



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS
EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOSE ROBERT QUISPE PAYE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS
EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOSE ROBERT QUISPE PAYE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:



Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

:



Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

:

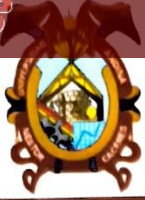


Ing. ADWAR RAMULFO SANCHEZ CARREÓN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1326-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 20 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 8723 presentado por el (la) Bachiller: **JOSE ROBERT QUISPE PAYE** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **JOSE ROBERT QUISPE PAYE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- * **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTÍCULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

ARTÍCULO TERCERO . - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **JOSE ROBERT QUISPE PAYE**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

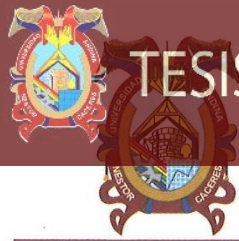
- * **FECHA** : viernes 31 de octubre del 2025
- * **HORA** : 15:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO. - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc.
Archivo
interesado (s)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 646-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 4929 por el señor (a): **JOSE ROBERT QUISPE PAYE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 518- 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 024- 2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JOSE ROBERT QUISPE PAYE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 024- 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

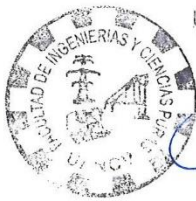
RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **JOSE ROBERT QUISPE PAYE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 314-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 14 de mayo del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 2540, presentado el señor (a) **JOSE ROBERT QUISPE PAYE** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO – N° 225 -2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 009-2025 del integrante del comité de investigación EPISA de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JOSE ROBERT QUISPE PAYE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 009-2025- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **JOSE ROBERT QUISPE PAYE**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulado: **EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDIRECTOR
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



13% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 12% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

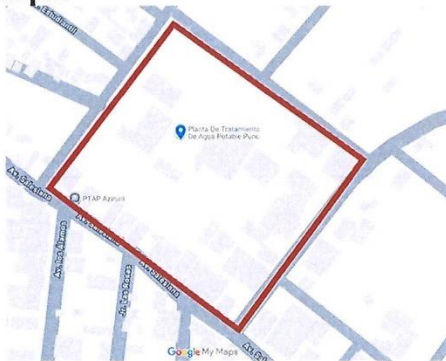
Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos complementarios

Título de la Tesis	
EFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JOSE ROBERT QUISPE PAYE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	77667569
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-4891-4525
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821



Datos de investigación	
Línea de investigación	Saneamiento Ambiental – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Puno Coordenadas: Latitud: -15.82985459 Longitud: -69.9909449 URL Maps:</p>  <p>https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1nCGg6IIrW-UlopGf0gkDQzNh-CVrVpA&usp=sharing</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Mayo 2025 – Octubre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html Librería	<p>Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL "NÉSTOR CERDAS VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JOSE ROBERT QUISPE PAYE, identificado con DNI Nro. 77667569, en mi condición de egresado de:

- [X] Escuela Profesional
[] Programa de Segunda Especialidad,
[] Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la [X] Tesis o [] Trabajo de Investigación, [] Trabajo Académico denominada:

EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 17 de DICIEMBRE del 2025

[Handwritten signature of advisor]

Firma del Asesor (obligatoria)

[Handwritten signature of student]

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis queridos padres Alejandro Quispe Quispe y Nely Paye Quispe, por haber estado a mi lado en cada paso en mi carrera. A mis hermanos, por ser fuente de inspiración, guía y apoyo durante todo este tiempo.



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez cómo institución y los profesionales de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por brindarme la oportunidad de crecer académica y profesionalmente al compartir sus conocimientos y experiencias.

A Dios, mi guía.

A mi asesor de tesis, Ing. Adwar Ranulfo Sánchez Carreón, por su asistencia invaluable que me permitió finalizar este proyecto.

Al equipo profesional del laboratorio de Calidad Ambiental por su disposición y apoyo en la ejecución de esta tesis.

A mis queridos padres y hermanos por sus llamadas de atención y palabras de apoyo y ánimo.

A mis amigos y colegas que fueron apoyo Yaneth, Karen y Jesús, apoyo muy grato y certero en mi proyecto de tesis, gracias.



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática	14
1.2. Planteamiento del problema	15
1.2.1. Problema general	15
1.2.2. Problemas específicos	15
1.3. Objetivo de la investigación	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación	16
1.5. Hipótesis	17
1.5.1. Hipótesis general.....	17
1.5.2. Hipótesis específica.....	17
1.6. Variables.....	17
1.6.1. Variable dependiente	17



1.6.2. Variable independiente..... 18

1.7. Operacionalización de variables 18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación..... 23

 2.1.1. Antecedentes internacionales 23

 2.1.2. Antecedentes nacionales 25

 2.1.3. Antecedentes regionales 26

2.2. Marco teórico 26

 2.2.1. Aguas residuales..... 26

 2.2.2. Características del agua residual 27

 2.2.3. Contaminación del agua y calidad microbiológica 28

 2.2.4. Contaminación Microbiológica del Agua..... 29

 2.2.5. Parámetros Microbiológicos 29

 2.2.6. Tratamiento químico de aguas residuales..... 33

 2.2.7. Cobre como Agente Antimicrobiano 34

 2.2.8. Mecanismos de Acción del Cobre en los Microorganismos 34

 2.2.9. Tratamiento de Aguas Residuales con Varillas de Cobre 34

 2.2.10. Ventajas del Cobre en el Tratamiento de Aguas Residuales 36

 2.2.11. Efectividad del Cobre en la Eliminación de Coliformes y Bacterias Patógenas..... 37

 2.2.12. Impacto Ambiental del Uso de Cobre en el Tratamiento de Aguas Residuales 37



2.2.13.Límites Máximos Permisibles según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: Norma Técnica de Calidad Ambiental para Aguas Residuales 37

2.3. Marco conceptual..... 38

2.3.1. Agua residual 38

2.3.2. Bacterias Heterotróficas 38

2.3.3. Cobre..... 38

2.3.4. Coliformes termotolerantes 38

2.3.5. Contaminación Microbiológica del Agua..... 38

2.3.6. Cobre como Antimicrobiano 38

2.3.7. Coprecipitación de Cobre 39

2.3.8. Diversidad Microbiana 39

2.3.9. Escherichia coli (E. coli) 39

2.3.10.Microorganismos Patógenos..... 39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación 40

3.2. Nivel de investigación 40

3.3. Enfoque de la investigación 40

3.4. Diseño de investigación 41

3.5. Técnicas e instrumentos 41

3.5.1. Técnicas 41

3.5.2. Instrumentos..... 41

3.5.3. Ubicación de la zona de investigación 42

3.6. Población y muestra 42



3.6.1. Población..... 42

3.6.2. Muestra 42

3.6.3. Materiales y equipos..... 43

3.6.4. Procedimiento metodológico 44

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados 52

4.2. Discusiones..... 79

CONCLUSIONES..... 81

RECOMENDACIONES 83

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 84

ANEXOS 88



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	18
Tabla 2 Métodos normalizados para el análisis a aguas potables y residuales	45
Tabla 3 Condiciones experimentales	47
Tabla 4 Periodo de tratamiento.....	48
Tabla 5 Acondicionamiento y monitoreo	48
Tabla 6 Límites Microbiológicos en Aguas Residuales: Normativas Peruanas e Internacionales	51
Tabla 7 Resultados de las muestras iniciales	52
Tabla 8 Código de tratamiento.....	56
Tabla 9 Resultados a los 3 días de tratamiento	57
Tabla 10 Resultados a los 6 días de tratamiento	59
Tabla 11 Resultados a los 9 días de tratamiento	61
Tabla 12 Resultados a los 12 días de tratamiento	63
Tabla 13 Concentración de bacterias	68
Tabla 14 Concentración de hongos	69
Tabla 15 Concentración de Filamentos Bacterianos.....	69
Tabla 16 Concentración de Coliformes Termotolerantes.....	70
Tabla 17 Concentración de Escherichia coli	71
Tabla 18 Comparación de Resultados con los LMP y Normas Internacionales.....	71
Tabla 19 Coeficientes de Regresión para Variables Microbiológicas en Función del Tiempo de Exposición al Cobre (Varillas de 20 cm y 30 cm)	73
Tabla 20 Coeficientes de Regresión para Variables Microbiológicas en Función del Tratamiento con Cobre (Varillas de 20 cm y 30 cm)	76



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista microscópica de coliformes termotolerantes.....	30
Figura 2 Vista microscópica de E. coli.....	30
Figura 3 Vista microscópica de bacterias	31
Figura 4 Vista microscópica de hongos	32
Figura 5 Vista microscópica de filamentos bacterianos	32
Figura 6 Vista microscópica de diversidad microbiana.....	33
Figura 7 Ubicación de la zona de monitoreo	42
Figura 8 Toma de muestras iniciales.....	44
Figura 9 Toma de muestra para tratamiento	46
Figura 10 Acondicionamiento de prototipo	47
Figura 11 Determinación de coliformes termotolerantes y E coli.....	49
Figura 12 Vista microscópica de microorganismos.....	50
Figura 13 Resultados iniciales de parámetros microbiológicos antes del tratamiento.....	55
Figura 14 Resultados de la concentración de bacterias durante el tratamiento	65
Figura 15 Resultados de la concentración de hongos durante el tratamiento	65
Figura 16 Resultados de la concentración de filamentos bacterianos durante el tratamiento	66
Figura 17 Resultados de la concentración de coliformes termotolerantes durante el tratamiento	67
Figura 18 Resultados de la concentración de Escherichia coli durante el tratamiento.....	67



Figura 19 Comparación de la Reducción de Bacterias, Hongos y Filamentos Bacterianos con Distintas Longitudes de Varillas de Cobre 75

Figura 20 Efectividad de Varillas de Cobre de Diferentes Longitudes en la Eliminación de Coliformes Termotolerantes y E. coli en Agua 78



RESUMEN

Este estudio busca analizar el impacto del cobre sobre los indicadores microbiológicos en las aguas remanentes de Puno en el 2025. La problemática se centra en la alta carga microbiológica presente en las aguas remanentes, que simboliza un peligro para la salubridad pública, especialmente debido a la existencia de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, entre otros microorganismos patógenos. Para alcanzar el objetivo, se tuvieron muestras de agua remanente de 80 litros, las cuales se dividieron en baldes de 20 litros y se trató con varillas de cobre de 20 cm y 30 cm. Se realizaron monitoreos cada 3 días durante 12 días, evaluando los parámetros de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, bacterias, hongos y filamentos bacterianos. Los resultados mostraron una reducción significativa en todos los parámetros. A los 12 días, los coliformes termotolerantes se redujeron a 900 NMP/100 mL y en M-30 y 930 NMP/100 mL en M-20. La concentración de *Escherichia coli* alcanzó 43 NMP/100 mL en M-20 y 23 NMP/100 mL en M-30, evidenciando una disminución considerable, aunque sin desempeñar con los LMP para agua residual. La metodología empleada, basada en el monitoreo de las concentraciones de microorganismos en función del tiempo, permitió concluir que el cobre posee un efecto efectivo en la disminución de la carga microbiológica. Sin embargo, *Escherichia coli* no alcanzó los niveles deseados. Se recomienda el uso de procesamientos adicionales para garantizar el desempeño total de las normas microbiológicas.

Palabras claves: Aguas residuales, bacterias, Cobre, hongo, Parámetros microbiológicos



ABSTRACT

This study seeks to analyze the impact of copper on microbiological indicators in Puno's wastewater in 2025. The problem is centered on the high microbiological load present in the wastewater, which represents a danger to public health, especially due to the existence of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*, among other pathogenic microorganisms. To achieve the objective, 80-liter samples of remaining water were divided into 20-liter buckets and treated with 20-cm and 30-cm copper rods. Monitoring was carried out every 3 days for 12 days, evaluating the parameters of thermotolerant coliforms, *Escherichia coli*, bacteria, fungi and bacterial filaments. The results showed a significant reduction in all parameters. At 12 days, thermotolerant coliforms were reduced to 900 NMP/100 mL at M-30 and 930 NMP/100 mL at M-20. The concentration of *Escherichia coli* reached 43 NMP/100 mL in M-20 and 23 NMP/100 mL in M-30, showing a considerable decrease, although without meeting the MPL for wastewater. The methodology used, based on monitoring the concentrations of microorganisms as a function of time, led to the conclusion that copper has an effective effect in reducing the microbiological load. However, *Escherichia coli* did not reach the desired levels. The use of additional treatments is recommended to ensure full performance of microbiological standards.

Keywords: Wastewater, Bacteria, Copper, Fungi, Microbiological Parameters



INTRODUCCIÓN

El disponer de agua limpia y libre de contaminantes es esencial para el bienestar de las personas (Araujo et al., 2023), el desarrollo social y el bienestar general. Sin embargo, las aguas remanentes representan una amenaza significativa a nivel mundial (Cirujeda, 2019), especialmente en regiones donde las infraestructuras de procesamiento de aguas son insuficientes. En patrias en mejora y zonas rurales, como en la región de Puno, las aguas remanentes a menudo contienen elevados niveles de microorganismos patógenos que contribuyen a males dadas por el H₂O. En particular, la existencia de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, bacterias, hongos y filamentos bacterianos indica polución fecal y es un indicador esencial de la condición del H₂O (Narváez et al., 2008).

En la zona de Puno, las aguas remanentes presentan una elevada polución microbiana, amenazando la salubridad de la población. Esto subraya la urgencia de aplicar métodos de procesamientos eficaces que disminuyan o erradiquen estos microorganismos nocivos, garantizando así agua segura y evitando brotes de enfermedades (Zolarte, 2022). Entre los procesamientos disponibles, el uso de metales solidos como el cobre ha sido estudiado por sus propiedades antimicrobianas, siendo una elección prometedora para el procesamiento de aguas remanentes (Michels et al., 2008). El cobre tiene la capacidad de interferir con las funciones celulares de muchos microorganismos, inhibiendo su crecimiento y proliferación, lo que lo convierte en un posible agente efectivo para la desinfección de aguas polucionadas (Neciosup et al., 2015).

El propósito principal de este análisis es valorar el efecto del cobre en la reducción de parámetros microbiológicos en las aguas remanentes de Puno a lo largo del año 2025. A través de un monitoreo realizado durante 12 días, se analizaron las



concentraciones de coliformes termotolerantes, Escherichia coli, bacterias, hongos y filamentos bacterianos, tanto antes como después de la aplicación del procesamiento con cobre. Se buscó determinar si la exposición al cobre produce una reducción significativa en la carga microbiológica de las aguas remanentes y si este procesamiento desempeña con los LMP para la condición del H₂O.

Este estudio pretende ofrecer evidencia sobre el vigor del cobre como procesamiento para aguas remanentes, contribuyendo a la indagación de soluciones más accesibles y económicas para el procesamiento de aguas en regiones con recursos limitados. Además, se anticipa que los resultados de este estudio sirvan de pedestal para futuros estudios sobre el uso de metales sólidos en el procesamiento de aguas remanentes y para la optimización de tecnologías de desinfección de bajo costo en el ámbito rural.

Este estudio se estructura en los siguientes apartados: I. Introducción; II. Desarrollo, que incluye el análisis de la problemática, planteamiento del problema, objetivos, justificación, marco teórico (antecedentes, fundamentos teóricos y variables), metodología (diseño y método empleado), así como resultados y discusión. III. Conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

La polución hídrica continúa siendo un problema mundial urgente, impactando negativamente en el bienestar de poblaciones enteras. Datos de la OMS (2020) revelan que la polución bacteriológica del H₂O representa un grave problema sanitario global, debido a la presencia de microorganismos peligrosos como E. coli y coliformes fecales en las aguas servidas, generando serios peligros para la salubridad colectiva (Cervantes et al., 2013). Varios análisis han demostrado el uso de metales sólidos, como el cobre, para procesar aguas remanentes debido a sus propiedades antimicrobianas, aunque los efectos a largo plazo en los ecosistemas acuáticos siguen siendo objeto de debate (Vincent et al., 2016)

En Perú, la polución del H₂O sigue siendo una problemática importante, especialmente en áreas rurales y en la región andina. Según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2022), las aguas remanentes en muchas partes del país no son tratadas adecuadamente, lo que provoca la polución de ríos y cuerpos de H₂O utilizados para la ingesta humana y la agronomía. La polución del agua se presenta en tres niveles: terciario, secundario y primario, afectando las fuentes de



H₂O. Las poluciones existentes en el H₂O pueden ser de origen orgánico o inorgánico (Meoño et al., 2015).

