterways: A mini-review of water pollution in the rivers of East Africa's major cities. *HydroResearch*, 8, 307-315. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.11.004>
- Liu, S., Lioe, T. S., Sun, L., Adriaenssens, E. M., McCarthy, A. J., & Sekar, R. (2025). Validation of crAssphage microbial source tracking markers and comparison with *Bacteroidales* markers for detection and quantification of faecal contaminations in surface water. *Environmental Pollution*, 366, 125403. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125403>

- Mahmodian, Y., Farhadi, M., Ghanbari, S., Ghanbari, F., Filban, F., & Mohammadi, M. J. (2024). Monitoring microbial safety and evaluation of removal efficiency from drinking water in Ahvaz, Iran. *Desalination and Water Treatment*, 319, 100561. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100561>
- Mansour, R., Halwani, J., El-Dakdouki, M. H., & Mina, S. (2024). Seasonal assessment of surface water and sediments pollution in Rachiine River, Northern Lebanon, using multivariate statistical analysis. *Heliyon*, 10(19), e39016. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39016>
- MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. *El peruano*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Mohammadlou, M., Maghsoudi, H., & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2016). A review on green silver nanoparticles based on plants: Synthesis, potential applications and eco-friendly approach. *International Food Research Journal*, 23(2), 446-463. Scopus.
- Münzel, T., Kuntic, M., Lelieveld, J., Aschner, M., Nieuwenhuijsen, M. J., Landrigan, P. J., & Daiber, A. (2025). The links between soil and water pollution and cardiovascular disease. *Atherosclerosis*, 403, 119160. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2025.119160>
- Narayan, N., Meiyazhagan, A., & Vajtai, R. (2019). Metal nanoparticles as green catalysts. *Materials*, 12(21). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ma12213602>
- Nassar, M. Y., Shaker, F. A., El-Sayed, G. O., Masoud, E. M., Adam, M. S. S., Khalil, A., Rashed, N. M., Abdelaziz, G., & El-Feky, H. H. (2024). Synthesis and characterization of lemon leaf extract-mediated silver nanoparticles: An environmentally friendly approach with enhanced antibacterial efficacy. *Journal of Molecular Structure*, 1315, 138753. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138753>
- Nduli, S., Tekere, M., Masindi, V., & Foteinis, S. (2025). Assessment of the water quality and microbial regrowth in drinking water treatment plants and the distribution network. *Water Resources and Industry*, 33, 100290. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2025.100290>
- Nieto, J. I., Torres, R. A., Botero, A. M., & Hernández, F. (2021). Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. *Environment International*, 155, 106674. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106674>

- NTP 214.003. (2021). NTP 214.003:1987 (Revisada 2021) Calidad de agua Potable. *Norma Técnica Peruana*. <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- NTP 214.031. (2001). Agua para consumo humano. Detección y recuento de coliformes totales. Metodo de filtración por membrana. *Norma Técnica Peruana 1 Edición*.
- Obořilová, R., Buzík, J., Skládal, P., Farka, Z., & Lacina, K. (2025). Portable turbidimetric device for in-time monitoring of bacterial contamination in drinking water. *Journal of Water Process Engineering*, 74, 107832. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107832>
- Oselusi, S. O., Sibuyi, N. R. S., Meyer, M., Meyer, S., & Madiehe, A. M. (2025). Phytofabrication of silver nanoparticles using *Ehretia rigida* leaf aqueous extract, their characterization, antioxidant and antimicrobial activities. *Materials Today Sustainability*, 29, 101059. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.101059>
- Pacori, O. A. (2019). Ley de atención prioritaria para la remediación integral de la cuenca Coata-Puno. *Congreso de la República del Perú*. https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL0452820190705..pdf
- Peng, G., Gao, X., Naseem, A., Zhang, Y., Wang, X., Fu, W., Yu, F., Ma, S., Shi, W., Yi, L., Li, C., Liu, W., & Kong, S. (2025). Karst water quality, source of pollution, and health risk assessment in China. *Science of The Total Environment*, 973, 179120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179120>
- Pinheiro, J. H., Bellatto, L. C., Mansano, C. F. M., da Silva Vilar, D., Ferreira, L. F. R., Torres, N. H., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2021). Monitoring microbial contamination of antibiotic resistant *Escherichia coli* isolated from the surface water of urban park in southeastern Brazil. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100438. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100438>
- Popa, M., Dumitrel, G.-A., Mirel, G., & Popa, D.-V. (2015). Anthropogenic Contamination of Water From Galda River—Alba County, Romania. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, 446-452. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.116>
- Prabula, S. S., Hentry, C., Al-Farraj, S., Ram Kumar, P., Sillanpää, M., & Aravind, M. (2024). Activity of *Bambusa vulgaris* extract in reducing silver nanoparticles: Evaluation against methylene blue organic pollutant and microbial agents. *Discover Applied Sciences*, 6(4), 142. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05784-7>

- Pryshchepa, O., Pomastowski, P., & Buszewski, B. (2020). Silver nanoparticles: Synthesis, investigation techniques, and properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 284, 102246. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102246>
- Purohit, M., Diwan, V., Parashar, V., Tamhankar, A. J., & Lundborg, C. S. (2020). Mass bathing events in River Kshipra, Central India- influence on the water quality and the antibiotic susceptibility pattern of commensal E.coli. *PLOS ONE*, 15(3), e0229664. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229664>
- Qi, Y., Li, D., Zhang, S., Li, F., & Hua, T. (2024). Electrochemical filtration for drinking water purification: A review on membrane materials, mechanisms and roles. *Journal of Environmental Sciences*, 141, 102-128. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.06.033>
- Rafique, M., Sadaf, I., Rafique, M. S., & Tahir, M. B. (2017). A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45(7), 1272-1291. <https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1241792>
- Ragot, R., Lessard, F., Bélanger, A., & Villemur, R. (2023). Assessment of multiple fecal contamination sources in surface waters using environmental mitochondrial DNA metabarcoding. *Science of The Total Environment*, 898, 165237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165237>
- Rangaraju, M., Abewaa, M., Hailemariam, E., Abay, Y., Prabhu, S. V., Abdu, J., & Mengistu, A. (2024). Bacterial growth inhibition in spring water utilizing silver nanoparticles: Optimization using central composite design. *Results in Engineering*, 23, 102562. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102562>
- Ranthom, N., Khongnakorn, W., & Jutaporn, P. (2023). MIEX resin and enhanced coagulation treatment of high-bromide natural water: Chlorine reactivity and DBP precursors removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111497. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111497>
- Rocha, V., Ferreira-Santos, P., Aguiar, C., Neves, I. C., & Tavares, T. (2024). Valorization of plant by-products in the biosynthesis of silver nanoparticles with antimicrobial and catalytic properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(9), 14191-14207. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32180-w>
- Saifuddin, N. N., Matussin, S. N., Fariduddin, Q., & Khan, M. M. (2024). Potentials of roots, stems, leaves, flowers, fruits, and seeds extract for the synthesis of silver nanoparticles. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 47(8), 1119-1137. <https://doi.org/10.1007/s00449-024-03044-x>

- Sampieri, R. H., Fernández, C., & Baptista, M. P. (2014). Metodología de la Investigación. *McGraw-Hill/Interamericana editores S.A.- Sexta edición*, 632.
- Sánchez, A. C., Venegas, C., Díez, H., Méndez, J., Blanch, A. R., Jofre, J., & Campos, C. (2020). Microbial indicators and molecular markers used to differentiate the source of faecal pollution in the Bogotá River (Colombia). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 225, 113450. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113450>
- Sarkar, J., Naskar, A., Nath, A., Gangopadhyay, B., Tarafdar, E., Das, D., Chakraborty, S., Chattopadhyay, D., & Acharya, K. (2024). Innovative utilization of harvested mushroom substrate for green synthesis of silver nanoparticles: A multi-response optimization approach. *Environmental Research*, 248, 118297. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118297>
- Schiaffino, F., Pisanic, N., Colston, J. M., Rengifo, D., Paredes Olortegui, M., Shapiama, V., Peñataro Yori, P., Heaney, C. D., Davis, M. F., & Kosek, M. N. (2020). Validation of microbial source tracking markers for the attribution of fecal contamination in indoor-household environments of the Peruvian Amazon. *Science of The Total Environment*, 743, 140531. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140531>
- Selvaraj, R., Nagendran, V., Varadavenkatesan, T., Goveas, L. C., & Vinayagam, R. (2024). Stable silver nanoparticles synthesis using *Tabebuia aurea* leaf extract for efficient water treatment: A sustainable approach to environmental remediation. *Chemical Engineering Research and Design*, 208, 456-463. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2024.07.012>
- Serunting, M. A., Zulfikar, M. A., Setyorini, D. A., Rizki, W. O. S., Kurniawan, R., & Setiyanto, H. (2024). Facile sunlight-irradiation mediated green synthesis of highly stable silver nanoparticles using *Archidendron bubalinum* pods extract for antibacterial activity application. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100811. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100811>
- Sharifi, M., Elshafie, H. S., & Pohl, P. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) by *Lallemantia royleana* leaf Extract: Their Bio-Pharmaceutical and catalytic properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 448, 115318. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.115318>
- Singhal, M., Loveleen, L., Manchanda, R., Syed, A., Bahkali, A. H., Wong, L. S., Nimesh, S., & Gupta, N. (2024a). Design, synthesis and optimization of silver nanoparticles