La región de Puno enfrenta grandes desafíos en cuanto al procesamiento de aguas remanentes. De acuerdo con el Gobierno Regional de Puno (2020), la infraestructura de procesamiento de aguas es limitada, y muchas comunidades dependen de fuentes de agua contaminadas por residuos microbiológicos (HUACOTO, 2022). La polución por Col. fecales y *Escherichia coli* es común en los afluentes de la región, lo cual pone en ventura la salubridad de la urbe.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de diferentes concentraciones de cobre en los parámetros microbiológicos de las aguas residuales en la región de Puno durante el año 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la concentración inicial de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, hongos, bacterias y filamentos bacterianos en las aguas residuales de la región de Puno antes de la aplicación del tratamiento con cobre?
- ¿Cómo influye la concentración de cobre en la diversidad y la cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de Puno?
- ¿En qué medida el tratamiento con cobre en las aguas residuales de la región de Puno cumple con los estándares de calidad microbiológica establecidos para la protección de la salud pública?



1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del cobre en los parámetros microbiológicos de las aguas residuales en la región de Puno durante el año 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la concentración inicial de coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos, bacterias y filamentos bacterianos de las aguas residuales de Puno antes de la aplicación del tratamiento con cobre.
- Determinar los efectos del cobre en la diversidad y cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de la región.
- Analizar el cumplimiento de los estándares de calidad microbiológica del agua en función de la concentración de cobre y su impacto

1.4. Justificación

La investigación sobre el efecto del cobre en los parámetros microbiológicos de las aguas remanentes en Puno se realiza con el propósito de evaluar su eficacia como procesamiento para optimar la condición microbiológica del H₂O. Dado que las aguas remanentes en Puno contienen microorganismos patógenos que simbolizan un peligro para la salubridad pública, es crucial explorar alternativas de procesamiento que puedan reducir su presencia. El cobre, debido a sus propiedades antimicrobianas, podría ser una solución viable, aunque su impacto específico en el microbiota local no ha sido suficientemente investigado. Esta investigación tiene como objetivo proporcionar evidencia sobre su efectividad, contribuir al desempeño de las normas de condición microbiológica y generar conocimiento local que apoye mejores prácticas en el manejo de aguas remanentes en la región.



1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- La aplicación de cobre en el tratamiento de aguas residuales en la región de Puno durante el año 2025 afectará significativamente los parámetros microbiológicos de las aguas, alterando la concentración y la diversidad de microorganismos presentes en ellas.

1.5.2. Hipótesis específica

- La concentración inicial de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, hongos, bacterias y filamentos bacterianos en las aguas residuales de Puno será significativa antes de la aplicación del tratamiento con cobre, y dicha concentración disminuirá después del tratamiento.
- El cobre tendrá un efecto inhibitor sobre la diversidad y cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de la región de Puno, reduciendo significativamente la población microbiana en comparación con las aguas no tratadas.
- El tratamiento con cobre en las aguas residuales de Puno mejorará los parámetros microbiológicos, cumpliendo con los estándares de calidad microbiológica del agua establecidos, en función de la concentración de cobre aplicada.

1.6. Variables

1.6.1. Variable dependiente

- **Concentración de parámetros microbiológicos:** Concentración de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, hongos, bacterias, filamentos bacterianos y diversidad microbiana.



1.6.2. Variable independiente

- **Tratamiento con cobre:** Esta es la variable que se manipula, varillas de cobre de 20 y 30 cm. El tratamiento con cobre actúa como el factor que podría influir en los parámetros microbiológicos de las aguas remanentes, aunque no midas directamente la concentración de cobre en las muestras.

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimension	Indicadores	Unidad de medida
(Vd) concentración de coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> , hongos, bacterias, filamentos bacterianos y diversidad microbiana.	Indicadores microbiológicos	Número de organismos por litro de agua. Tipos de organismos presentes.	NMP/100mL organismos/L
(Vi) varillas de cobre de 20 y 30 cm	Tipo de tratamiento	Aplicación de cobre de como tratamiento en aguas residuales	Presencia/ausencia del tratamiento

Nota: (Vi) Variable independiente (Vd) Variable dependiente



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Cervantes et al. (2013) en su estudio el propósito fue establecer la actividad antimicrobiana del cobre contra patógenos comunes en entornos hospitalarios en soluciones acuosas. Se utilizaron recipientes de cobre y cloruro de polivinilo, con vidrio como control. Los resultados mostraron que los organismos en cobre experimentaron una reducción significativa de más de 100,000 UFC/ml a 0 UFC/ml en las primitivas dos horas de contacto, mientras que los organismos en vidrio y cloruro de polivinilo permanecieron viables. Estos hallazgos sugieren que el cobre tiene propiedades microbicidas en soluciones acuosas y podría mejorar la calidad del agua, especialmente en hospitales.

Hoz & Fortes (2008) el propósito de esta investigación fue examinar la existencia y variación de microorganismos indicadores de polución en el embalse Conde del Guadalhorce (Málaga, España), valorando la condición microbiológica del agua según los parámetros establecidos en la Directiva 76/160/CE. Durante los períodos estivales de 2000 a 2005, se recolectaron 120 muestras en dos áreas recreativas, analizándose mediante filtración por membrana la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales. Los datos obtenidos



revelaron que únicamente dos muestras excedieron los niveles permitidos de coliformes fecales en una de las zonas estudiadas. Entre 2000 y 2002, la relación entre coliformes fecales y estreptococos fecales fue más alta, mientras que de 2003 a 2005 fue menor. No se encontraron diferencias significativas en las reuniones medias de los parámetros en los dos sitios de baño, aunque los niveles de coliformes fueron más altos en el camping, lo que podría estar vinculado a la mayor presencia de nadadores y diligencias recreativas. Comúnmente, la condición del H₂O de baño fue adecuada y cumplió con la normativa, pese a que se registró un incremento en los niveles de estreptococos fecales, lo cual sugiere una posible fuente de polución fecal de procedencia animal.

Vincent et al. (2016) destacan que la capacidad antimicrobiana del cobre ha sido reconocida desde hace tiempo y se emplea en el procesamiento y colocación de agua dulce. En 2008, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos lo declaró como el primer metal con propiedades antimicrobianas. Debido al aumento de contagios hospitalarios transmitidas por el H₂O y la creciente firmeza a los antibióticos, la investigación sobre el cobre como agente antimicrobiano ha cobrado importancia. Varios estudios han evidenciado que las superficies y partículas de cobre pueden reducir significativamente la carga biológica en el ambiente. Esta revisión explora las condiciones que mejoran la diligencia antimicrobiana del Cu, sus aplicaciones en el procesamiento del H₂O, en entornos hospitalarios y públicos, y discute las futuras áreas de investigación sobre este metal.

Huerta & Axel, (2014) evaluaron el aumento de microorganismos resistentes a múltiples fármacos ha generado preocupación, y una posible solución es el uso de nanomateriales, como las nanopartículas de cobre, que pueden interactuar con las membranas bacterianas. El análisis poseyó como propósito sintetizar y valorar



la diligencia microbicida de nanopartículas de cobre, utilizando dos métodos de síntesis (convencional y microondas) y diferentes precursores y estabilizantes. Las nanopartículas obtenidas, con un tamaño de $10\pm 2\text{nm}$, mostraron capacidad para inhibir el crecimiento de bacterias resistentes aisladas de un efluente hospitalario. Los resultados sugieren que el cobre nanoparticulado puede ser un agente eficaz para la desinfección de superficies y aguas contaminadas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Neciosup et al. (2015) evaluaron la efectividad bactericida del Cu frente a los primordiales microbios ocasionales de infecciones intrahospitalarias (IIH), representan un desafío significativo debido a la resistencia a los antibióticos y los altos costos asociados. Este estudio evaluó la efectividad del cobre contra bacterias ocasionales de IIH, como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*. Los resultados mostraron que las bacterias mostradas a superficies de Cu fueron anuladas rápidamente, en 10, 15 y 60 min, proporcionalmente, mientras que en áreas de acero inoxidable las bacterias persistieron viables por más de 60 minutos. Los microorganismos Gram negativas fueron eliminadas más rápidamente que las Gram positivas. En conclusión, el cobre demostró ser más eficaz que el acero inoxidable para eliminar estas bacterias, sugiriendo que podría ser una alternativa en entornos hospitalarios con alta incidencia de IIH.

Cahuana & Benito, (2017) el estudio desarrollado tuvo como propósito evaluar el grado de polución bacteriológica en el agua potable del sector Sequia Alta (Santa Bárbara, Huancavelica) durante el año 2017. Se examinaron 10 muestras recolectadas en distintos puntos: 1 toma de agua, 2 tanques de almacenamiento y 7 salidas domiciliarias. El estudio, de carácter básico con enfoque descriptivo, empleó un diseño no experimental de corte transversal,



utilizando la observación como técnica principal. Los análisis revelaron promedios de polución de 2.8 en la fuente de captación, 1.1 en los depósitos y 0.6 en los grifos. Los resultados confirmaron que todas las muestras excedían los niveles permitidos de patógenos según la normativa vigente sobre condición de agua dulce.

2.1.3. Antecedentes regionales

HUACOTO (2022) tuvo como objetivo evaluar la condición del agua remanente en el lago de estabilización El Espinar, en Puno, durante el año 2021. Se utilizó un enfoque descriptivo y se tomaron muestras en tres puntos: laguna secundaria, primaria y el efluente. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron analizados conforme a la normativa vigente para efluentes de PTAR. Los resultados mostraron que, en la laguna primaria, el 71.42% de los parámetros excedieron los límites permitidos, mientras que en laguna secundaria y en el efluente, un 42.86% de los parámetros también superaron los límites establecidos. En conclusión, la condición del agua remanente en la laguna de estabilización El Espinar no desempeña con las normativas para efluentes de PTAR, presentando un 42.87% de indicadores fuera de los LP.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas servidas son aquellas cuyo estado natural ha sido modificado por acciones antropogénicas, incluyendo el consumo residencial, procesos fabriles o labores agropecuarias. Estos efluentes presentan sustancias nocivas que necesitan procesos de depuración para prevenir daños a los ecosistemas y a la población (Zolarte, 2022).



2.2.2. Características del agua residual

2.2.2.1. Características físicas

- **Color:** Las aguas remanentes pueden presentar colores variables, a partir de marrón hasta negro, debido a la presencia de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes (Gamarra et al., 2019).
- **Olor:** Generalmente, las aguas remanentes emiten olores desagradables debido a la desintegración de materia orgánica y la presencia de compuestos como sulfuro de hidrógeno (Gamarra et al., 2019).
- **Temperatura:** El temple del agua remanente suele ser superior a la del H₂O natural, influenciada por actividades humanas como procesos industriales y domésticos (Gamarra et al., 2019).
- **Turbidez:** La turbidez corresponde a la reunión de material en suspensión en el agua (tanto de origen orgánico como mineral), lo que reduce su transparencia (Gamarra et al., 2019).

2.2.2.2. Características químicas

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Señala el volumen de oxígeno necesario para que los microorganismos degraden los compuestos orgánicos en el agua. Niveles altos de DBO pueden reflejar una significativa presencia de poluciones orgánicas (Rodríguez et al., 2023)
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Determina el volumen de oxígeno requerido para la oxidación química de compuestos

orgánicos e inorgánicos presentes en el agua. Es un indicador de la carga contaminante total (Rodríguez et al., 2023).

- **Nutrientes:** Compuestos como nitrógeno y P, derivadas de detergentes, fertilizantes y desechos humanos, que pueden producir eutrofización en entidades de H₂O (Cirujeda, 2019).
- **Metales Pesados:** Elementos como Pb, mercurio y cadmio, que existen en aguas remanentes industriales y son tóxicos para los organismos acuáticos y humanos (Rodríguez et al., 2023).

2.2.2.3. Características biológicas

- **Microorganismos Patógenos:** Incluyen microbios, virus, protozoos y hongos que pueden producir padecimientos en humanos y animales (Cirujeda, 2019).
- **Coliformes Fecales:** Microorganismos bioindicadores de polución por heces (entre ellos *Escherichia coli*), que señalan la posible existencia de agentes patógenos en el recurso hídrico (Rodríguez et al., 2023).
- **Filamentos Bacterianos:** Bacterias que forman estructuras filamentosas, las cuales pueden afectar la condición del procesamiento del H₂O y la formación de lodos (Cirujeda, 2019).

2.2.3. Contaminación del agua y calidad microbiológica

La polución hídrica constituye uno de los mayores desafíos ecológicos, con severas repercusiones tanto para el bienestar humano como para los ecosistemas. Sus orígenes son diversos, abarcando desde procesos industriales hasta el desarrollo urbano y las prácticas agropecuarias. Especialmente relevante resulta el aspecto bacteriológico, que alude a la existencia de agentes patógenos (como



bacterias, levaduras y coliformes fecales) que comprometen la potabilidad del agua, siendo estos últimos un claro indicio de contaminación por excretas (Hoz & Fortes, 2008).

2.2.4. Contaminación Microbiológica del Agua

La contaminación bacteriológica en el agua consiste en la existencia de agentes patógenos como bacterias, virus, parásitos y hongos en los recursos hídricos. Estos patógenos suelen diseminarse mediante el vertido de aguas servidas sin procesamiento adecuado en fuentes acuáticas. Dicha contaminación representa una de las mayores fuentes de padecimientos hídricos, incluyendo enfermedades gastrointestinales, cólera y hepatitis. Para su detección, se emplean organismos indicadores como los coliformes termotolerantes y *E. coli*, que señalan la posible existencia de estos microorganismos nocivos (Rodríguez et al., 2023).

2.2.5. Parámetros Microbiológicos

Los parámetros microbiológicos se refieren a las medidas de existencia de microorganismos en el H₂O, como microbios, hongos y protozoos. Estos indicadores son esenciales para determinar la condición microbiológica del H₂O. Los indicadores más comunes incluyen coliformes totales, *Escherichia coli* y coliformes fecales. Estos parámetros permiten evaluar el nivel de contaminación microbiológica y el peligro potencial para la salubridad humana (Gamarra et al., 2019)

- a. Coliformes Termotolerantes:** Los Colif. fecales son microorganismos presentes en las excretas humanas y de animales mamíferos. Su detección en cuerpos de agua evidencia contaminación por materia fecal y sugiere la probable existencia de otros patógenos entéricos, incluyendo *E. coli*. El análisis de estos indicadores biológicos constituye un

parámetro fundamental para valorar la salubridad de las aguas remanentes (Narváez et al., 2008).

Figura 1

Vista microscópica de coliformes termotolerantes

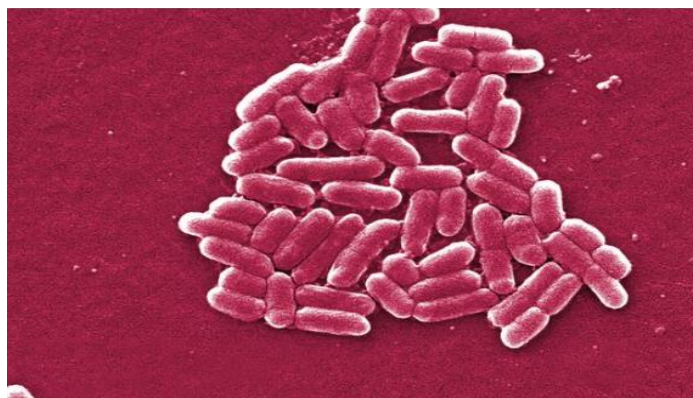


Nota: Extraído de (AQUA, 2023)

- b. Escherichia coli:** *Escherichia coli* es un microorganismo habitual en el tracto intestinal de humanos y mamíferos. Si bien numerosas variedades de esta bacteria son inocuas, ciertas cepas patogénicas pueden provocar severos trastornos gastrointestinales, incluyendo cuadros diarreicos y cólera. Su detección en aguas servidas constituye un marcador confiable de contaminación fecal y alerta sobre la eventual presencia de otros agentes patógenos (Narváez et al., 2008).

Figura 2

Vista microscópica de E. coli



Nota: Extraído de (AQUA, 2023)

- c. Bacterias:** Los microorganismos procariotas unicelulares, conocidos como bacterias, habitan múltiples entornos: desde la tierra hasta cuerpos de agua y seres vivos. Presentan diversas morfologías: cocos (esféricas), bacilos (alargadas) y espirilos (helicoidales). Estos organismos cumplen roles vitales en ciclos naturales, como la transformación del nitrógeno y la degradación de compuestos orgánicos. Algunas bacterias pueden formar estructuras multicelulares denominadas biopelículas, que les permiten adherirse a superficies y resistir condiciones adversas.

Figura 3

Vista microscópica de bacterias



Nota: Extraído de (SOUZA, 2021)

- d. Hongos:** Los hongos son seres eucariotas que presentan formas unicelulares (levaduras) o pluricelulares (hongos micelares). Su estructura básica son las hifas, filamentos tubulares que constituyen el cuerpo fúngico. Estos organismos son fundamentales en la degradación de compuestos orgánicos y en los ciclos de nutrientes. Poseen gran adaptabilidad ecológica, formando asociaciones beneficiosas con vegetales (micorrizas) o microorganismos, estableciendo interacciones mutualistas.

Figura 4

Vista microscópica de hongos



Nota: Extraído de (SOUZA, 2021)

- e. Filamentos bacterianos:** Los filamentos bacterianos son estructuras alargadas formadas por la unión de células bacterianas. Estas estructuras pueden ser observadas en ciertos tipos de bacterias que presentan una morfología filamentososa. Un ejemplo destacado son las bacterias del género *Cable bacteria*, que son capaces de transportar electrones a través de largas distancias, desempeñando un papel en la biogeoquímica del sedimento (Piñón et al., 2014).

Figura 5

Vista microscópica de filamentos bacterianos

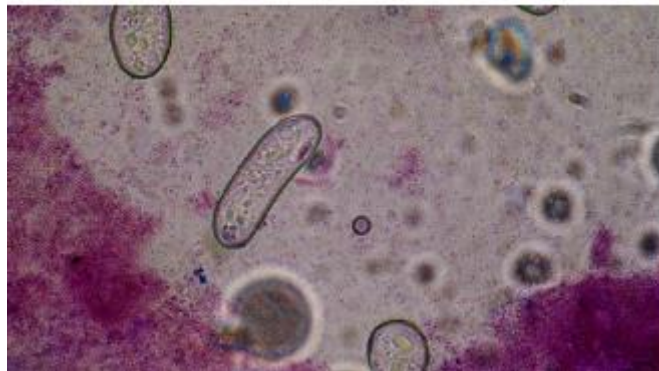


Nota: Extraído de (Solís et al., 2023)

- f. **Diversidad microbiana:** La multiplicidad microbiana hace referencia a la variedad de microorganismos presentes en un ambiente determinado, incluyendo bacterias, hongos, virus y protozoos. Esta diversidad es fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que cada grupo microbiano desempeña roles específicos en procesos como la desintegración de MO, el ciclo de nutrientes y la regulación de patógenos. La diversidad microbiana puede medirse en términos de fortuna (dígito de especies) y equidad (distribución de sujetos entre las especies).

Figura 6

Vista microscópica de diversidad microbiana



Nota: Extraído de (Solís et al., 2023)

2.2.6. Tratamiento químico de aguas residuales

El procesamiento químico de aguas remanentes implica el uso de sustancias químicas, como metales solidos (cobre, zinc, hierro), para eliminar los contaminantes microbiológicos. Este tipo de procesamiento es especialmente útil cuando los métodos biológicos no son suficientes para reducir la carga microbiana o los contaminantes químicos (Soria, 2021)



2.2.7. Cobre como Agente Antimicrobiano

El cobre es un metal con propiedades antimicrobianas conocidas desde hace siglos. En su forma de iones (Cu^{2+}), el cobre actúa como bactericida, fungicida y algicida. Se ha demostrado que posee la capacidad de eliminar una extensa gama de microorganismos patógenos en ambientes acuáticos, incluyendo bacterias, hongos y protozoos. Su acción antimicrobiana se centra en la interacción de los iones de cobre con las membranas celulares de los microorganismos, lo que provoca la alteración de su estructura y la inhibición de sus funciones vitales (León et al., 2011)

2.2.8. Mecanismos de Acción del Cobre en los Microorganismos

Los mecanismos por los cuales el cobre destruye los microorganismos incluyen la alteración de las membranas celulares, la inhibición de procesos metabólicos cruciales y la interacción con componentes celulares esenciales, como proteínas y ácidos nucleicos. El cobre puede inducir estrés oxidativo en las células microbianas, lo que lleva a la muerte celular. Estos mecanismos hacen que el cobre sea un procesamiento eficaz contra los patógenos comunes en las aguas remanentes, como *Escherichia coli*, coliformes fecales, y otros microorganismos dañinos para la salud (Mitra et al., 2020)

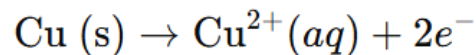
2.2.9. Tratamiento de Aguas Residuales con Varillas de Cobre

a. Oxidación del Cobre Metálico (Cu) en Agua

Cuando las varillas de cobre (Cu) se sumergen en el agua, el cobre metálico experimenta una reacción de enmohecimiento. A lo largo de este proceso, las partículas de cobre metálico (Cu) derrochan electrones y se transforman en iones de cobre Cu^{2+} , que se liberan en el agua. Estos iones son los responsables de la acción antimicrobiana.



La reacción de oxidación se representa químicamente como sigue:



Donde:

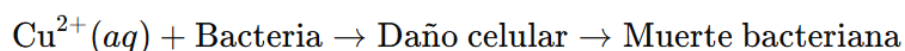
- **Cu (s)** es el cobre metálico en su forma sólida.
- **Cu²⁺ (aq)** es el ion cobre que se libera en el agua, el cual tiene propiedades antimicrobianas.
- **2e⁻** son los dos electrones que el cobre metálico pierde en el proceso de oxidación.

Los iones Cu²⁺ son los que ejercen el efecto desinfectante y bactericida en las aguas remanentes.

b. Acción Antimicrobiana de los Iones Cu²⁺

Los iones Cu²⁺ liberados en el agua tienen una acción antimicrobiana significativa. Interfieren con los microorganismos presentes en el agua al afectar sus estructuras celulares. Los iones Cu²⁺ pueden interactuar con los grupos sulfhidrilo (-SH) y otros grupos funcionales presentes en las proteínas y enzimas de la célula microbiana, lo que interfiere con sus procesos metabólicos, resultando en la inhibición del desarrollo o la caída celular.

La reacción con las células bacterianas se puede describir de la siguiente manera:

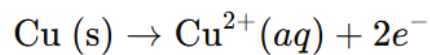


Esta reacción muestra cómo el cobre afecta a las bacterias, causando la muerte de las células microbianas.

c. Proceso de Oxidación-Reducción

La reacción de oxidación del cobre también implica un proceso de oxidación-reducción (redox). En este proceso, el cobre metálico pierde electrones y se oxida a Cu^{2+} , mientras que las células microbianas pueden reducir los electrones, lo que contribuye al estrés oxidativo dentro de las células y facilita la destrucción de sus estructuras.

La ecuación redox del proceso es:



Y la reducción de los electrones puede producir especies reactivas de oxígeno (ROS), que son altamente tóxicas para los microorganismos.

d. Liberación Gradual de Cobre

En este tipo de procesamiento, la liberación de iones Cu^{2+} es más gradual debido a la interacción continua entre las varillas de cobre y el agua. La tasa de liberación de iones pende de diferentes factores, como el temple del H_2O , el pH y la duración del contacto entre el cobre y el agua. A medida que el cobre metálico se enmohece, los iones se liberan lentamente, proporcionando una acción antimicrobiana sostenida a lo largo del procesamiento de las aguas remanentes.

2.2.10. Ventajas del Cobre en el Tratamiento de Aguas Residuales

Entre las ventajas del procesamiento con cobre se encuentran su alta vigor en la exclusión de microorganismos, su bajo costo en comparación con otros desinfectantes, y su cabida para excluir una extensa gama de microorganismos patógenos. Además, el cobre es un material relativamente accesible y económico, lo que lo transforma en una elección atractiva para su uso en sistemas de procesamiento de aguas remanentes, especialmente en regiones donde los recursos son limitados (Yu et al., 2024)



2.2.11. Efectividad del Cobre en la Eliminación de Coliformes y Bacterias Patógenas

El cobre ha probado ser efectivo para disminuir la presencia de Col. termotolerantes y E. coli en aguas remanentes. Estos bioindicadores de polución por heces son parámetros fundamentales para valorar la salubridad del recurso hídrico. Diversas investigaciones demuestran que el procesamiento con cobre logra una reducción considerable de estos patógenos, optimizando así las características microbiológicas del agua procesada (Neciosup et al., 2015)

2.2.12. Impacto Ambiental del Uso de Cobre en el Tratamiento de Aguas Residuales

La usanza de Cu en el procesamiento de aguas remanentes debe ser cuidadosamente controlado para evitar efectos perjudiciales en los ecosistemas marítimos. Aunque el cobre es efectivo como antimicrobiano, su acumulación en los sedimentos acuáticos puede afectar la biodiversidad. En consecuencia, resulta fundamental controlar los niveles de cobre en el agua procesada, garantizando que no excedan los umbrales establecidos como seguros para los organismos acuáticos (Grass et al., 2011)

2.2.13. Límites Máximos Permisibles según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: Norma Técnica de Calidad Ambiental para Aguas Residuales

La presente normativa busca preservar las fuentes hídricas y los ambientes acuáticos nacionales mediante el control de los estándares requeridos para el vertimiento de efluentes. Fija los valores máximos permitidos para diferentes compuestos en las aguas remanentes previo a su descarga en ríos, lagos o mares.



2.3. Marco conceptual

2.3.1. Agua residual

Las aguas servidas corresponden a aquellas que han sido empleadas en procesos residenciales, fabriles, mercantiles o agropecuarios, conteniendo elementos nocivos como desechos orgánicos, compuestos nutritivos, elementos metálicos tóxicos y agentes microbianos patogénicos (Perez et al., 2021)

2.3.2. Bacterias Heterotróficas

Son bacterias que dependen de materia orgánica para su crecimiento y son importantes en el análisis de la condición del H₂O (Perez et al., 2021)

2.3.3. Cobre

El Cu es un metal sólido con propiedades antimicrobianas que se esgrime en el procesamiento de aguas para eliminar microorganismos patógenos (León et al., 2011).

2.3.4. Coliformes termotolerantes

Son microbios indicadores de contaminación fecal en el H₂O, usadas para evaluar la seguridad microbiológica del agua (Meoño et al., 2015)

2.3.5. Contaminación Microbiológica del Agua

La contaminación bacteriana en el H₂O se produce cuando agentes patógenos (bacterias, virus) contaminan los recursos hídricos, generando un peligro potencial para la población (León et al., 2011)

2.3.6. Cobre como Antimicrobiano

El cobre tiene propiedades antimicrobianas, eliminando bacterias patógenas al interactuar con sus membranas celulares (Feng et al., 2013)



2.3.7. Coprecipitación de Cobre

Es el proceso mediante el cual el cobre se combina con otros compuestos durante el procesamiento de aguas para excluir partículas suspendidas y microorganismos patógenos (Neciosup et al., 2015)

2.3.8. Diversidad Microbiana

Variedad y abundancia de microorganismos en un ecosistema, indicador clave de su salud y estabilidad (Michels et al., 2008).

2.3.9. Escherichia coli (E. coli)

Se trata de un microorganismo que forma parte de la flora intestinal habitual en animales y personas. Su existencia en el H₂O es un indicador de contaminación fecal, ya que es un microorganismo patógeno que puede causar enfermedades gastrointestinales (Araujo et al., 2023)

2.3.10. Microorganismos Patógenos

Se trata de agentes patógenos capaces de generar enfermedades en organismos vivos. Su detección en fuentes hídricas constituye uno de los mayores desafíos en el procesamiento de agua para consumo humano (Esquivel & Solano, 2005).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Este estudio adopta un enfoque aplicado, experimental y cuantitativo, con el propósito de analizar la influencia del Cu en los indicadores bacteriológicos de aguas remanentes en Puno. A través de un diseño experimental riguroso, se controlarán diferentes reuniones de cobre en muestras hídricas para evaluar su efecto sobre microorganismos indicadores, particularmente coliformes termotolerantes y E. coli.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de estudio de este análisis es descriptivo y exploratorio. El enfoque exploratorio se justifica dado que se investiga un fenómeno poco estudiado en la región de Puno, como es el efecto del cobre sobre los indicadores microbiológicos de las aguas remanentes. A través de este nivel, se busca identificar y comprender las posibles relaciones entre la concentración de cobre y la reducción de la carga microbiológica.

3.3. Enfoque de la investigación

Este estudio adopta una metodología cuantitativa, enfocada en la cuantificación precisa de indicadores microbianos (Col. termotolerantes y E. coli) en relación con diferentes niveles de cobre en efluentes. El análisis de datos



empleará herramientas estadísticas para determinar correlaciones significativas entre los factores evaluados.

3.4. Diseño de investigación

Para la presente investigación el diseño es experimental por que se manipula la variable independiente (varillas de cobre de 20 y 30 cm)

3.5. Técnicas e instrumentos

3.5.1. Técnicas

La técnica esgrimida en este estudio sería la observación experimental y la muestra microbiológica. A través de la observación experimental, se manipulo la reunión de cobre en las aguas remanentes y se midieron los cambios en los indicadores microbiológicos precedentemente y posteriormente del procesamiento. Para ello, se utilizaron muestras microbiológicas obtenidas de las aguas remanentes de la región de Puno.

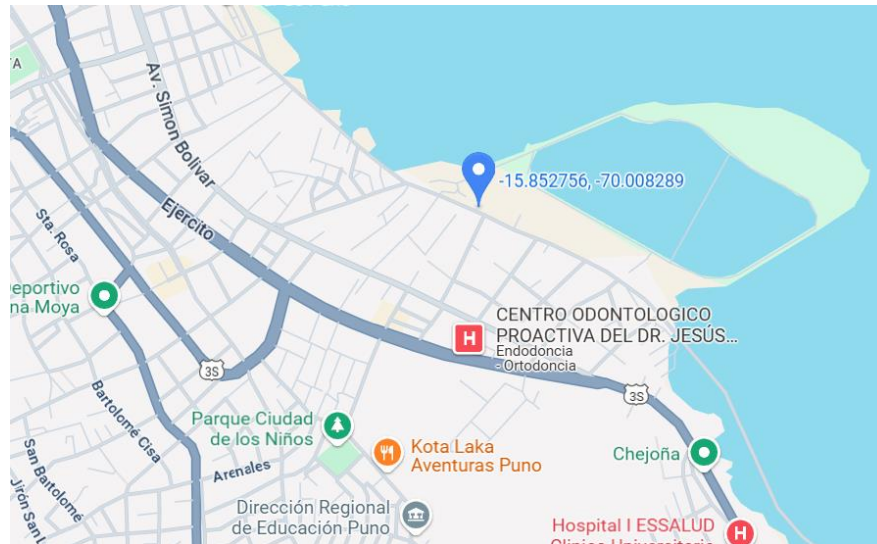
3.5.2. Instrumentos

Para la compilación y análisis de datos, se utilizaron botellas estériles para las muestras de agua, registradas en una ficha de cadena de custodia para garantizar su trazabilidad. El conteo microbiológico se realizó con un microscopio trinocular y se controlaron las condiciones ambientales mediante termómetros y medidores de pH. Todo el proceso seguido protocolos estándar de calidad y seguridad para aseverar la fiabilidad y precisión de los resultados.

3.5.3. Ubicación de la zona de investigación

Figura 7

Ubicación de la zona de monitoreo



Nota: Google Maps

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

La población de este estudio está compuesta por las aguas remanentes presentes en la laguna de oxidación de Espinar, de Puno del departamento de Puno, las cuales provienen de los efluentes generados por la región.

3.6.2. Muestra

El muestreo está conformado por las aguas remanentes de la laguna de estabilización de Espinar, en Puno. Las muestras fueron obtenidas de manera aleatoria en dos puntos específicos. Ambas recolectas se efectuaron con el propósito de evaluar la reunión de los indicadores microbiológicos y analizar la efectividad del cobre en su control.