- using *Azadirachta indica* bark extract and its antibacterial application. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101088. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101088>
- Singhal, M., Loveleen, L., Manchanda, R., Syed, A., Bahkali, A. H., Wong, L. S., Nimesh, S., & Gupta, N. (2024b). Design, synthesis and optimization of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* bark extract and its antibacterial application. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101088. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101088>
- Sondi, I., & Salopek-Sondi, B. (2004). Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1), 177-182. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.012>
- Stadler, L., Homafar, M., Hartl, A., Najafshirtari, S., Colombo, M., Zboril, R., Martin, P., Gawande, M. B., Zhi, J., & Reiser, O. (2019). Recyclable Magnetic Microporous Organic Polymer (MOP) Encapsulated with Palladium Nanoparticles and Co/C Nanobeads for Hydrogenation Reactions. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(2), 2388-2399. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05222>
- Sukdeb, P., Kyung, Y., & Myong, J. (2007). *Does the Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Depend on the Shape of the Nanoparticle? A Study of the Gram-Negative Bacterium Escherichia coli*. <https://doi.org/10.1128/AEM.02218-06>
- Tapia, J., Murray, J., Ormachea-Muñoz, M., & Bhattacharya, P. (2022). The Unique Altiplano-Puna Plateau: Environmental Perspectives. *Journal of South American Earth Sciences*, 115, 103725. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103725>
- Tawade, P. V., & Wasewar, K. L. (2023). Chapter 4—Nanotechnology in biological science and engineering. En P. Singh, V. Kumar, M. Bakshi, C. M. Hussain, & M. Sillanpää (Eds.), *Environmental Applications of Microbial Nanotechnology* (pp. 43-64). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91744-5.00015-1>
- Tessema, B., Gonfa, G., & Hailegiorgis, S. M. (2024). Synthesis of modified silica gel supported silver nanoparticles for the application of drinking water disinfection: A review. *Results in Engineering*, 22, 102261. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102261>
- Thakur, S., Kumar, P. V., Singh, P., Shah, K., Sadashivaiah, B., & Chauhan, N. S. (2024). Optimization, characterization of silver nanoparticles from the young leaves of *Pancreaticum telanganense* and application studies against pathogen bacteria. *Current*

- Research in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 100400. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2024.100400>
- UNESCO. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. *Published in 2024 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*. <https://reliefweb.int/report/world/united-nations-world-water-development-report-2024-water-prosperity-and-peace-enarruzhhiitdeko>
- Vadakkan, K., Joy, S., Selvaraj, V., Cheruvathur, M. K., & Remadevi, P. (2024). Biogenic nanoparticle-mediated inhibition of bacterial colonialization and analyzing the effects of variables by response surface modeling. *Kuwait Journal of Science*, 51(2), 100201. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100201>
- Valenti, M., Cabrera, A., Emiliano, P., Valero, F., Monclús, H., & Martin, M. J. (2024). In-depth analysis of natural organic matter fractions in drinking water treatment performance: Fate and role of humic substances in trihalomethanes formation potential. *Science of The Total Environment*, 954, 176600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176600>
- Vanlalveni, C., Lallianrawna, S., Biswas, A., Selvaraj, M., Changmai, B., & Rokhum, S. L. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and their antimicrobial activities: A review of recent literature. *RSC Advances*, 11(5), 2804-2837. <https://doi.org/10.1039/D0RA09941D>
- Veisi, H., Dadres, N., Mohammadi, P., & Hemmati, S. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles based on oil-water interface method with essential oil of orange peel and its application as nanocatalyst for A3 coupling. *Materials Science and Engineering C*, 105. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110031>
- Veisi, H., Razeghi, S., Mohammadi, P., & Hemmati, S. (2019). Silver nanoparticles decorated on thiol-modified magnetite nanoparticles (Fe₃O₄/SiO₂-Pr-S-Ag) as a recyclable nanocatalyst for degradation of organic dyes. *Materials Science and Engineering C*, 97, 624-631. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.076>
- Venegas, C., Diez, H., Blanch, A. R., Jofre, J., & Campos, C. (2015). Microbial source markers assessment in the Bogotá River basin (Colombia). *Journal of Water and Health*, 13(3), 801-810. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.240>
- Vera, L. D. C., Cornejo, J. O., Arenas, C. A., Hollanda, L. M., Alvarez, A., Aguila, S., Davies, N. M., Yáñez, J. A., & Vera, C. (2022). Green Synthesis of a Novel Silver Nanoparticle Conjugated with *Thelypteris glandulosolanosa* (Raqui-Raqui):