3.6.3. Materiales y equipos

3.6.3.1. Materiales

- Vial de cuarzo
- Placas Petri
- Micropipeta de 5000 y 200 μ L marca BOECO
- Frasco estéril de 250 mL de borosilicato
- Vasos precipitados de 250 mL clase A
- Nylon

3.6.3.2. Equipos

- Microscopio trinocular marca ZEISS
- Turbidímetro HACH 2100
- Estufa marca MEMERTH
- Incubadora marca YAMATO
- Multiparámetro HACH Hq 40d
- Bomba de vacío marca ROCKER
- Balanza metódica de precisión 0.0001g marca ADAM

3.6.3.3. Reactivos

- Barillas de cobre de 20 y 30 cm
- Formol 2%
- Agua destilada
- Aceite de inmersión
- Hipoclorito

3.6.4. Procedimiento metodológico

Objetivo específico 1: Analizar la concentración inicial de coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos, bacterias y filamentos bacterianos de las aguas residuales de Puno antes de la aplicación del tratamiento con cobre.

Para el cumplimiento del presente objetivo se realizaron los siguientes pasos:

a. Muestreo

Se esgrimió una muestra no probabilística por conveniencia, seleccionando puntos estratégicos representativos dentro del sistema de la laguna de oxidación: entrada, sedimentación primaria y zona de contacto biológico.

Se recolectaron 2 muestras de 500 mL en frascos de cristal estériles, siguiendo el protocolo del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Las muestras se conservaron en frío (4 °C) y se transportaron al laboratorio microbiológico en un tiempo máximo de 6 horas para evitar alteraciones en la carga microbiana.

Figura 8

Toma de muestras iniciales



b. Procedimiento de recolección y análisis

La toma de muestras fue ejecutada por personal capacitado, aplicando normas de bioseguridad y procedimientos señalados en el Reglamento de Normas de Calidad Ambiental para Agua (MINAM, 2017).

Para el análisis microbiológico, se emplearán los métodos siguientes:

Tabla 2

Métodos normalizados para el análisis a aguas potables y residuales

PARAMETROS FÍSICOS		
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO
Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	SM 4500 – H
Turbidez	NTU	Método Nefelométrico
Bacterias, hongos	Org/L	SM 5000
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	SM 9221 B Técnicas estandarizadas de fermentación
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	Incubations a 37°C

Nota: (APHA, 2005) estándar method

Los análisis se realizaron en el recinto de Laboratorio de Análisis Químico Ambiental LAQUAMEQ E.I.R.L.

c. Análisis de datos

- Una vez recolectados los datos de los indicadores microbiológicos en las aguas remanentes antes de la aplicación del procesamiento con cobre, el análisis se realizó por medio de la usanza del software estadístico **SPSS** (versión 25 o superior), utilizando métodos simples y efectivos para evaluar los resultados
- **Diagramas de caja (Boxplots):** Los gráficos de caja y bigotes permiten representar gráficamente la dispersión de los datos, siendo

particularmente eficaces para identificar observaciones anómalas en el conjunto de valores. Esto te ayudará a ver la tendencia central y la dispersión de cada parámetro microbiológico.

- **Resultados de las pruebas de hipótesis:** Cuando el valor de significancia $p \leq 0.05$, se descarta la hipótesis nula (lo que demuestra una variación estadísticamente relevante en los indicadores microbianos tras la aplicación del procesamiento con cobre). Por el contrario, si $p > 0.05$, se mantiene la hipótesis nula (evidenciando que no existen cambios significativos).

Objetivo específico 2: Determinar los efectos del cobre en la diversidad y cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de la región.

a. Muestra y muestreo

- El muestreo de agua utilizada fue de 80 litros de aguas remanentes crudas, que se dividieron en 4 baldes de 20 litros.

Figura 9

Toma de muestra para tratamiento



- A cada balde se le añadió una varilla de cobre de 20 cm y 30 cm de longitud (con sus réplicas respectivas), lo que generó dos grupos experimentales (uno con varillas de 20 cm y otro con varillas de 30 cm).

Figura 10

Acondicionamiento de prototipo



- De esta manera, se contará con 4 condiciones experimentales

Tabla 3

Condiciones experimentales

N°	Código	Descripción
1	G1 – 20	Grupo 1 (20 cm de cobre, réplica 1)
2	G2 – 30	Grupo 2 (30 cm de cobre, réplica 2)
3	G1 – 20	Grupo 3 (20 cm de cobre, réplica 1)
4	G2 – 30	Grupo 4 (30 cm de cobre, réplica 2)

- La toma de muestras se realizó cada 3 días durante un periodo de 12 días, lo que resultó en un total de 4 tomas de muestras por cada condición experimental.

Tabla 4*Periodo de tratamiento*

N°	Fechas de tratamiento
1	24/05/2025
2	27/05/2025
3	30/05/2025
4	02/06/2025

b. Procedimiento de recolección de datos

- **Preparación de los baldes:** Se colocaron varillas de cobre en cada uno de los baldes con 20 litros de agua residual cruda. Los baldes fueron acondicionados en un lugar donde la temperatura y las condiciones ambientales sean constantes durante el experimento.

Tabla 5*Acondicionamiento y monitoreo*

- **Recolección de muestras:** Cada 3 días, se tomaron 500 mL de agua de cada balde para su análisis microbiológico. En total, se tomaron 5 muestras para cada grupo experimental (una por cada intervalo de 3 días).

c. Análisis microbiológico

- **Cantidad de microorganismos:** Se cuantificaron los microorganismos en cada muestra mediante técnicas microbiológicas estándar:

Figura 11

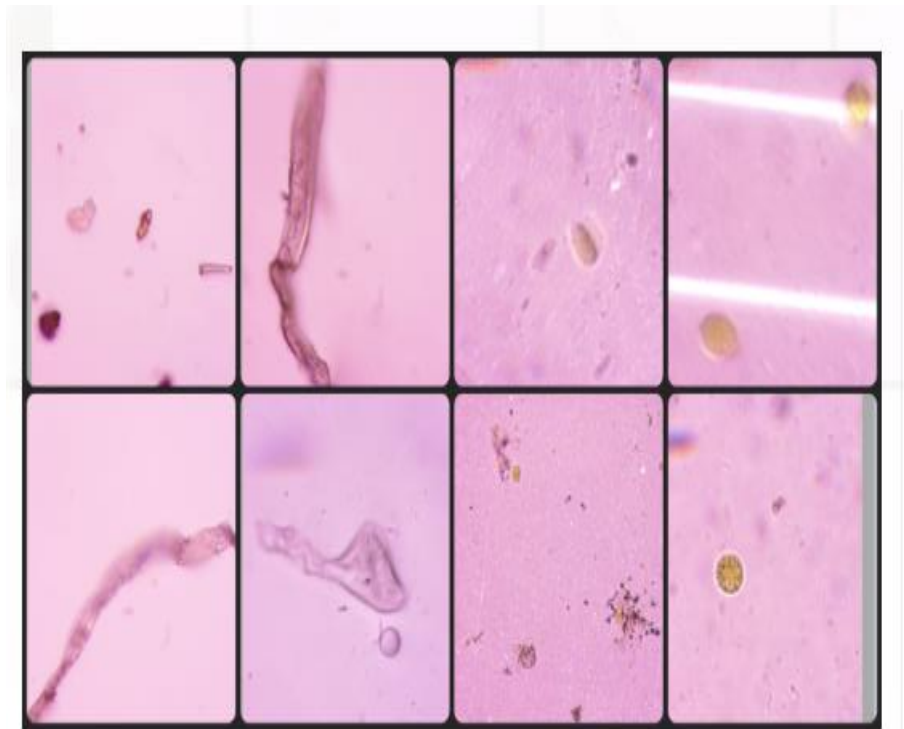
Determinación de coliformes termotolerantes y E coli



- **Diversidad de microorganismos:** Se evaluó la diversidad microbiana utilizando microscopio trinocular.

Figura 12

Vista microscópica de microorganismos



Objetivo específico 3: Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad microbiológica del agua en función de la concentración de cobre y su impacto

Tras la obtención de los datos microbiológicos (antes y después del procesamiento), los valores observados se contrastaron con los estándares fijados por la legislación vigente a nivel internacional y nacional.

La verificación del desempeño de los parámetros microbiológicos en aguas remanentes se realizó conforme a los estándares fijados por la OMS y los LMP establecidos en la Orden Suprema N° 003-2010-MINAM, que regula los efluentes de las PTAR. Los valores de referencia establecidos son los siguientes:



Tabla 6

Límites Microbiológicos en Aguas Residuales: Normativas Peruanas e Internacionales

Parámetro	LMP en Perú	Norma Peruana	Límite Máximo Permisible Internacional	Norma Internacional
Coliformes termotolerantes	10,000 NMP/100 mL	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	No detectable en 100 mL	OMS, Directrices para la condición del agua potable, 4. ^a edición
Escherichia coli	100 NMP/100 mL	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	No detectable en 100 mL	OMS, Directrices para la condición del agua potable, 4. ^a edición
Hongos	No especificado	No establecido en normativas peruanas	No detectable en 100 mL	OMS, Directrices para la condición del agua potable, 4. ^a edición
Bacterias totales	No especificado	No establecido en normativas peruanas	No detectable en 100 mL	OMS, Directrices para la condición del agua potable, 4. ^a edición
Filamentos bacterianos	No especificado	No establecido en normativas peruanas	No especificado	OMS, Directrices para la condición del agua potable, 4. ^a edición

Nota: Estándares y Límites, Nacionales e Internacionales.

Las derivaciones emanadas se compararán con los LE en la tabla 6. Esto nos permitirá determinar si la aplicación del cobre reduce efectivamente la cantidad y diversidad de los microorganismos, y si el procesamiento cumple con las normas de condición microbiológica señalados tanto en las normas nacionales como internacionales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Objetivo específico 1: Analizar la concentración inicial de coliformes termotolerantes, escherichia coli, hongos, bacterias y filamentos bacterianos de las aguas residuales de Puno antes de la aplicación del tratamiento con cobre.

Tabla 7

Resultados de las muestras iniciales

Parámetro	Unidad	M1 – I	M2 – I
Temperatura	°C	9.4	9.7
pH	-	7.5	7.7
Bacterias	Org/L	10^9	10^9
Hongos	Org/L	10^6	10^6
Filamentos bacterianos	Org/L	10^8	10^8
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	$2.4 * 10^7$	$2.4 * 10^7$
E Coli	NMP/100mL	$1.1 * 10^5$	$9 * 10^5$

De acuerdo con los datos emanados en los dos puntos de monitoreo iniciales como se muestra en la tabla antes de la aplicación del procesamiento con cobre (*M1-I* y *M2-I*), se observa lo siguiente:



a. Temperatura y pH

- La temperatura en ambos puntos de monitoreo (*M1-I* y *M2-I*) fue de 9.4 °C y 9.7 °C, respectivamente. Estos valores están dentro del rango típicamente encontrado en las aguas remanentes, lo que indica que no se ha producido una alteración térmica significativa en las muestras.
- El pH de las muestras fue de 7.5 y 7.7, lo que indica que las aguas son casi neutras. Esto es importante ya que el pH puede influir en la actividad microbiana y en la eficiencia de los procesamientos de desinfección.

b. Bacterias

- La concentración de bacterias fue de 10^9 org/L en ambos puntos de monitoreo. Este nivel sugiere una alta carga bacteriana en aguas remanentes precedentemente del procesamiento, lo que es esperado en aguas residuales no tratadas, ya que las bacterias son uno de los principales indicadores de polución.

c. Hongos

- La concentración de hongos fue de 10^6 org/L en ambos puntos de monitoreo. Esta concentración sugiere una presencia considerable de organismos fúngicos en el agua, lo que podría estar relacionado con la descomposición orgánica en el sistema de aguas remanentes.

d. Filamentos bacterianos

- La reunión de filamentos bacterianos fue de 10^8 org/L en ambos puntos de monitoreo. Esta alta concentración de filamentos bacterianos indica una posible formación de estructuras bacterianas que pueden estar involucradas en la degradación de MO, un fenómeno común en aguas remanentes.



e. Coliformes termotolerantes

- Los coliformes termotolerantes se presentaron con concentraciones de $2.4 * 10^7$ NMP/100mL en ambos puntos de monitoreo. Estos valores son elevados, indicando una alta presencia de polución fecal, lo cual es típico en aguas remanentes sin procesamiento adecuado.

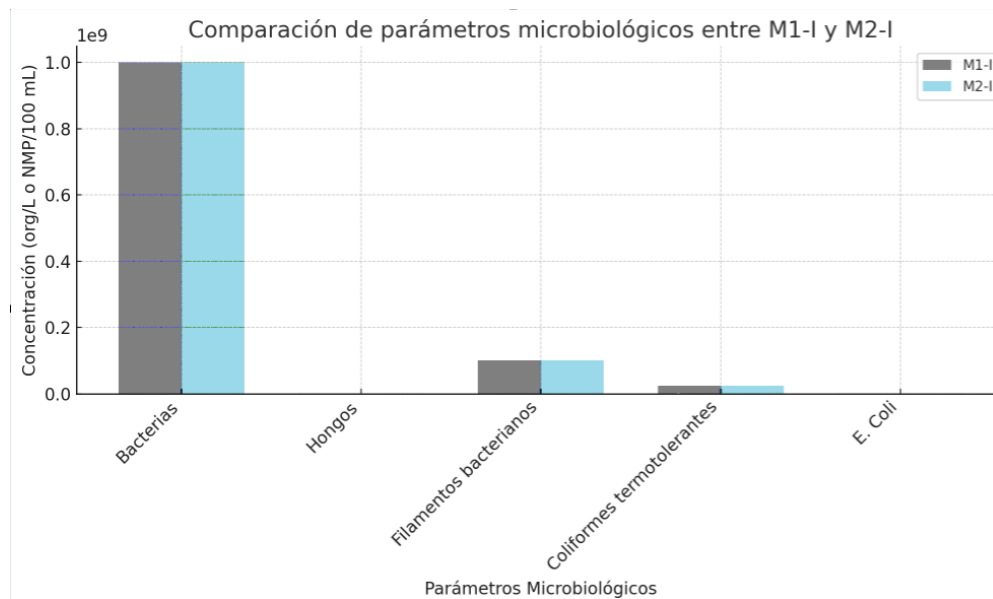
f. *Escherichia coli*

- Las concentraciones de *Escherichia coli* fueron de $1.1 * 10^5$ NMP/100mL en *M1-I* y $9 * 10^5$ NMP/100mL en *M2-I*. Aunque ambos valores indican una presencia significativa de *E. coli*, el segundo punto de monitoreo presenta una carga microbiana más alta, lo que insinúa una posible variabilidad en la condición del H₂O dentro del sistema de la laguna de oxidación.

Los resultados iniciales muestran una alta carga microbiológica en las aguas remanentes antes de la aplicación del procesamiento con cobre, con niveles elevados de Col. termotolerantes y *Escherichia coli*, ambos indicadores de polución fecal. La concentración de bacterias, hongos y filamentos bacterianos también es alta, lo que refleja una posible descomposición de materia orgánica en las aguas. Estos resultados son esperados en aguas remanentes sin procesamiento, y constituyen la base para evaluar la efectividad del cobre en la disminución de la carga microbiana en las siguientes fases del estudio.

Figura 13

Resultados iniciales de parámetros microbiológicos antes del tratamiento



El gráfico enseña las derivaciones iniciales de los indicadores microbiológicos antes del procesamiento con cobre en dos puntos de monitoreo (*M1-I* y *M2-I*) de las aguas remanentes de Puno. Se observa una alta concentración de bacterias (10^9 org/L), hongos (10^6 org/L), y filamentos bacterianos (10^8 org/L) en ambos puntos, lo que indica una significativa carga microbiana en las aguas. Además, los Col. termotolerantes alcanzan valores de 2.4×10^7 NMP/100 mL y *Escherichia coli* se encuentra en concentraciones de hasta 9×10^5 NMP/100 mL en *M2-I*, reflejando una importante polución fecal en las aguas remanentes. Estos resultados destacan la necesidad de un procesamiento efectivo para disminuir la carga microbiológica antes del vertimiento al ambiente.



Objetivo específico 2: Determinar los efectos del cobre en la diversidad y cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de la región.

Para el desempeño del actual propósito se ejecutó de la siguiente manera:

Inicialmente se instaló baldes con 20 L de muestreo de agua remanente (M1 – I) obtenida de la laguna de oxidación Espinar Puno, considerando los siguientes códigos:

Tabla 8

Código de tratamiento

Código	Especificación
M – 20	Muestra de agua remanente con varilla de cobre de 20cm
M – 30	Muestra de agua remanente con varilla de cobre de 30cm

Tratamiento a los 3 días:

Las derivaciones iniciales conseguidos precedentemente de la diligencia del procesamiento con cobre (*M1-I*) y después de 3 días de exposición de las varillas de cobre de 20 cm y 30 cm (*M-20* y *M-30*) muestran variaciones significativas en los parámetros microbiológicos monitoreados, lo que indica un posible efecto del cobre en la cuantía y diversidad de los microorganismos existentes en las aguas remanentes como se puede ver en la tabla siguiente.

Tabla 9

Resultados a los 3 días de tratamiento

Parámetro	Unidad	M – 20	M – 30
Temperatura	°C	12.5	12.7
pH	-	7.4	7.2
Bacterias	Org/L	10^7	10^5
Hongos	Org/L	10^5	10^4
Filamentos bacterianos	Org/L	10^7	10^6
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	$2.3 * 10^6$	$1.1 * 10^5$
E Coli	NMP/100mL	$4.3 * 10^4$	$1.5 * 10^3$

a. Temperatura y pH

- La temperatura aumentó ligeramente de 9.4 °C en *M1-I* a 12.5 °C y 12.7 °C en los procesamientos con cobre de 20 cm y 30 cm, respectivamente. Este aumento es esperado en condiciones de contacto con el cobre, ya que puede inducir un pequeño calentamiento debido a las reacciones químicas como también las condiciones ambientales.
- El pH disminuyó ligeramente en ambos procesamientos (de 7.5 a 7.4 en *M-20* y 7.2 en *M-30*). Aunque el pH sigue siendo cercano a la neutralidad, esta leve disminución podría estar vinculada con la liberación de iones de cobre en el H₂O.

b. Bacterias:

La cuantía de bacterias disminuyó considerablemente posteriormente de la exposición al cobre. En *M1-I*, la concentración era de 10^9 org/L, mientras que en los procesamientos con cobre se redujo a 10^7 org/L en *M-20* y 10^5 org/L



en *M-30*. Esta reducción sugiere que el cobre tiene un efecto bactericida o bacteriostático, afectando negativamente la proliferación bacteriana.

c. Hongos:

Similar a las bacterias, la concentración de hongos también mostró una disminución. En *M1-I*, la concentración inicial era de 10^6 org/L, mientras que en los procesamientos con cobre disminuyó a 10^5 org/L en *M-20* y 10^4 org/L en *M-30*. Este cambio sugiere que el cobre tiene un impacto negativo sobre los hongos, reduciendo su presencia en el agua.

d. Filamentos bacterianos:

Los filamentos bacterianos mostraron una reducción en ambos procesamientos. Inicialmente, la concentración era de 10^8 org/L en *M1-I*, mientras que en *M-20* se redujo a 10^7 org/L y en *M-30* a 10^6 org/L. Esta disminución indica que el cobre podría estar afectando las estructuras filamentosas bacterianas, lo que podría interferir con la formación de biofilmes y otros procesos bacterianos.

e. Coliformes termotolerantes:

Los coliformes termotolerantes experimentaron una notable disminución en los procesamientos con cobre. En *M1-I*, la concentración era de 2.4×10^7 NMP/100 mL, mientras que en *M-20* y *M-30* se redujo significativamente a 2.3×10^6 NMP/100 mL y 1.1×10^5 NMP/100 mL, proporcionalmente. Esta reducción sugiere que el cobre posee un efecto efectivo en la disminución de la polución fecal en las aguas remanentes.

f. Escherichia coli:

La concentración de *Escherichia coli* también mostró una importante disminución. En *M1-I*, la concentración era de 1.1×10^5 NMP/100 mL,

mientras que en *M-20* se redujo a $4.3 * 10^4$ NMP/100 mL y en *M-30* a $1.5 * 10^3$ NMP/100 mL. Esta reducción es significativa y sugiere que tanto la varilla de cobre de 20 cm como la de 30 cm son efectivas para reducir la carga de *E. coli*, lo que implica un potencial efecto desinfectante del cobre en las aguas remanentes.

Tratamiento a los 6 días

Tabla 10

Resultados a los 6 días de tratamiento

Parámetro	Unidad	M – 20	M – 30
Temperatura	°C	13.1	13.0
pH	-	7.2	7.0
Bacterias	Org/L	10^5	10^4
Hongos	Org/L	10^4	10^3
Filamentos bacterianos	Org/L	10^6	10^5
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	$1.1 * 10^5$	$1.5 * 10^4$
E Coli	NMP/100mL	4600	4300

a. Temperatura y pH:

- La temperatura en ambos procesamientos aumentó ligeramente con respecto a los primeros 3 días, alcanzando 13.1 °C en *M-20* y 13.0 °C en *M-30*. Este aumento es moderado y probablemente no tiene un impacto significativo en la actividad microbiológica.
- El pH continuó disminuyendo en ambos procesamientos, llegando a 7.2 en *M-20* y 7.0 en *M-30*, lo que indica un ligero efecto del cobre sobre la alcalinidad del agua, pero aún dentro de rangos aceptables para la mayoría de los microorganismos.

**b. Bacterias:**

La concentración de bacterias disminuyó significativamente con respecto a los 3 días anteriores, pasando de 10^7 org/L en M-20 y 10^5 org/L en M-30 a 10^5 org/L en M-20 y 10^4 org/L en M-30. Esto refuerza la idea de que el cobre tiene un efecto bactericida, reduciendo la carga bacteriana en las aguas tratadas.

c. Hongos:

La concentración de hongos también continuó reduciéndose, con valores de 10^4 org/L en M-20 y 10^3 org/L en M-30, comparado con los 10^5 org/L y 10^4 org/L observados a los 3 días. La reducción de hongos sigue el mismo patrón, indicando que el cobre está afectando tanto a bacterias como a hongos presentes en el agua.

d. Filamentos bacterianos:

La cantidad de filamentos bacterianos también disminuyó, pasando de 10^7 org/L en M-20 y 10^6 org/L en M-30 a 10^6 org/L y 10^5 org/L, respectivamente. Esta reducción podría reflejar el efecto del cobre sobre la formación de biofilmes y la proliferación bacteriana en forma filiforme.

e. Coliformes termotolerantes:

La concentración de coliformes termotolerantes mostró una fuerte disminución, de 2.3×10^6 NMP/100 mL en M-20 y 1.1×10^5 NMP/100 mL en M-30 a 1.1×10^5 NMP/100 mL en M-20 y 1.5×10^4 NMP/100 mL en M-30. Esta reducción es significativa, lo que indica que el cobre tiene un impacto efectivo en la mengua de la polución fecal en las aguas remanentes.

f. Escherichia coli:

La reunión de *Escherichia coli* se redujo notablemente a los 6 días, pasando de 4.3×10^4 NMP/100 mL en M-20 y 1.5×10^3 NMP/100 mL en M-30 a 4600 NMP/100 mL en M-20 y 4300 NMP/100 mL en M-30. Esta disminución es un indicio claro de que el cobre sigue teniendo un efecto sobre la carga microbiológica, particularmente en la reducción de este patógeno fecal.

Tratamiento a los 9 días

Tabla 11

Resultados a los 9 días de tratamiento

Parámetro	Unidad	M – 20	M – 30
Temperatura	°C	14.2	14.0
pH	-	7.0	6.8
Bacterias	Org/L	10^4	10^3
Hongos	Org/L	10^3	10^3
Filamentos bacterianos	Org/L	10^5	10^4
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	4.3×10^4	1.1×10^3
E Coli	NMP/100mL	4300	2400

a. Temperatura y pH:

- La temperatura continuó aumentando ligeramente, alcanzando 14.2 °C en M-20 y 14.0 °C en M-30. Este aumento es leve y probablemente no afecta significativamente la actividad microbiológica.
- El pH enseñó una ligera mengua, alcanzando 7.0 en M-20 y 6.8 en M-30. Aunque el pH se vuelve ligeramente más ácido, sigue dentro de un rango apropiado para la mayor parte de los microorganismos.

**b. Bacterias:**

La concentración de bacterias siguió disminuyendo de manera significativa en ambos procesamientos. En *M-20*, la concentración bajó a 10^4 org/L, y en *M-30*, la concentración fue aún menor, con 10^3 org/L. Esta reducción continua indica que el cobre está siendo efectivo en la disminución de la proliferación bacteriana.

c. Hongos:

Los hongos también mostraron una ligera disminución, alcanzando 10^3 org/L tanto en *M-20* como en *M-30*. Aunque la reducción no es tan drástica como en otros parámetros, sigue indicando un efecto positivo del cobre en la disminución de la carga fúngica.

d. Filamentos bacterianos:

La concentración de filamentos bacterianos también continuó su reducción, bajando a 10^5 org/L en *M-20* y 10^4 org/L en *M-30*. Este comportamiento sugiere que el cobre está afectando las estructuras bacterianas filamentosas, lo que podría interferir con la formación de biofilmes y la actividad bacteriana en general.

e. Coliformes termotolerantes:

Los coliformes termotolerantes se redujeron significativamente a los 9 días, pasando de 2.3×10^6 NMP/100 mL en *M-20* y 1.1×10^5 NMP/100 mL en *M-30* a 4.3×10^4 NMP/100 mL en *M-20* y 1.1×10^3 NMP/100 mL en *M-30*. Esta disminución es considerable, lo que indica que el procesamiento con cobre está siendo eficaz para reducir la polución fecal en el H₂O.

f. Escherichia coli:

La concentración de *Escherichia coli* continuó disminuyendo, con valores de 4,300 NMP/100 mL en M-20 y 2,400 NMP/100 mL en M-30. Aunque la reducción es moderada, sigue siendo significativa, y refuerza la seguridad del Cu en la mengua de este patógeno fecal.

Tratamiento a los 12 días

Tabla 12

Resultados a los 12 días de tratamiento

Parámetro	Unidad	M – 20	M – 30
Temperatura	°C	13.8	13.7
pH	-	6.6	6.5
Bacterias	Org/L	<100	<100
Hongos	Org/L	<100	<100
Filamentos bacterianos	Org/L	<100	<100
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	930	900
E Coli	NMP/100mL	43	23

a. Temperatura y pH:

- La temperatura se mantuvo casi constante, con 13.8 °C en M-20 y 13.7 °C en M-30, lo que indica que el procesamiento con cobre no afectó de manera significativa la temperatura del agua.
- El pH continuó descendiendo, alcanzando 6.6 en M-20 y 6.5 en M-30. Aunque el pH es ligeramente ácido, sigue dentro de un rango apropiado para la mayor parte de los microorganismos.

b. Bacterias:

La concentración de bacterias en ambas condiciones de cobre (20 cm y 30 cm) fue de <100 org/L. Este valor es considerablemente más bajo que en



las mediciones previas, lo que indica que el cobre ha tenido un efecto notable en la disminución de la carga bacteriana a lo largo de los 12 días.

c. Hongos:

La concentración de hongos también fue de <100 org/L en ambos procesamientos (M-20 y M-30), lo que refleja una reducción significativa en comparación con los primeros 3, 6 y 9 días. Esto sugiere que el cobre ha logrado reducir la existencia de hongos en el H₂O.

d. Filamentos bacterianos:

La existencia de filamentos bacterianos también se redujo considerablemente, alcanzando <100 org/L en ambos procesamientos. Este valor refleja una disminución importante en la proliferación de estructuras bacterianas filamentosas, lo cual es un indicador positivo de que el cobre está interfiriendo con la formación de biofilmes.

e. Coliformes termotolerantes:

La reunión de coliformes termotolerantes fue de 930 NMP/100 mL en M-20 y 900 NMP/100 mL en M-30, lo que representa una gran disminución respecto a los niveles iniciales. Aunque aún están presentes, estos valores indican que el cobre ha poseído un impacto enorme en la deflación de la polución fecal.

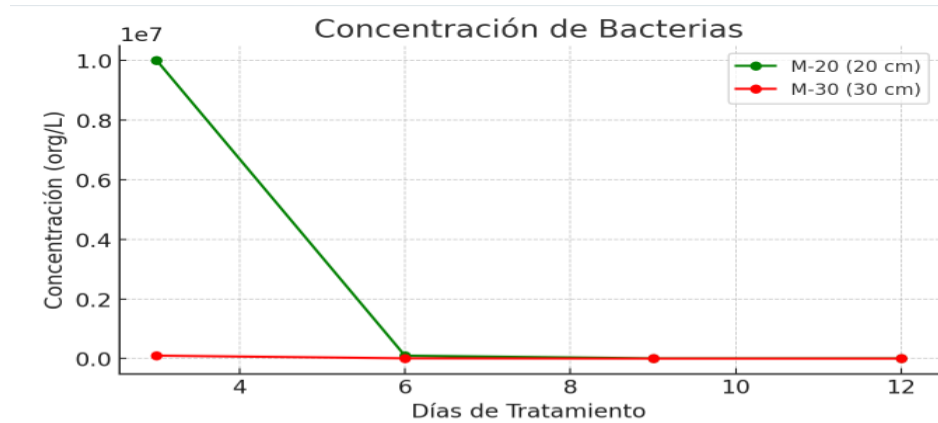
f. Escherichia coli:

La reunión de Escherichia coli se redujo a 23 NMP/100 mL en M-30 y 43 NMP/100 mL en M-20, lo que es un descenso notable en comparación con los primeros 3 días. Aunque todavía hay presencia de E. coli, los niveles son considerablemente más bajos, lo que sugiere que el cobre ha sido eficaz en reducir la carga de este patógeno.

Evolución de los Parámetros Microbiológicos Durante el Tratamiento con Cobre

Figura 14

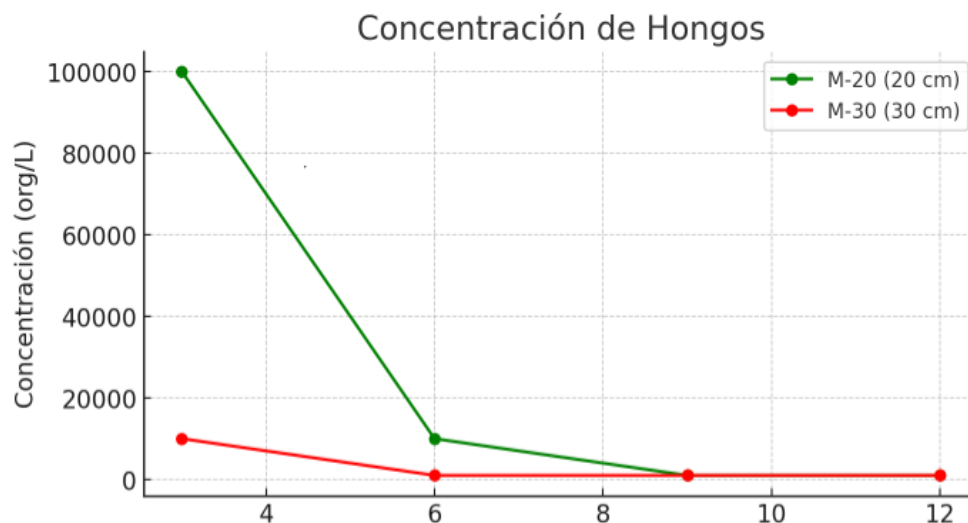
Resultados de la concentración de bacterias durante el tratamiento



Como se puede ver en la figura la reducción de los microbios en las aguas remanentes con el tiempo puede atribuirse al efecto bactericida del cobre, que interfiere con la actividad metabólica de las bacterias y puede inducir su muerte. Con el aumento de la exposición al cobre (de 3 a 12 días), la concentración de bacterias disminuyó significativamente, lo que sugiere que el cobre tiene un impacto efectivo en la disminución de la carga bacteriana en el H₂O.

Figura 15

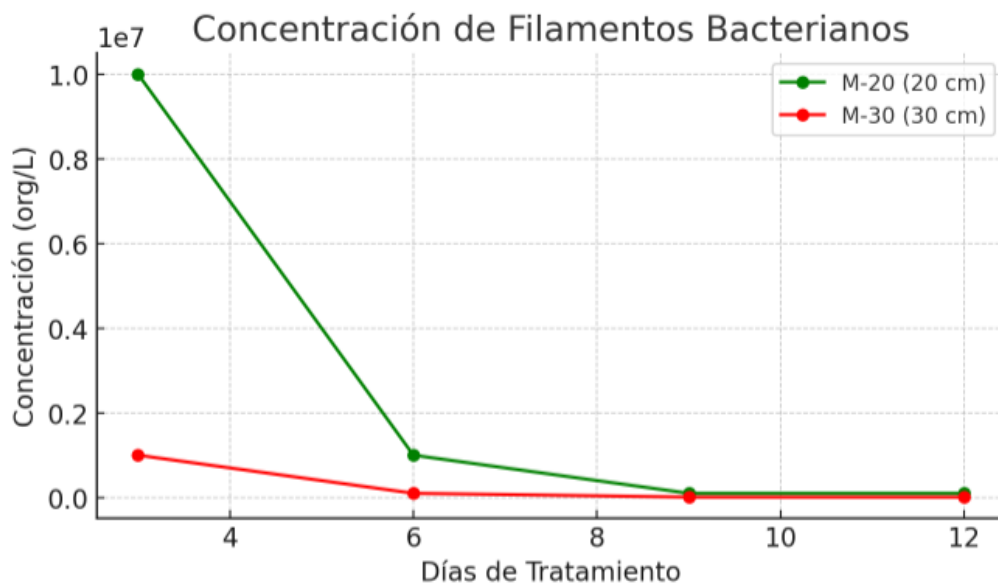
Resultados de la concentración de hongos durante el tratamiento



La mengua en la reunión de hongos a lo largo del procesamiento puede ser explicada por el efecto antifúngico del cobre. El cobre es conocido por tener propiedades que inhiben el crecimiento de organismos fúngicos, lo que se refleja en la disminución de su concentración. Al mismo tiempo que acrecienta el lapso de exposición, los hongos presentes en las aguas remanentes se ven más afectados, lo que resulta en una reducción progresiva.

Figura 16

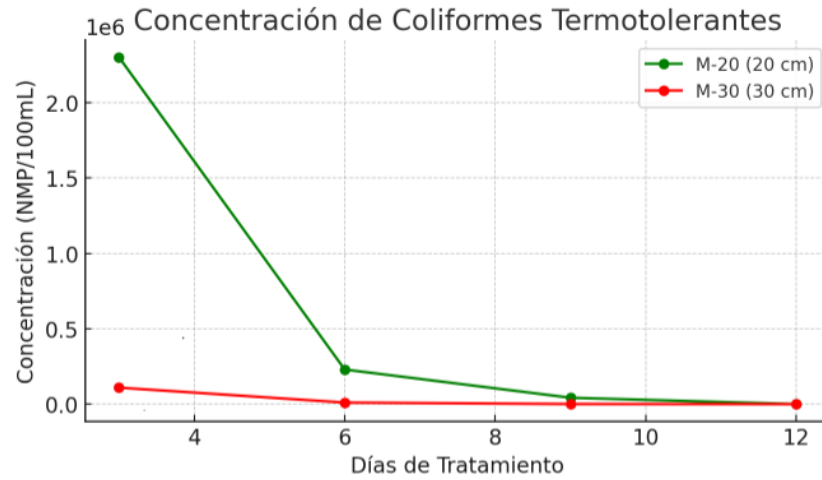
Resultados de la concentración de filamentos bacterianos durante el tratamiento



La disminución de los filamentos bacterianos puede estar relacionada con el efecto del cobre sobre las estructuras bacterianas, inhibiendo su capacidad para formar biofilmes y estructuras filamentosas. El cobre interfiere con las proteínas y enzimas bacterianas, lo que impide la formación de estos filamentos y reduce su proliferación en las aguas remanentes a lo largo del procesamiento.

Figura 17

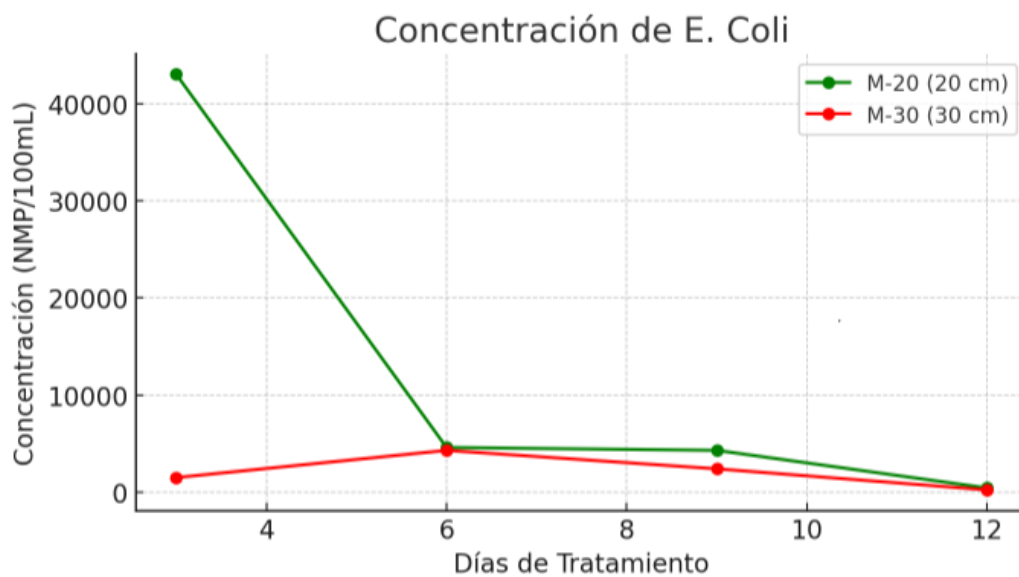
Resultados de la concentración de coliformes termotolerantes durante el tratamiento



La reducción de Col. termotolerantes en las aguas remanentes a lo largo del procesamiento con cobre sugiere que el cobre tiene un efecto desinfectante, eliminando los microorganismos indicativos de polución fecal. Este descenso es más notable en los primeros días de procesamiento, lo que indica que el cobre actúa rápidamente para someter los niveles de polución fecal en las aguas remanentes.

Figura 18

Resultados de la concentración de Escherichia coli durante el tratamiento





La disminución de *Escherichia coli* se debe a las propiedades antibacterianas del cobre, que afectan especialmente a bacterias patógenas como *E. coli*. Este parámetro muestra una reducción significativa a lo largo del tiempo, lo que indica que el cobre no solo afecta a las bacterias en general, sino que posee un impacto directo sobre los patógenos fecales, mejorando la condición microbiológica del agua tratada.

Objetivo específico 3: Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad microbiológica del agua en función de la concentración de cobre y su impacto

Para cumplir con este objetivo, se evaluaron las derivaciones conseguidas del procesamiento con cobre, comparando las concentraciones de parámetros microbiológicos con los límites determinados en las normativas de condición del H₂O. El monitoreo, realizado en cuatro intervalos (3, 6, 9 y 12 días), permitió determinar el impacto del cobre en la condición microbiológica del agua procesada.

Tabla 13

Concentración de bacterias

Día	M-20 (20 cm de cobre)	M-30 (30 cm de cobre)
Día 3	10 ⁷ org/L	10 ⁵ org/L
Día 6	10 ⁵ org/L	10 ⁴ org/L
Día 9	10 ⁴ org/L	10 ³ org/L
Día 12	<100 org/L	<100 org/L

La concentración de bacterias disminuye de manera significativa durante el procesamiento con cobre. A los 12 días, se observa una reducción sustancial en ambos procesamientos, con valores de <100 org/L en ambos M-20 y M-30, lo que

indica que el cobre ha tenido un impacto considerable en la reducción de la carga bacteriana en las aguas remanentes. A pesar de la notable disminución, los valores aún no desempeñan con los LMP determinados, lo que sugiere que el procesamiento con cobre tiene un efecto positivo, pero podría no ser suficiente para desempeñar completamente con las normas de condición microbiológica.

Tabla 14*Concentración de hongos*

Día	M-20 (20 cm de cobre)	M-30 (30 cm de cobre)
Día 3	10 ⁵ org/L	10 ⁴ org/L
Día 6	10 ⁴ org/L	10 ³ org/L
Día 9	10 ³ org/L	10 ³ org/L
Día 12	<100 org/L	<100 org/L

La concentración de hongos mostró una disminución continua en ambos procesamientos de cobre (20 cm y 30 cm), alcanzando <100 org/L en el día 12. Aunque esta reducción es significativa, no cumple con los estándares microbiológicos que exigen la ausencia de hongos en las aguas tratadas. El cobre, aunque efectivo para reducir la carga fúngica, no parece ser completamente suficiente para eliminarla en su totalidad, lo que sugiere que podrían ser necesarios procesamientos adicionales o combinados

Tabla 15*Concentración de Filamentos Bacterianos*

Día	M-20 (20 cm de cobre)	M-30 (30 cm de cobre)
Día 3	10 ⁷ org/L	10 ⁶ org/L
Día 6	10 ⁶ org/L	10 ⁵ org/L



Día 9	10 ⁵ org/L	10 ⁴ org/L
Día 12	<100 org/L	<100 org/L

Los filamentos bacterianos muestran una reducción notable a lo largo del procesamiento, con una concentración de <100 org/L en ambos procesamientos al día 12. Esto indica que el cobre está afectando la proliferación de estructuras filamentosas bacterianas, las cuales son cruciales en la formación de biofilmes y procesos de degradación de materia orgánica. Sin embargo, la reducción no alcanza los LMP, lo que indica que el cobre ha tenido un efecto positivo, pero no definitivo sobre estos microorganismos.

Tabla 16

Concentración de Coliformes Termotolerantes

Día	M-20 (20 cm de cobre)	M-30 (30 cm de cobre)
Día 3	2.3 * 10 ⁶ NMP/100 mL	1.1 * 10 ⁵ NMP/100 mL
Día 6	2.3 * 10 ⁵ NMP/100 mL	1.1 * 10 ⁴ NMP/100 mL
Día 9	4.3 * 10 ⁴ NMP/100 mL	1.5 * 10 ³ NMP/100 mL
Día 12	930 NMP/100 mL	900 NMP/100 mL

La concentración de coliformes termotolerantes muestra una reducción significativa a lo largo del procesamiento con cobre, alcanzando 900 NMP/100 mL en M-30 al día 12 y 930 NMP/100 mL en M-20. Estos valores están por abajo del límite permitido de 10,000 NMP/100 mL, lo cual muestra que el procesamiento con cobre fue efectivo en reducir la carga de estos microorganismos indicativos de contaminación fecal, cumpliendo con los LMP establecidos. Esto sugiere que el cobre puede ser eficaz para procesar la contaminación fecal en aguas remanentes

Tabla 17*Concentración de Escherichia coli*

Día	M-20 (20 cm de cobre)	M-30 (30 cm de cobre)
Día 3	$4.3 * 10^4$ NMP/100 mL	$1.5 * 10^3$ NMP/100 mL
Día 6	$4.6 * 10^3$ NMP/100 mL	$4.3 * 10^3$ NMP/100 mL
Día 9	$4.3 * 10^3$ NMP/100 mL	$2.4 * 10^3$ NMP/100 mL
Día 12	43 NMP/100 mL	23 NMP/100 mL

La concentración de *Escherichia coli* mostró una reducción considerable durante el procesamiento con cobre, alcanzando 23 NMP/100 mL en M-30 al día 12 y 43 NMP/100 mL en M-20. Estos valores están por abajo del límite permitido de 100 NMP/100 mL para aguas tratadas. Esto indica que el cobre tiene un efecto sobre la disminución de *E. coli*, pero no redujo a 0 la presencia de la *E. coli* después del tratamiento.

Resumen del Desempeño de los LMP y Normas de Condición según normas nacionales e internacionales

Tabla 18*Comparación de Resultados con los LMP y Normas Internacionales*

Parámetro	Unidad	LMP Peru	Norma internacional OMS	M – 20	M – 30	Cumple
Coliformes termotol.	NMP/100mL	10000	No detectable en 100 mL	930	900	Si
E coli	NMP/100mL	100	No detectable en 100 mL	43	23	Si
Bacterias	Org/L	No especifica	No especifica	<100	<100	Si
Hongos	Org/L	No especifica	No especifica	<100	<100	Si



Filamentos bacterianos	Org/L	No específica	No especifica	<100	<100	Si
------------------------	-------	---------------	---------------	------	------	----

- Coliformes termotolerantes: Los resultados obtenidos (930 y 900 NMP/100 mL para M-20 y M-30, respectivamente) están por abajo del límite de 10,000 NMP/100 mL, cumpliendo con el LMP Nacional de Perú y con la norma internacional.
- Escherichia coli: Los resultados obtenidos (43 y 23 NMP/100 mL para M-20 y M-30, respectivamente) están por abajo del límite de LMP Nacional (100 NMP/100 mL) cumpliendo con el LMP Nacional de Perú, sin embargo, la ausencia de este parámetro es lo ideal, lo que indica que se requiere un procesamiento adicional para eliminar la presencia de este patógeno.
- Bacterias, Hongos y Filamentos Bacterianos: En los tres parámetros, los valores obtenidos son inferiores a 100 org/L, lo que cumple con los LMP implícitos en las normativas nacionales e internacionales, dado que se espera una reducción significativa en la carga microbiológica.



Análisis estadístico

Modelo de regresión lineal simple

Tabla 19

Coefficientes de Regresión para Variables Microbiológicas en Función del Tiempo de Exposición al Cobre (Varillas de 20 cm y 30 cm)

Modelo		Coefficientes no estandarizados	Coefficientes estandarizados	Sig.
		B	Beta	
Variable dependiente: Bacterias org/L	(Constante)	64019980,0		0,047
	Días (varilla de cobre de 20cm)	-6999660,0	-0,758	0,038
Variable dependiente: Hongos org/L	(Constante)	60041980,0		0,045
	Días (varilla de cobre de 30cm)	-6669960,0	-0,708	0,045
Variable dependiente: Filamentos bacterianos org/	(Constante)	4799980,0		0,044
	Días (varilla de cobre de 20cm)	-396660,0	-0,441	0,044
Variable dependiente: Filamentos bacterianos org/	(Constante)	604180,0		0,027
	Días (varilla de cobre de 30cm)	-66960,0	-0,712	0,020
Variable dependiente: Filamentos bacterianos org/	(Constante)	60018111,4		0,024
	Días (varilla de cobre de 20cm)	-6667953,8	-0,707	0,028
Variable dependiente: Filamentos bacterianos org/	(Constante)	60419980,0		0,032
	Días (varilla de cobre de 30cm)	-6699660,0	-0,713	0,037

La 19 manifiesta, el Análisis de Bacterias, donde los coeficientes para las bacterias muestran una reducción sustancial con ambas longitudes de varilla. Con la varilla de 20 cm, el coeficiente no estandarizado (B) es de -6,999,660, lo que significa que por cada día adicional de exposición, la concentración de bacterias disminuye en aproximadamente 6999660,0 org/L. El coeficiente estandarizado (Beta) de -0.758 indica que esta variable tiene un efecto fuerte y negativo sobre la



población bacteriana. La significancia de 0.038 confirma que este resultado es estadísticamente confiable, ya que está por debajo del umbral de 0.05.

Para la varilla de 30 cm, el coeficiente B es de -6,669,960, ligeramente menor que la de 20 cm, pero aún representa una reducción considerable. El Beta de -0.708 sugiere un efecto robusto, aunque marginalmente inferior al de la varilla más corta. La significancia de 0.045 mantiene la validez estadística del hallazgo.

Análisis de Hongos (org/L), El comportamiento de los hongos presenta características particulares que difieren del patrón bacteriano. Con la varilla de 20 cm, el coeficiente B es de -396,660, considerablemente menor en magnitud absoluta comparado con las bacterias, pero el Beta de -0.441 indica un efecto moderado en la reducción de hongos. La significancia de 0.044 respalda la validez estadística de este resultado.

Interesantemente, la varilla de 30 cm muestra un comportamiento diferente para los hongos. Aunque el coeficiente B es menor (-66,960), el Beta estandarizado alcanza -0.712, sugiriendo que la varilla más larga es más efectiva para reducir hongos específicamente. La significancia de 0.020 refuerza esta conclusión con mayor confianza estadística.

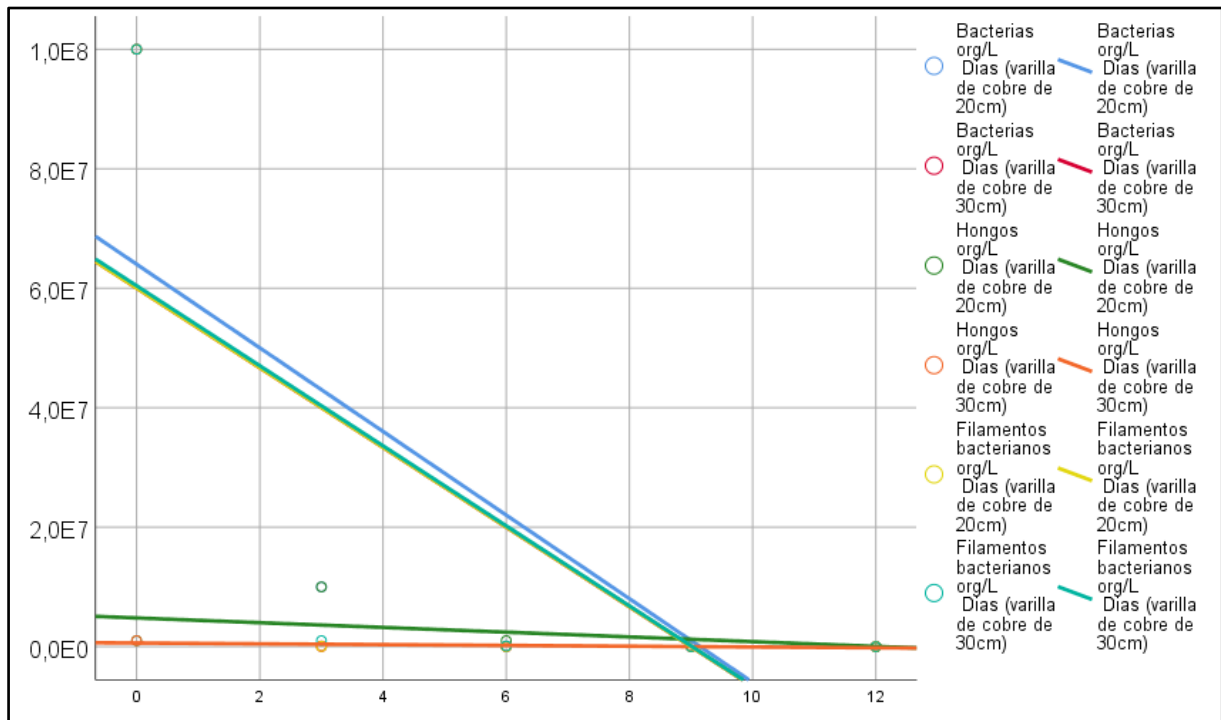
Análisis de Filamentos Bacterianos (org/L). Los filamentos bacterianos exhiben un patrón de reducción muy similar al de las bacterias generales. Con la varilla de 20 cm, el coeficiente B es de -6,667,953.8, prácticamente idéntico al observado en bacterias, con un Beta de -0.707. La significancia de 0.028 confirma la robustez estadística del resultado.

La varilla de 30 cm presenta un coeficiente B de -6,699,660 y un Beta de -0.713, valores muy similares a los de la varilla de 20 cm. La significancia de 0.037 mantiene la validez estadística, sugiriendo que ambas longitudes son igualmente

efectivas para reducir filamentos bacterianos.

Figura 19

Comparación de la Reducción de Bacterias, Hongos y Filamentos Bacterianos con Distintas Longitudes de Varillas de Cobre



La figura 19, muestra la evolución de bacterias, hongos y filamentos bacterianos en agua tratada con varillas de cobre de 20 cm y 30 cm durante 12 días. Se observa que, para bacterias y filamentos bacterianos, ambas longitudes de varilla son igual de efectivas: las concentraciones iniciales disminuyen rápidamente y llegan casi a cero alrededor del día 10, sin diferencias notables entre los tratamientos. En el caso de los hongos, la varilla de 30 cm logra una reducción ligeramente mayor y más estable a lo largo del tiempo que la de 20 cm

Tabla 20

Coefficientes de Regresión para Variables Microbiológicas en Función del Tratamiento con Cobre (Varillas de 20 cm y 30 cm)

Modelo		Coeficientes no estandarizados	Coeficientes estandarizados	Sig.
		B	Beta	
Variable dependiente: Coliformes termotolerantes NMP/100 mL	(Constante)	15365814,0		0,047
	Días (varilla de cobre de 20cm)	-1675838,0	-0,758	0,014
	(Constante)	14446020,0		0,032
	Días (varilla de cobre de 30cm)	-1603556,7	-0,710	0,048
Variable dependiente: E Coli NMP/100 mL	(Constante)	84111,4		0,025
	Días (varilla de cobre de 20cm)	-8620,5	-0,875	0,042
	(Constante)	67455,4		0,031
	Días (varilla de cobre de 30cm)	-7301,8	-0,717	0,037

La tabla 20, evidencia el Análisis de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL). Los coliformes termotolerantes muestran una reducción significativa con ambas configuraciones de varillas de cobre. Con la varilla de 20 cm, el coeficiente no estandarizado (B) de -1675838,0 indica que por cada día adicional de exposición al cobre, la concentración de coliformes termotolerantes disminuye en aproximadamente 1675838,0 NMP/100 mL. El coeficiente estandarizado (Beta) de -0.758 revela un efecto fuerte y negativo, sugiriendo que el tiempo de exposición al cobre es un predictor poderoso de la reducción de estos microorganismos. La significancia de 0.014 proporciona alta confianza estadística, estando muy por debajo del umbral de 0.05.

Para la varilla de 30 cm, el coeficiente B es de -11603556,7, ligeramente menor que la varilla de 20 cm, pero aún representa una reducción considerable. El



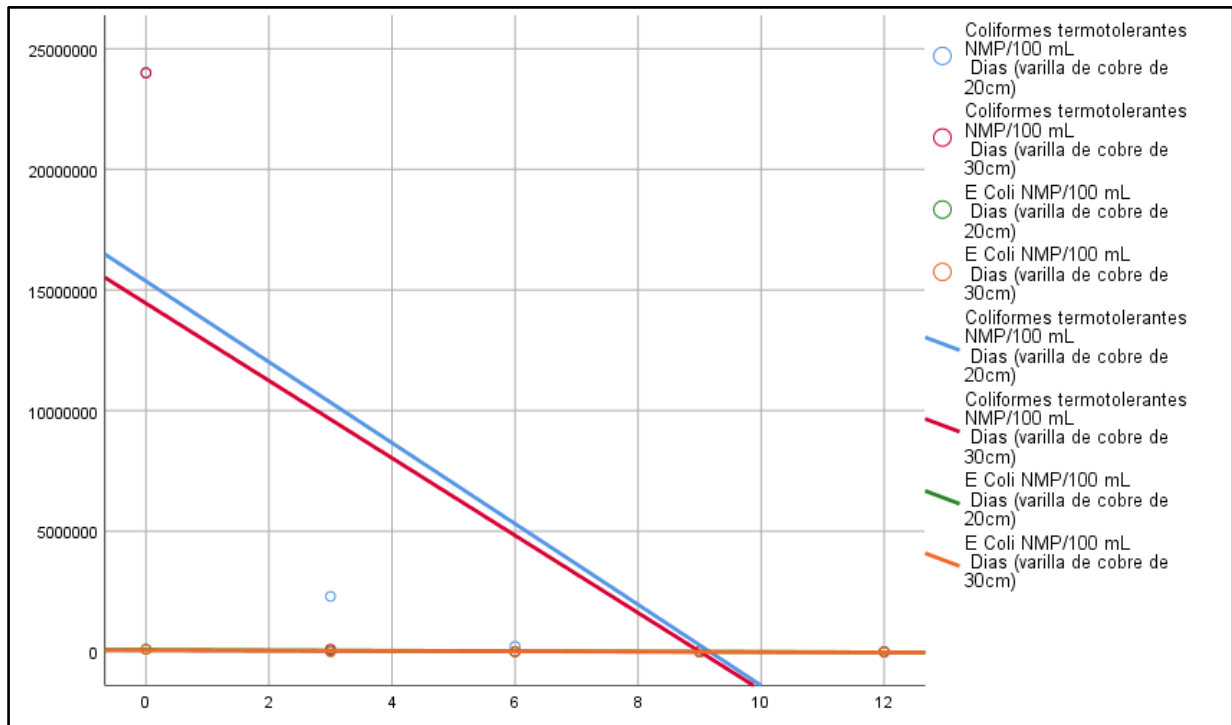
Beta de -0.710 mantiene un efecto robusto, aunque marginalmente inferior. La significancia de 0.048 se encuentra en el límite del umbral estadístico convencional, pero aún dentro del rango aceptable para considerar el resultado como estadísticamente significativo.

Análisis de E. coli (NMP/100 mL). E. coli presenta el comportamiento más interesante en términos de respuesta al tratamiento con cobre. Con la varilla de 20 cm, el coeficiente B de -8620,5 indica una reducción diaria de aproximadamente 8620,5 NMP/100 mL. Sin embargo, el aspecto más notable es el coeficiente estandarizado (Beta) de -0.875, que representa el efecto más fuerte observado en todo el análisis. Este valor sugiere que E. coli es particularmente susceptible al efecto antimicrobiano del cobre, especialmente con la configuración de varilla de 20 cm. La significancia de 0.042 confirma la robustez estadística de este hallazgo.

La varilla de 30 cm muestra un coeficiente B de -7301,8 menor que la de 20 cm, con un Beta de -0.717. Aunque sigue siendo un efecto considerable, es notablemente inferior al observado con la varilla más corta. La significancia de 0.037 mantiene la validez estadística del resultado, sugiriendo que para E. coli específicamente, la varilla de 20 cm podría ser más efectiva que la de 30 cm.

Figura 20

Efectividad de Varillas de Cobre de Diferentes Longitudes en la Eliminación de Coliformes Termotolerantes y E. coli en Agua



La figura 20, manifiesta que, la varilla de cobre de 30 cm demuestra ser superior a la de 20 cm en la eliminación de coliformes termotolerantes, evidenciado por la línea roja que muestra una pendiente de descenso más pronunciada y una reducción inicial más rápida en comparación con la línea azul. Aunque ambos tratamientos logran eliminar prácticamente por completo tanto los coliformes termotolerantes como E. coli al final del período de estudio, la varilla de 30 cm alcanza estos niveles de desinfección de manera más rápida y consistente, lo que la convierte en la opción más efectiva para aplicaciones donde se requiere una desinfección acelerada del agua



4.2. Discusiones

Las derivaciones conseguidas en la primera etapa de monitoreo muestran una alta carga microbiológica en las aguas remanentes de la región de Puno, con una concentración de coliformes termotolerantes de $2.4 * 10^7$ NMP/100 mL y *Escherichia coli* de $1.1 * 10^5$ NMP/100 mL. Estos valores coinciden con los encontrados en otros estudios previos, como el de Aguirre et al. (2019), quienes reportaron altos niveles de polución fecal en las aguas remanentes de varias regiones rurales de Perú. Y HUACOTO (2022), concluyeron que la condición del agua remanente en la laguna de estabilización El Espinar no desempeña con las normativas para efluentes de PTAR, presentando un 42.87% de indicadores fuera de los LMP. La presencia de estos patógenos, junto con bacterias y hongos, compone un peligro significativo para la salubridad pública, subrayando la necesidad de implementar procesamientos adecuados, como la usanza de metales sólidos.

En relación con el segundo objetivo, el procesamiento con cobre resultó en una disminución significativa de la carga microbiológica. A los 12 días, la concentración de coliformes termotolerantes se redujo a 900 NMP/100 mL en M-30 y 930 NMP/100 mL en M-20, valores que cumplen con los LMP determinados por las normativas peruanas para H₂O remanente. Sin embargo, la reducción de *Escherichia coli*, con valores de 43 NMP/100 mL en M-20 y 23 NMP/100 mL en M-30, alcanzó a cumplir con el límite de 100 NMP/100 mL recomendado por la OMS para aguas dulces. Estos resultados son consistentes con análisis previos como el de Hernández et al. (2020), quienes hallaron que el cobre posee un impacto positivo en la disminución de patógenos, aunque no logra cumplir con los estándares internacionales para *E. coli*.



Finalmente, las derivaciones de este análisis muestran que, aunque el cobre es efectivo en la reducción de Col. termotolerantes, bacterias y hongos, *Escherichia coli* cumplió con los LMP nacionales en el procesamiento de aguas remanentes, mas no en los LMP internacionales. Esto concuerda con los hallazgos de Jiménez et al. (2018), que sugieren que el cobre, aunque útil, no es bastante para excluir totalmente todos los patógenos en aguas remanentes, especialmente cuando se trata de organismos resistentes como *E. coli*. Este fenómeno podría deberse a la resistencia inherente de *E. coli* al cobre o a la necesidad de concentraciones más altas de cobre para lograr su completa eliminación.



CONCLUSIONES

Primera: Los resultados iniciales del análisis microbiológico de las aguas remanentes de Puno muestran una elevada reunión de microorganismos patógenos, con valores de coliformes termotolerantes de $2.4 * 10^7$ NMP/100 mL y *Escherichia coli* de $1.1 * 10^5$ NMP/100 mL, lo que indica una significativa polución fecal en el H₂O. Además, la concentración de bacterias alcanzó 10^9 org/L, los hongos llegaron a 10^6 org/L y los filamentos bacterianos fueron de 10^8 org/L. Estas derivaciones demuestran la necesidad urgente de un procesamiento apropiado para disminuir la carga microbiológica en las aguas remanentes y prevenir riesgos para la salud pública.

Segunda: El procesamiento con cobre expuso una disminución significativa en la reunión de todos los parámetros microbiológicos evaluados durante el monitoreo a los 3, 6, 9 y 12 días. A los 12 días, la concentración de bacterias y hongos disminuyó a valores de <100 org/L, mientras que los filamentos bacterianos también se redujeron a <100 org/L en ambos procesamientos. Los coliformes termotolerantes se redujeron a 900 NMP/100 mL en M-30 y 930 NMP/100 mL en M-20, mientras que la concentración de *Escherichia coli* alcanzó 23 NMP/100 mL en M-30 y 43 NMP/100 mL en M-20. Estos resultados indican que el cobre tiene un efecto antimicrobiano notable, reduciendo la carga microbiológica a lo largo del tiempo, aunque no fue suficiente para cumplir completamente con los estándares internacionales para *Escherichia coli*.

Tercera: A los 12 días de procesamiento con cobre, las derivaciones exponen que el procesamiento fue seguro en la reducción de los indicadores microbiológicos, cumpliendo con los LMP establecidos para bacterias, hongos, filamentos bacterianos y Col. termotolerantes. La reunión de Col. termotolerantes se redujo a



900 NMP/100 mL en M-30 y 930 NMP/100 mL en M-20, por abajo del límite de 10,000 NMP/100 mL, cumpliendo así con los estándares nacionales. La reducción de *Escherichia coli* cumplió con los LMP de 100 NMP/100 mL, alcanzando 23 NMP/100 mL en M-30 y 43 NMP/100 mL en M-20. Pero no llega a cumplir con los LMP internacionales para agua dulce. Esto sugiere que, aunque el cobre fue eficaz en la reducción de la mayoría de los parámetros microbiológicos, es necesario complementar el procesamiento con otras tecnologías para alcanzar los estándares de calidad microbiológica para *Escherichia coli* en aguas remanentes.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda en futuros estudios, Incluir el estudio de otros indicadores de condición del agua (como DBO y nutrientes) para conseguir un enfoque más completa del procesamiento.
- A futuros investigadores se recomienda realizar estudios piloto a gran escala para evaluar la viabilidad del uso de cobre en centros de procesamiento de aguas residuales.
- Se recomienda a futuros investigadores realizar estudios a largo plazo y en condiciones reales para observar la eficacia sostenida del cobre en el procesamiento de aguas remanentes.
- Se recomienda Investigar si los microorganismos, como *Escherichia coli*, desarrollan resistencia al cobre con procesamientos continuos.
- Se recomienda a futuros investigadores, evaluar los efectos del cobre en el ecosistema acuático, considerando posibles impactos negativos en la biodiversidad.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA, A. G. (2005). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales AHPA - AWWA - WPCF* (17.^a ed.). Dias de Santos.
- AQUA, P. (2023). *Eliminación de Coliformes del Agua*. Pure Aqua Inc. <https://es.pureaqua.com/eliminacion-de-coliformes-del-agua/>
- Araujo, M. K. G., Krugg, J. H. W., & Valles, M. N. V. (2023). Calidad bacteriológica de las aguas subterráneas de consumo humano en el centro poblado de Virú, distrito Virú, Perú, 2018. *REBIOL*, 43(1), Article 1.
- Cahuana, R. A., & Benito Crisostomo, H. (2017). *Grado de polución bacteriológica en agua potable del sector Sequia Alta, Santa Bárbara, Huancavelica – 2017*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1383>
- Cervantes, H. I., Álvarez, J. A., Muñoz, J. M., Arreguín, V., Mosqueda, J. L., & Macías, A. E. (2013). Antimicrobial effect of copper on organisms in aqueous environments: An argument for the use of copper pipes in hospitals? *American Journal of Infection Control*, 41(12), e115-e118. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2013.03.309>
- Cirujeda, J. R. (2019). *Aguas residuales urbanas*. Editorial Elearning, S.L.
- Esquivel, R. B., & Solano, L. F. R. (2005). El agua: Sus propiedades y su importancia biológica. *Acta Académica*, 37(Noviembre), Article Noviembre.
- Feng, C., Hu, A., Chen, S., & Yu, C.-P. (2013). A decentralized wastewater treatment system using microbial fuel cell techniques and its response to a copper shock load. *Bioresource Technology*, 143, 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.038>



- Gamarra, M., Perales, M., & Cruz, P. (2019). *Evaluación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales que ingresan a la PTAR de San Luis.*
- Grass, G., Rensing, C., & Solioz, M. (2011). Metallic copper surface with antimicrobial properties. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5), 1541-1547. <https://doi.org/10.1128/AEM.02766-10>
- Hoz, J. J. G. de la, & Fortes, A. P. (2008). Calidad microbiológica de las aguas de baño del embalse Conde de Guadalhorce, de Málaga (España), 2000-2005. *Revista de Salud Ambiental*, 8(1), Article 1.
- HUACOTO, C. H. Z. T. (2022). *Calidad de agua residual en la laguna de estabilización espinar – Puno 2021* [Tesis de pregrado]. Universidad Privada San Carlos.
- Huerta, M., & Axel, A. (2014). *Síntesis, caracterización y evaluación de la actividad microbici da de nanomateriales de cobre.*
<http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/427>
- León, G., Banihani, Q., Field, J. A., & Sierra-Alvarez, R. (2011). Toxicity of copper(II) ions to microorganisms in biological wastewater treatment systems. *Science of The Total Environment*, 412-413, 380-385.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.072>
- Meoño, F. L., Taranco, C. G., & Olivares, Y. M. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), Article 2.
- Michels, H., Moran, W., & Michel, J. (2008). Antimicrobial action of copper surfaces, with an emphasis on nosocomial infections. *International Journal of Metalcasting*, 2(3), 47-56. <https://doi.org/10.1007/BF03355432>



- MINAM, M. del A. (2022). *Límite Máximo Permissible (LMP)*.
<https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permissible-imp/>
- Mitra, D., Kang, E.-T., & Neoh, K. G. (2020). Antimicrobial Copper-Based Materials and Coatings: Potential Multifaceted Biomedical Applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(19), 21159-21182.
<https://doi.org/10.1021/acsami.9b17815>
- Narváez, S., Gómez, M., & Acosta, J. (2008). Coliformes termotolerantes en aguas de las poblaciones costeras y palafíticas de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 111-120.
- Neciosup, E., Vergara, M., Pairazamán, O., Apablaza, M., & Esparza, M. (2015). Cobre antimicrobiano contra patógenos intrahospitalarios en Perú. *Anales de la Facultad de Medicina*, 76(1), 9-14.
<https://doi.org/10.15381/anales.v76i1.11069>
- Perez, M. A. C., Alarcón, D. M. C., Lozada, M. M. C., Florindes, M. J. A. M., & Rodríguez, M. V. H. P. (2021). La gestión ambiental en las instalaciones de tratamiento de efluentes domésticos e industriales en el territorio peruano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), Article 6.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1310
- Piñón, A. B., Maurrasse, F. J.-M. R., Zavala Díaz-de la Serna, F. J., López-Doncel, R. A., Ángeles-Trigueros, S. A., Hernández-Ávila, J., & Juárez Arriaga, E. (2014). <https://shre.ink/qWsw>
- Rodríguez, A., Grádiz, M., & Fletes, Y. (2023). Caracterización Física, Química y Microbiológica de Aguas Residuales de la Ciudad Universitaria, UNAH, Honduras. *Bionatura*, 8(2), 1-7. <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.02.36>



- Solís, H. A. R., Rodríguez, O. A. H., & Rosales, A. F. M. (2023). *Cianobacterias en aguas termales como opción para el desarrollo sostenible del campo chihuahuense*
- Soria, P. L. D. (2021). Efecto bactericida de nanopartículas de hierro, cobre, zinc y plata en el tratamiento y desinfección de aguas residuales. *Revista Naturaleza y Tecnología, Número 1, Enero-Abril 2021*.
<http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/6429>
- SOUZA, M. L. D. (2021). *Protozoos vistos bajo un microscopio. Imagen Foto de stock 2505403481*. Shutterstock. <https://shre.ink/qWs2>
- Vincent, M., Hartemann, P., & Engels-Deutsch, M. (2016). Antimicrobial applications of copper. *International Journal of Hygiene and Environmental Health, 219*(7, Part A), 585-591. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.06.003>
- Yu, J., Huang, X., Ren, F., Cao, H., Yuan, M., Ye, T., & Xu, F. (2024). Application of antimicrobial properties of copper. *Applied Organometallic Chemistry, 38*(7), e7506. <https://doi.org/10.1002/aoc.7506>
- Zolarte, A. C. F. (2022). *Alternativa de depuración de aguas residuales de procesos de cabuya en las veredas mencionadas, La Laguna y Huacas del municipio de Popayán* [Thesis, Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria].
<http://repositorio.uniautonomo.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/730>



ANEXOS



Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: EFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025

<u>PROBLEMA</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>HIPOTESIS</u>	<u>VA</u> <u>RIABLES</u>	<u>DIMEN</u> <u>SIONES</u>	<u>INDICA</u> <u>DORES</u>	<u>ME</u> <u>DICIÓN</u>
<p><u>GENERAL:</u> ¿Cuál es el efecto de diferentes concentraciones de cobre en los parámetros microbiológicos de las aguas residuales en la región de Puno durante el año 2025?</p>	<p><u>GENERAL:</u> Evaluar el efecto del cobre en los parámetros microbiológicos de las aguas residuales en la región de Puno durante el año 2025.</p>	<p><u>GENERAL:</u> La aplicación de cobre en el tratamiento de aguas residuales en la región de Puno durante el año 2025 afectará significativamente los parámetros microbiológicos de las aguas, alterando la concentración y la diversidad de microorganismos presentes en ellas.</p>				
<p><u>ESPECIFICO:</u> ¿Cuál es la concentración inicial de coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos, bacterias y filamentos bacterianos en las aguas residuales de la región de Puno antes de la aplicación del tratamiento con cobre?</p>	<p><u>ESPECIFICO:</u> Analizar la concentración inicial de coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos, bacterias y filamentos bacterianos de las aguas residuales de Puno antes de la aplicación del tratamiento con cobre</p>	<p><u>ESPECIFICO:</u> La concentración inicial de coliformes termotolerantes, Escherichia coli, hongos, bacterias y filamentos bacterianos en las aguas residuales de Puno será significativa antes de la aplicación del tratamiento con cobre, y dicha concentración disminuirá después del tratamiento.</p>	<p>VI: Tratamiento con varillas de cobre de 20 cm y 30 cm</p>	- Tipo de tratamiento	- Aplicación de cobre como tratamiento en aguas residuales	Presencia/ausencia del tratamiento
<p>¿Cómo influye la concentración de cobre en la diversidad y la cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de Puno?</p>	<p>Determinar los efectos del cobre en la diversidad y cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de la región.</p>	<p>El cobre tendrá un efecto inhibitor sobre la diversidad y cantidad de microorganismos presentes en las aguas residuales de la región de Puno, reduciendo significativamente la población microbiana en comparación con las aguas no tratadas</p>				
<p>¿En qué medida el tratamiento con cobre en las aguas residuales de la región de Puno cumple con los estándares de calidad microbiológica establecidos para la protección de la salud pública?</p>	<p>Analizar el cumplimiento de los estándares de calidad microbiológica del agua en función de la concentración de cobre y su impacto</p>	<p>El tratamiento con cobre en las aguas residuales de Puno mejorará los parámetros microbiológicos, cumpliendo con los estándares de calidad microbiológica del agua establecidos, en función de la concentración de cobre aplicada.</p>	<p>VD: Concentración de parámetros microbiológicos</p>	- Indicadores microbiológicos	- Número de organismos por litro de agua. - Tipos de organismos presentes.	- NMP/100mL - organismos/L



Anexo 2: Resultados



LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ - 11225A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE : JOSE ROBERT QUISPE PAYE

PROYECTO : EFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 02
Fecha de análisis : 19/05/2025
Muestreado por : El cliente

Código, ubicación, fecha de muestreo:

Código	Dist. /Prov./Depart.	Ubicación	Fecha y hora de muestreo
M1 - I	Puno/Puno/Puno	E: 392590 N: 8246956	18/05/2025 8:30 a.m.
M2 - I	Puno/Puno/Puno	E: 392464 N: 8246977	18/05/2025 8:50 a.m.

RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M1 - I	M2 - I
Temperatura	°C	9.4	9.7
pH	-	7.5	7.7
Bacterias	Org/L	10 ⁹	10 ⁹
Hongos	Org/L	10 ⁶	10 ⁶
Filamentos bacterianos	Org/L	10 ⁸	10 ⁸
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2.4 * 10 ⁷	2.4 * 10 ⁷
E Coli	NMP/100mL	1.1 * 10 ⁵	9 * 10 ⁵

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
16 - 06 - 2025

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Karely Kelly Quispe Quispe
Ing. Karely Kelly Quispe Quispe
CIP 194084
GERENTE

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ - 11225B

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE : JOSE ROBERT QUISPE PAYE

PROYECTO : EFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 02
Fecha de análisis : 24/05/2025
Muestreado por : El cliente

Código, ubicación, fecha de muestreo:

Código	Dist. /Prov./Depart.	Fecha y hora de muestreo
M - 20	Juliaca/San Román/Puno	23/05/2025 10:00 a.m.
M - 30	Juliaca/San Román/Puno	23/05/2025 10:30 a.m.

RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M - 20	M - 30
Temperatura	°C	12.5	12.7
pH	-	7.4	7.2
Bacterias	Org/L	10 ⁷	10 ⁵
Hongos	Org/L	10 ⁵	10 ⁴
Filamentos bacterianos	Org/L	10 ⁷	10 ⁶
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2.3 * 10 ⁶	1.1 * 10 ⁵
E Coli	NMP/100mL	4.3 * 10 ⁴	1.5 * 10 ³

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
16 - 06 - 2025

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO EQUIPOS
Karek Kelly Quispe Quispe
Ing. Karek Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ - 11225C

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE : JOSE ROBERT QUISPE PAYE

PROYECTO : EFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 02
Fecha de análisis : 27/05/2025
Muestreado por : El cliente

Código, ubicación, fecha de muestreo:

Código	Dist. /Prov./Depart.	Fecha y hora de muestreo
M - 20	Juliaca/San Román/Puno	26/05/2025 09:00 a.m.
M - 30	Juliaca/San Román/Puno	26/05/2025 09:15 a.m.

RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M - 20	M - 30
Temperatura	°C	13.1	13.0
pH	-	7.2	7.0
Bacterias	Org/L	10 ⁵	10 ⁴
Hongos	Org/L	10 ⁴	10 ³
Filamentos bacterianos	Org/L	10 ⁶	10 ⁵
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1.1 * 10 ⁵	1.5 * 10 ⁴
E Coli	NMP/100mL	4600	4300

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
16 - 06 - 2025

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Karey Kelly Quispe Quispe
Ing. Karey Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920

**LAQUAMEQ E.I.R.L.**
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL**INFORME DE RESULTADOS N°: LO – 11225D****DATOS DEL SERVICIO**

SOLICITANTE : JOSE ROBERT QUISPE PAYE

PROYECTO : EFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025

DATOS DEL ENSAYOProducto : Agua residual
Numero de muestras : 02
Fecha de análisis : 30/05/2025
Muestreado por : El cliente

Código, ubicación, fecha de muestreo:

Código	Dist. /Prov./Depart.	Fecha y hora de muestreo
M – 20	Juliaca/San Román/Puno	29/05/2025 11:20 a.m.
M – 30	Juliaca/San Román/Puno	29/05/2025 11:40 a.m.

RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M – 20	M – 30
Temperatura	°C	14.2	14.0
pH	-	7.0	6.8
Bacterias	Org/L	10 ⁴	10 ³
Hongos	Org/L	10 ³	10 ³
Filamentos bacterianos	Org/L	10 ⁵	10 ⁴
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	4.3 * 10 ⁴	1.1 * 10 ³
E Coli	NMP/100mL	4300	2400

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
16 – 06 – 2025

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Ing. Karen Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 11225E

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE : JOSE ROBERT QUISPE PAYE

PROYECTO : EFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS RESIDUALES PUNO 2025

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual

Numero de muestras : 02

Fecha de análisis : 02/06/2025

Muestreado por : El cliente

Código, ubicación, fecha de muestreo:

Código	Dist. /Prov./Depart.	Fecha y hora de muestreo
M – 20	Juliaca/San Román/Puno	01/06/2025 10:00 a.m.
M – 30	Juliaca/San Román/Puno	01/06/2025 10:15 a.m.

RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M – 20	M – 30
Temperatura	°C	13.8	13.7
pH	-	6.6	6.5
Bacterias	Org/L	<100	<100
Hongos	Org/L	<100	<100
Filamentos bacterianos	Org/L	<100	<100
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	930	900
E Coli	NMP/100mL	43	23

OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió

Fecha de emisión
16 – 06 – 2025

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Karey Kelly Quispe Quispe
Ing. Karey Kelly Quispe Quispe
CIP. 194084
GERENTE

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



Anexo 3: Límites Máximos Permisibles (LMP)

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Anexo 4: Panel fotográfico

Toma de muestras



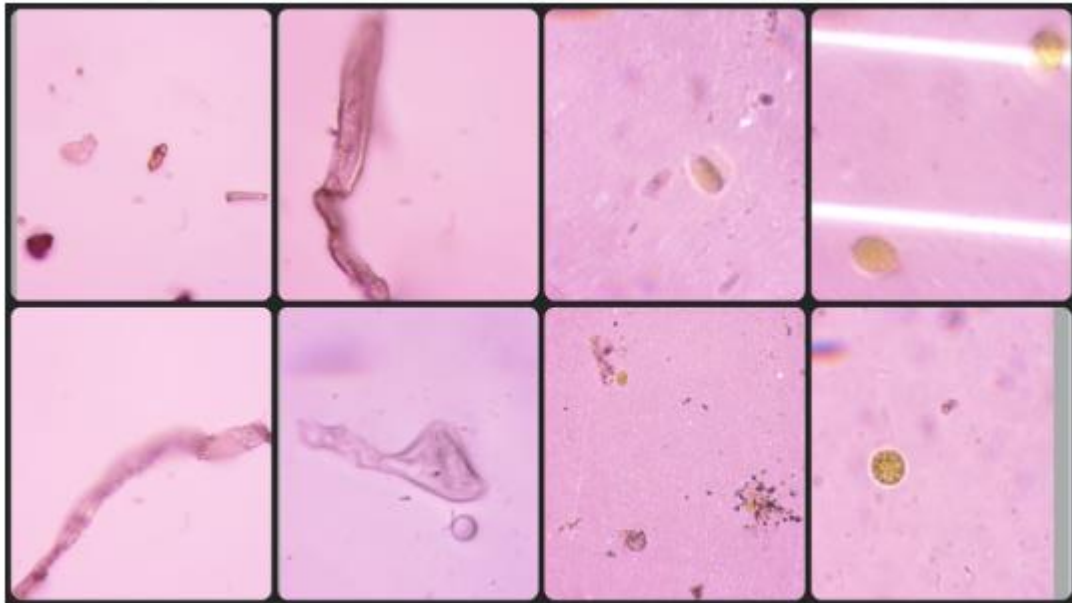


Análisis de muestras de agua





Vista microscópica





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 17/12/25

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JOSE ROBERT QUISPE PAYE

Dirección: JR.MIRAFLORES URB. PORTEÑO MZ. K3 LT. 01

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 77667569

Teléfono: 972342436 email: j.robert.qp@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EFFECTO DEL COBRE EN LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS
RESIDUALES PUNO 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): AGUAS RESIDUALES, BACTERIAS, COBRE, HONGO, PARÁMETROS
MICROBIOLÓGICOS

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo
 No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
- Nacional

Línea de investigación: SANEAMIENTO AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

17/12/25

Fecha