- Preliminary Characterization and Anticancer Activity. *Processes*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/pr10071308>
- Wahab, A., Muhammad, M., Ullah, S., Abdi, G., Shah, G. M., Zaman, W., & Ayaz, A. (2024). Agriculture and environmental management through nanotechnology: Eco-friendly nanomaterial synthesis for soil-plant systems, food safety, and sustainability. *Science of The Total Environment*, 926, 171862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171862>
- Wu, T., Shen, H., Sun, L., Cheng, B., Liu, B., & Shen, J. (2012). Facile Synthesis of Ag Interlayer Doped Graphene by Chemical Vapor Deposition Using Polystyrene As Solid Carbon Source. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4(4), 2041-2047. <https://doi.org/10.1021/am300014c>
- Xie, B., Chen, J., Kai, J., & Li, J. (2025). Association between drinking water disinfection byproducts exposure and human bladder cancer: A time-updated meta-analysis of trihalomethanes. *Journal of Hazardous Materials*, 490, 137833. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137833>
- Zhao, Y., Chen, Y., Wang, W., Zhou, Z., Shi, S., Li, W., Chen, M., & Li, Z. (2020). One-step in situ synthesis of nano silver-hydroxalcalite coating for enhanced antibacterial and degradation property of magnesium alloys. *Materials Letters*, 265. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127349>
- Zhu, S.-M., Li, C., Xu, J.-J., Zhang, H.-Q., Su, Y.-F., Wu, Y.-T., & Huang, H.-F. (2022). Exposure to Chloramine and Chloroform in Tap Water and Adverse Perinatal Outcomes in Shanghai. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116508>

ANEXOS

Anexos 1

Recolecta del material vegetal



Figura 15. Recolecta de hojas del material vegetal



Figura 16. Herborización

Anexos 2

Síntesis de nanopartículas de plata



Figura 17. Filtración del extracto vegetal

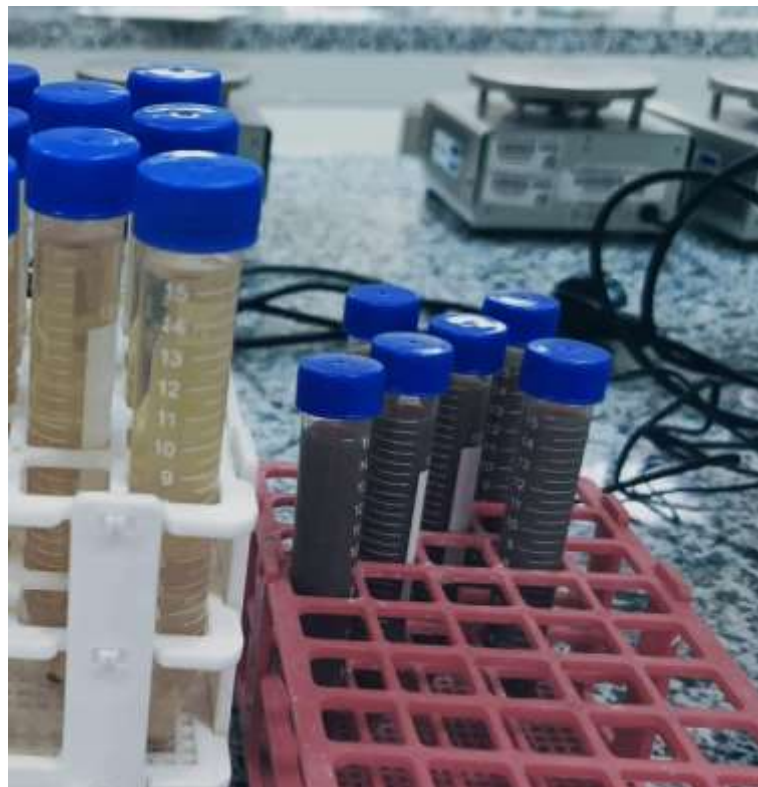


Figura 18. Síntesis de nanopartículas de plata

Anexos 3

Recolección de muestra de agua cruda del río Coata



Figura 19. Toma de muestra de río Coata

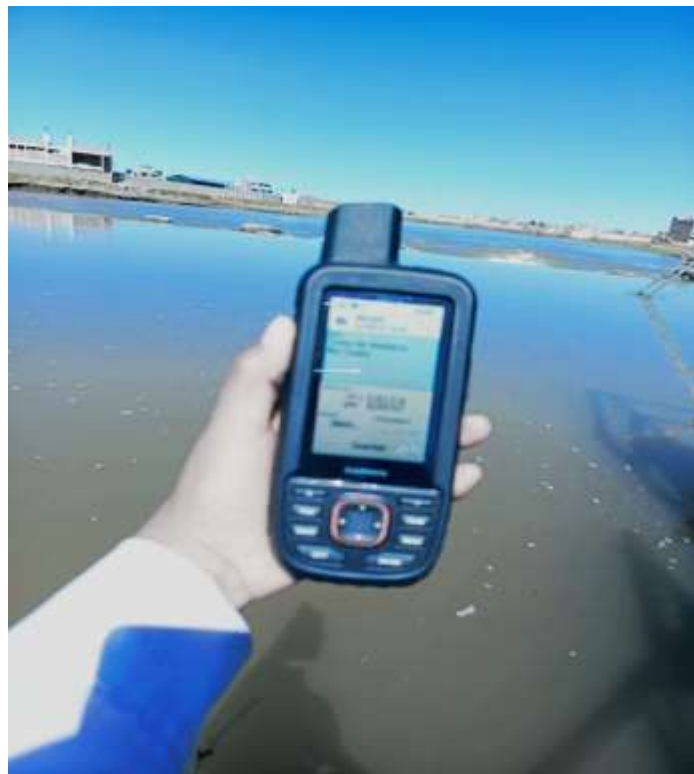


Figura 20. Ubicación GPS del punto de toma de muestra

Anexos 4

Identificación taxonómica de la especie vegetal



INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPFFS



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

HACE CONSTAR:

Que la muestra presentada por **Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani**, recolectada en el distrito de Lampa, provincia de Lampa, departamento de Puno, para la realización de la tesis titulada: "**BIOSINTESIS Y OPTIMIZACIÓN DE INHIBICIÓN BACTERIANA DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA DERIVADAS DE QUEÑUA (*Polylepis* sp.) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA DEL RIO COATA, PERÚ**", presentada en la Universidad Nacional de Juliaca. Fue determinada taxonómicamente en las instalaciones del Herbario Sur Peruano (HSP), del Instituto Científico Michael Owen Dillon; corresponde a:

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Orden: Rosales Bercht. & J. Presl

Familia: Rosaceae Juss.

Género: *Polylepis* Ruiz & Pav.

Especie: *Polylepis incarum* (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb.

La clasificación se ha realizado según la propuesta por: *Angiosperm Phylogeny Group (APG) IV* en: "*An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV*" (2016).

Se expide la presente a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Anexos 5

Cuantificación de los polifenoles totales del extracto de *Polylepis incarum*

INFORME DE ENSAYO N° ANA06C25.005609

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani
Dirección del cliente : Jr.Santa Elena MZ.L Lt.9 Urb. San Carlos I
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Lisbeth Yeni Mamani Chuquimamani
Descripción de la muestra : Extracto de Queñua (*Polylepis incarum*)

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 mL
Fecha de recepción : 06/03/2025
Fecha de ejecución de ensayo : 06/03/2025 al 13/03/2025
Fecha de emisión de informe : 18/03/2025
Página : 1 de 3

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES Método espectrofotométrico FOLIN-CIOCALTEAU	mg/L	30,77

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad.


Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez
COFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC

Anexos 6

Estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Agua que pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₁₂)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (a)		1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANÓTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA