

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (Equisetum arvense L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 - 2025”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Sulca Ferrer, Inés Laleska

ASESOR: Bonifacio Munguia, Jonathan Oscar

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

D

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76256868

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 46378040

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0002-3013-8532

H

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cajahuanca Torres, Raul	Maestro en gestión pública	22511841	0000-0002-5671-1907
2	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
3	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000-2063-4076



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:00 horas del día 16 del mes de julio del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

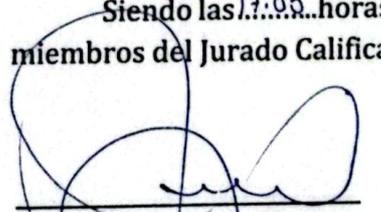
- Mg. Raul Cajahuanca Torres (Presidente)
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Secretario)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Vocal)

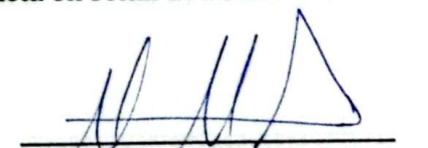
Nombrados mediante la **Resolución N° 1432-2025-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICIENCIA DE UN HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL USANDO COLA DE CABALLO (*Equisetum arvense* L.) PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS (COBRE Y ZINC) DEL RÍO HUERTAS, AMBO, HUÁNUCO 2024-2025"**, presentado por el (la) Bach. **SULLCA FERRER, INES LALESKA**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

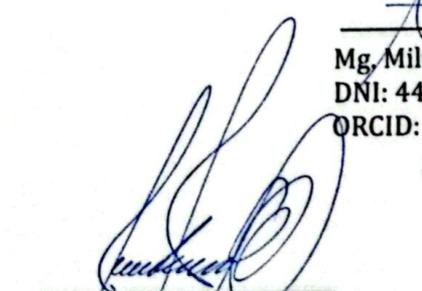
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas; procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO** Por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **1.5** y cualitativo de **BUENO** (Art. 47)

Siendo las **17:05** horas del día **16** del mes de **JULIO** del año **2025**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Raul Cajahuanca Torres
DNI: 22511841
ORCID: 0000-0002-5671-1907
Presidente


Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Secretario


Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520481
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: INÉS LALESKA SULLCA FERRER, de la investigación titulada "Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 - 2025", con asesor(a) JONATHAN OSCAR BONIFACIO MUNGUÍA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0057-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 23 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 17 de junio de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

95. Sullca Ferrer, Inés Laleska.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%	22%	7%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	idoc.pub Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho amor y cariño a mi madre Clotilde Ferrer Ubaldo, por ser importante en mi vida, por su gran amor sin reservas, respaldo continuo y por enseñarme que las cosas se logran siempre en cuando uno es perseverante.

A mi padre Rubén Sullca Cancho, por estar a mi lado durante todo este proceso, por ser mi guía, mi mayor fuerza y admiración. Y, por supuesto, a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso, por haberme acompañado en este largo proceso, por brindarme aprendizajes, experiencias, buena salud, por su infinita misericordia y por nunca soltar mi mano en los momentos de debilidad quien junto a las oraciones de mi madre Clotilde Ferrer Ubaldo pude lograr la finalización de este proyecto.

A mi tía, Edelvina Ferrer Ubaldo, quien siempre ha sido como una segunda madre para mí, por estar siempre conmigo, por su amor incondicional y respaldo constante.

Agradezco profundamente a mi asesor Mg. Jhonathan O. Bonifacio y jurados de tesis Mg. Frank E. Cámara, Mg. Milton Morales, MS.c. Jorge A. Romero, por sus guías, paciencia y dedicación durante este proceso. Sus consejos, conocimientos y respaldo han sido esenciales para finalizar este proyecto.

A mis amigos, Mittsy Aguirre y Edgar Lorenzo, por su constante motivación, ayuda y exigencia para la culminación de mi tesis, por ser mi fuente de ánimo en las situaciones más desafiantes. Su presencia y palabras de aliento me han dado fuerzas para seguir adelante.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	16
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.6.1. AMBIENTAL.....	18
1.6.2. OPERATIVA.....	18
1.6.3. TÉCNICA.....	18
1.6.4. ECONÓMICA.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.1. ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL.....	19
2.1.2. ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL.....	22
2.1.3. ANTECEDENTE A NIVEL LOCAL.....	24
2.2. BASES TEÓRICAS.....	25
2.2.1. METALES PESADOS EN AGUA.....	25

2.2.2. FUENTES DE LOS METALES PESADOS EN EL AGUA.....	28
2.2.3. HUMEDAL ARTIFICIAL	29
2.2.4. HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL.....	29
2.2.5. ESPECIES FITORREMIADORAS EN LOS HUMEDALES ...	30
2.2.6. COLA DE CABALLO.....	31
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	32
2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	33
2.5. SISTEMA DE VARIABLES	34
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	34
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	34
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	35
CAPÍTULO III.....	36
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	36
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
3.1.1. ENFOQUE	36
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	36
3.1.3. DISEÑO	36
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
3.1.4. POBLACIÓN	38
3.1.5. MUESTRA	38
3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.2.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.2.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	42
3.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	42
3.4. ÁMBITO GEOGRÁFICO TEMPORAL Y PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.4.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO	42
3.4.2. PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN	43
CAPÍTULO IV.....	44
RESULTADOS.....	44
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	44
4.1.1. RESULTADOS DEL AGUA DEL RÍO HUERTAS DEL PREANÁLISIS Y DESPUÉS DE LA FASE EXPERIMENTAL.....	44

4.1.2. RESULTADOS COMPARADOS CON EL ECA AGUA- CATEGORÍA 3 (D1) APROBADO POR EL D.S. N.º 004-2017-MINAM	53
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS.....	61
4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	62
CAPÍTULO V.....	65
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la cola de caballo	32
Tabla 2 Operacionalización de variables, de la investigación titulada: Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (Equisetum arvense L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 – 2025.....	35
Tabla 3 Matriz experimental.....	37
Tabla 4 Ubicación política del lugar donde se realizó la investigación.....	42
Tabla 5 Detalles de la variable THR, caudal y tiempo de adaptación de la especie cola de caballo en el humedal de flujo vertical	45
Tabla 5 Resultado del preanálisis del agua del río Huertas.....	46
Tabla 7 Resultado del análisis del agua después de la fase experimental ..	47
Tabla 8 Porcentaje de remoción después de la fase experimental.....	49
Tabla 9 Resumen del procesamiento de datos por tratamiento y parámetro	52
Tabla 10 Prueba de normalidad en las mediciones usando la prueba de Shapiro-Wilk.....	61
Tabla 11 Prueba de Kruskal - Wallis de los parámetros de estudio (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc)	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Humedal de flujo vertical.....	30
Figura 2 Diseño del humedal de flujo vertical	38
Figura 3 Procedimiento del experimento	39
Figura 4 Porcentaje de remoción después de la aplicación de los tratamientos	51
Figura 5 Resultados del DBO en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1).....	53
Figura 6 Resultados del pH en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1).....	54
Figura 7 Resultados del OD en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1).....	55
Figura 8 Resultados de la Conductividad (C.E.) en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1).....	56
Figura 9 Resultados de DQO en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1).....	57
Figura 10 Resultados de cobre en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1).....	58
Figura 11 Resultados de zinc en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1).....	59
Figura 12 Resultados de los parámetros de estudio de acuerdo al punto de muestreo.....	60

RESUMEN

El objetivo principal de estudio fue evaluar la eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) en la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas. La metodología aplicada fue de tipo experimental, de enfoque cuantitativo, de alcance explicativo y de diseño cuasi experimental. La población se consideró al agua procedentes del río Huertas, Ambo, del mes de setiembre del 2024, donde se muestreo 150 litros de agua para la fase experimental, se mandó una muestra al laboratorio para el pre análisis (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc). Los resultados después de la fase experimental (después de 15 días en los humedales de flujo vertical) para ello se realizó las actividades detalladas en el 3.3.2, 3.3.1; después se obtuvo muestras de agua del (TO-GC: Grupo control, Humedad artificial de flujo vertical) una muestra y del Tratamiento 1 (T1: Humedad artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo) 5 muestras que fueron enviadas a laboratorio para el análisis respectivo de los parámetros de estudio, siendo estos resultados contrastados con el ECA - Agua, para la categoría 3. Los resultados de significancia (SIG.) de la prueba no paramétrica (Prueba de Kruskal – Wallis) fueron (0.368, 0.368, 1.000, 1.000, 0368, 0.368, 0.368) para DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc, respectivamente siendo estos valores mayores a 0.05, por tanto, se refiere que la distribución de los valores entre categorías de tratamiento es la misma. Por otra parte, los resultados del % de reducción después de la fase experimental, para el TO-GC, fueron para: DBO: + 47.06 %; pH: -12.07 %; OD: 0.00 %; Conductividad: 0.00 %; DQO: 0.00 %; Cobre: -16.67 %; Zinc: -0.65 %. Así mismo para el T1 fueron para: DBO: + 47.06 %; pH: -12.07 %; OD: 0.00 %; Conductividad: 0.00 %; DQO: -38.00 %; Cobre: -73.33 %; Zinc: -78.90 %. Se concluye que el tratamiento 1 (T1) presenta mejores resultados, y que los resultados del preanálisis y después de la fase experimental no sobrepasan el ECA - Agua para la categoría 3 aprobada por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Palabras clave: Estándar de Calidad Ambiental – ECA, Cola de caballo, Humedal de flujo vertical, metales pesados, Agua, Parámetro.

ABSTRACT

The main objective of the study was to evaluate the efficiency of a vertical flow wetland using horsetail (*Equisetum arvense* L.) in the removal of heavy metals (copper and zinc) from the Huertas River. The methodology applied was experimental, with a quantitative approach, explanatory scope and quasi-experimental design. The population was considered water from the Huertas River, Ambo, in September 2024, where 150 liters of water were sampled for the experimental phase, and a sample was sent to the laboratory for pre-analysis (BOD, pH, DO, conductivity, COD, copper and zinc). The results after the experimental phase (after 15 days in the vertical flow wetlands) for this, the activities detailed in 3.3.2, 3.3.1 were carried out; then water samples were obtained from (TO-GC: Control group, Vertical flow artificial humidity) one sample and from Treatment 1 (T1: Vertical flow artificial humidity + horsetail species) 5 samples that were sent to the laboratory for the respective analysis of the study parameters, being these results contrasted with the RCT - Water, for category 3. The significance results (SIG.) of the non-parametric test (Kruskal - Wallis test) were (0.368, 0.368, 1.000, 1.000, 1.000, 0.368, 0.368, 0.368) for BOD, pH, DO, Conductivity, COD, Copper and Zinc, respectively being these values greater than 0.05, therefore, it refers that the distribution of values between treatment categories is the same. On the other hand, the results of the % reduction after the experimental phase, for the TO-GC, were for: BOD: + 47.06 %; pH: -12.07 %; DO: 0.00 %; Conductivity: 0.00 %; COD: 0.00 %; Copper: -16.67 %; Zinc: -0.65 %. Likewise for T1 were for: BOD: + 47.06 %; pH: -12.07 %; DO: 0.00 %; Conductivity: 0.00 %; COD: -38.00 %; Copper: -73.33 %; Zinc: -78.90 %. It is concluded that treatment 1 (T1) presents better results, and that the results of the pre-analysis and after the experimental phase do not exceed the ECA - Water for category 3 approved by D.S. N° 004-2017-MINAM.

Keywords: Environmental Quality Standard – ECA, Horsetail, Vertical Flow Wetland, Heavy Metals, Water, Parameter.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 - 2025. Abarcó las siguientes problemáticas:

La actividad antrópica genera contaminación de los cuerpos de agua, destruyendo con ellos el ecosistema existente, además las aguas residuales producto de las actividades humanas descargan metales pesados que van para a los cuerpos de agua contaminándolos y eliminando el ecosistema (flora y fauna) existente en estos cuerpos de agua (río, mares, lagos, quebradas, otros).

Desde el punto de vista de Alfayate et al. (2004) los metales pesados se consideran como uno de los contaminantes más amenazantes para el medio ambiente, ya que no se descomponen de manera natural y pueden acumularse en los seres vivos. Entre ellos, se distinguen por su toxicidad y la mayor concentración de mercurio, cadmio y plomo en su entorno.

Las principales fuentes generadas por el ser humano son las actividades de extracción, fundición y purificación, que consisten en extraer metales de sus minerales en las minas, para luego fundirlos y purificarlos, transformándolos en productos que, tras su uso, terminan en la basura. En el transcurso de estos procesos, se liberan metales al entorno. La descarga de aguas servidas de ciertas industrias del sector siderometalúrgico, así como el tratamiento de superficies, curtidos, etc., son ejemplos típicos de la contaminación causada por metales pesados (Mendoza, 2017).

Un análisis del Banco Mundial realizado en Perú en 2014 indicó que aproximadamente el 50% de los recursos hídricos en el país no alcanzan los criterios de calidad necesarios para el uso humano, la agricultura o la protección de los ecosistemas acuáticos (Cayetano, 2019).

Con base en los hallazgos de la supervisión y evaluación de la calidad del agua realizados en diciembre del año anterior por la Autoridad Nacional

del Agua (ANA), se ha observado que el río Huallaga, desde Ambo hasta Acomayo, presenta niveles elevados de metales pesados como plomo, zinc, aluminio, hierro, magnesio y partículas en suspensión. Antes de unirse al río Higuera, el río Huallaga muestra una alta cantidad de metales pesados. Está influenciada por la existencia de partículas sólidas en suspensión y metales, incluyendo plomo, zinc y cobre. La aparición de estos metales sólidos es el resultado de la erosión del suelo, provocada por las lluvias, y los metales están asociados a ellos, siendo ambos arrastrados por el agua (Belling, 2015).

Los humedales artificiales, son una tecnología implementada en todo el mundo para el tratamiento de las aguas residuales producidas en las pequeñas concentraciones urbanas. Son mecanismos de purificación que duplican los métodos de remoción de impurezas que ocurren en las zonas húmedas naturales (Salas, 2018).

Un humedal artificial de flujo vertical es un lecho filtrante que acoge plantas acuáticas. Las aguas residuales se vierten o dosifican desde un punto más alto en la superficie, utilizando un sistema mecánico de dosificación (Tilley et al, 2018).

En los humedales artificiales, las vegetaciones cumplen funciones vinculadas a los efectos físicos, la retención de microorganismos, la absorción, la regulación de microclimas, la pérdida de agua por evapotranspiración, el aislamiento térmico y la apariencia estética del sistema. La vegetación participa en la biodegradación, la filtración y la absorción de los elementos presentes en las aguas residuales (Pérez et al, 2022).

De igual manera, el río Huertas en Ambo, registra mayor concentración de metales pesados (Belling, 2015). Por esta razón, se propuso el uso de un humedal de flujo vertical, para sumar al conocimiento de los diversos tratamientos que se dan a las aguas, con la finalidad de enfrentar la problemática actual, contaminación de los ríos a nivel nacional.

La investigación presenta cinco capítulos (Capítulo I - Problema de investigación; Capítulo II - Marco teórico; Capítulo III - Metodología de la

investigación; Capítulo IV- Resultados; Capítulo V - Discusión de resultados;
Otros).

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los metales pesados representan uno de los componentes que influye de manera desfavorable al entorno con mayor peligrosidad, por su incapacidad para biodegradarse y su capacidad para acumularse en los seres vivos. Entre ellos, el mercurio, el cadmio y el plomo sobresalen por su peligrosidad y su notable abundancia en el entorno (Alfayate et al, 2004). Sin duda, esta cuestión abarca una amplia variedad de posibles orígenes de contaminación, lo que hace complicado intentar llegar a convenios y contratos entre los usuarios, ya que existen numerosas fuentes contaminantes que necesitan ser reguladas (Mendoza, 2017).

En casi todo el mundo el hecho de que los metales se encuentren en los diversos ecosistemas es preocupante, dado que numerosos organismos dependen del correcto balance en su entorno de alimentación o de refugio, la manera en que esos metales ingresan a los diferentes ecosistemas cambia según la clase de actividad que realiza el ser humano (Guerrero et al., 2020).

Los metales pesados existen de manera natural en el entorno, sin embargo, normalmente los minerales los mantienen en un estado seguro sin representar un peligro notable. La dificultad aparece debido a las acciones humanas, que liberan al entorno elevadas cantidades que pueden permanecer en circulación durante miles de años. Los sedimentos de estos metales suelen estar en una forma altamente tóxica que los animales pueden absorber con facilidad, y así se introducen en la cadena alimentaria de los seres humanos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reconocido 10 sustancias químicas que representan un grave riesgo para la salud de la población, de los cuales 4 metales pesados: cadmio, mercurio, plomo y arsénico (Marnane, 2018).

En América Latina, la degradación ambiental está vinculada a la utilización de recursos que no se regeneran. Esto ha ocasionado daños en el

suelo, el agua y el aire. Entre los contaminantes más destacados se hallan el mercurio y el plomo, empleados en la minería, un sector que se ha transformado en un desafío por la escasa supervisión. Se han incrementado las concentraciones de metales pesados tanto en la tierra como en el agua. Los niveles de estos metales son preocupantes en países como México y Ecuador ya que su presencia supera hasta 10 veces lo permitido (Neyra et al, 2021).

Un informe del Banco Mundial referente a Perú en el año 2014, indicó que cerca del 50 por ciento de las fuentes de agua en el país no satisface los requisitos de calidad necesarios para ser empleado en el consumo humano, la agricultura o la protección de los ecosistemas acuáticos. En el 2010, la OMS dio a conocer una lista de los diez contaminantes más preocupantes para la salud pública, destacando entre ellos al plomo, mercurio, cadmio y arsénico como los metales pesados más significativos. La minería es considerada la principal causa de contaminación por metales pesados, a excepción del arsénico, que proviene de un origen natural (Cayetano, 2019).

Según los resultados del seguimiento y análisis sobre la calidad del agua, realizados en diciembre del año anterior por la Autoridad Nacional del Agua, el río Huallaga, desde Ambo hasta Acomayo, presenta una mayor presencia de metales pesados, tales como plomo, zinc, aluminio, hierro, magnesio y sólidos en suspensión. Antes de unirse al río Higuera, el Huallaga muestra niveles más altos de metales pesados. Este río se ve impactado por la existencia de sólidos en suspensión y metales como plomo, zinc y cobre. La aparición de estas partículas se origina por la erosión del suelo, provocada por las precipitaciones, y los metales se hallan fijados a ellos; ambos elementos son arrastrados por el agua (Belling, 2015).

De igual manera, el río Huertas en el Distrito y Provincia de Ambo, registra una mayor concentración de metales pesados (Belling, 2015). Es por ello que en la presente investigación se propone el uso de un humedal de flujo vertical, para sumar al conocimiento de los diversos tratamientos que se dan a las aguas residuales. Todo esto con el propósito de cuidar las aguas del río Huertas en Ambo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) en la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el tiempo de adaptación de la especie cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) en el humedal de flujo vertical?
- ¿Cuál es la capacidad de remoción de cobre (Cu) y Zinc (Zn) en el río Huertas mediante un humedal de flujo vertical usando cola de caballo?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas (pH; CE; OD; DQO y DBO) del agua procedente del río Huertas antes y después de someterlo al humedal de flujo vertical usando cola de caballo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) en la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del Río Huertas, Ambo, Huánuco.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el tiempo de adaptación de la especie cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) en el humedal de flujo vertical.
- Evaluar la capacidad de remoción de cobre (Cu) y Zinc (Zn) del río Huertas mediante un humedal de flujo vertical usando cola de caballo.

- Evaluar las características fisicoquímicas (pH; CE; OD; DQO y DBO) de agua procedente del río Huertas antes y después de someterlo al humedal de flujo vertical usando cola de caballo.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el estudio de investigación se realizó el monitoreo del funcionamiento del sistema implementado en los humedales artificiales (TO-GC: Grupo control, humedal artificial con recirculación del agua de río huertas por 15 días) (T1: tratamiento 1, humedal artificial + plantas de cola de caballo con recirculación del agua de río huertas por 15 días) donde se monitoreo en todo el proceso el pH y Conductividad. Además, se realizó el análisis de los parámetros (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre, Zinc) antes y después de la fase experimental.

La investigación se presenta como un prototipo ecológico que pueden funcionar en pequeños centros poblados, con problemas en el agua, por presencia de metales pesados u otros elementos que podrían ser dañinos para la salud pública y el entorno ambiental.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- Los análisis de muestras de agua con metales pesados y caracterización son caros, es por ello que solo se analizaron 2 metales (cobre y zinc), con ello se podrá referenciar la presencia de otros metales que puedan afectar la calidad del agua del río Huertas.
- El alquiler de equipos para análisis in situ de los parámetros de campo (pH y Conductividad) fue de una institución externa alquilado que conlleva a gastos adicionales, por ello las muestras fueron tomadas y enviadas al laboratorio después de 15 días la misma que duro la fase experimental establecida para la investigación.
- No se cuenta con apoyo o participación de ninguna entidad pública ni privada, es por ello que la investigación fue autofinanciada, con el fin de dar cumplimiento a lo que se requirió.

- El elemento biológico fue con una sola especie cola de caballo (*Equisetum arvense L.*), la misma que fue monitoreada durante el experimento.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Para que la investigación sea viable, se toma en cuenta lo siguiente:

1.6.1. AMBIENTAL

Se priorizo el cuidado del agua con tecnologías limpias, por la que es una opción de solución a estos problemas de contaminación del agua por metales pesados.

1.6.2. OPERATIVA

Se presenta viable operativamente, dado que se contó con los recursos necesarios como; movilidad, personal de ayuda y materiales requeridos, la misma que conllevo a realizar y culminar la investigación planteada.

1.6.3. TÉCNICA

La investigación fue viable técnicamente ya que tuvo la guía de los docentes de nuestra universidad conocedores y especializados en el área de estudio.

1.6.4. ECONÓMICA

El costo total en la inversión y cumplimiento de la investigación fue autofinanciado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL

Ruíz (2020) en su estudio titulado Uso de humedales construidos subsuperficiales de flujo horizontal sembrados con policultivos de especies nativas bajo condiciones del trópico americano para la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y metales pesados de lixiviados de relleno sanitario de la Universidad del Valle – Colombia. Tuvo por **objetivo** evaluar el desempeño a escala piloto de un sistema de humedales construidos subsuperficiales de flujo horizontal sembrado con policultivo de *Heliconia psittacorum* y *Cyperus haspan* para el tratamiento de lixiviado del relleno sanitario. La **metodología** consiste en tres sistemas de humedales creados con flujo horizontal sub-superficial (HCFSSH), a nivel piloto, para reducir materia orgánica (DBO5, DQO), sólidos suspendidos totales, nitrógeno (NH₃-, NO₃-) y metales pesados (Pb y Cd) que provienen de una laguna anaeróbica que procesa parcialmente el lixiviado (LX) del vertedero. Como **resultados** se verificaron los promedios de remoción de cada uno de los contaminantes estudiados, que fueron para DBO5 (58.5 %), DQO (59.7 %), y SST (82.1 %), así como de nitrógeno de NO₃- (4.0 %) y NH₃- (30.4 %). No se pudo determinar el impacto de la distribución de las especies vegetales en los biorreactores sobre la remoción de los metales pesados Pb y Cd, debido a las bajas concentraciones de estos metales en el agua, que se encontraban por debajo de los límites de detección del equipo de medición. Asimismo, se **concluye** que los sistemas de humedales han mostrado ser eficientes en la eliminación de todos los contaminantes analizados, y la disposición PHPA se destacó como la más eficaz para disminuir DBO5 (61.85%), DQO (62.60%) y NH₃- (46.36%).

Ayala (2020) Remoción de arsénico y metales mediante humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial identificación de sumideros y asociación de los contaminantes en la fase sólida en la Universidad de Chile. Cuyo **objetivo** fue identificar las principales zonas de acumulación y fraccionamiento de arsénico en un humedal construido a escala de laboratorio con flujo horizontal subsuperficial como sistema de tratamiento. La **metodología** se conformó de doce secciones que incluían cuatro variedades de tratamiento (tres copias de cada tipo): humedales de caliza y zeolita cubiertos por *Phragmites australis* (CV y ZV) y secciones de control de caliza y zeolita (CSV y ZSV) para establecer una comparación de los compartimientos con vegetación y sin ella. Los **resultados** evidencian que los análisis de las raíces y hojas de las plantas indican que *Phragmites australis* actúa como un excluyente para el arsénico y el hierro, mientras que es un acumulador para el boro. Los hallazgos del SEP de Keon, en la sección de entrada, mostraron similitudes entre los comportamientos que tenían el mismo tipo de sustrato. Las contribuciones fraccionarias más altas de las etapas se observaron en m2 y m3, que representaron distintas frecuencias en las zeolitas. El promedio anotado en la entrada fue $m_2=79\pm 3\%$ y $m_3=12\pm 2\%$. Por el contrario, en las calizas resultó $m_2=33\pm 16\%$ y $m_3=53\pm 9\%$. Los factores claves que provocan la eliminación de arsénico son el tipo de medio utilizado debido a las diferentes capacidades para neutralizar el afluente (pH de CV-CSV $\approx 7,0-7,1$ y pH de ZV-ZSV $\approx 3,6-4,0$) y la posible formación de oxihidroxidos de hierro. **Concluyendo** que los métodos más importantes para eliminar el arsénico que se encontraron en el sistema cambiaron dependiendo del tipo de material; en la caliza, ocurrió una coprecipitación con oxihidróxidos de hierro, mientras que en las zeolitas el proceso fue por adsorción al medio (Si/Al) o a oxihidróxidos de hierro.

Vargas (2019) Remoción de metales pesados de agua del Río Yautepec utilizando mucílago de *Opuntia ficus-indica*. Instituto Politécnico Nacional, Morelos – México. En su **objetivo** Evaluó las características fisicoquímicas y la concentración de metales pesados en

el agua del Río Yautepec. Para su **metodología** se llevó a cabo la extracción de los elementos empleando gel de *Opuntia ficus-indica* como sustancia coagulante, estableciendo 34 puntos de muestreo y recolección de agua a lo largo del río. Aquellas ubicaciones se clasificaron en tres zonas, I, II y III, para facilitar un análisis más detallado. En los **resultados** se determinó que las aguas del Río Yautepec en la zona I presentaban un pH que se consideraba ácido neutro, mientras que en las zonas II y III se encontraron niveles neutros a alcalinos durante los dos períodos de estudio. En cuanto a la turbidez, los valores fluctúan de 16.22 a 552.39 NTU en la temporada de lluvia y de 1.52 a 79.49 NTU en la sequía en la zona I, que resultó ser la más turbia del río. Además, las aguas de las zonas II y III mostraron los niveles más elevados de conductividad, superando los 1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en los periodos analizados. Por otra parte, la mas alta cantidad de metales pesados durante el periodo de lluvia y de sequía correspondió al hierro en la zona I, alcanzando 20740 $\mu\text{g}/\text{L}$ y 8410 $\mu\text{g}/\text{L}$ respectivamente. Por su parte, el plomo se posicionó como el tercer metal más concentrado en la mayoría de las zonas, con 40.6 y 68.4 $\mu\text{g}/\text{L}$ en los períodos de lluvia y de sequía respectivamente. En cuanto al índice de impacto de metales (HEI), los resultados mostraron que el agua del río tenía un bajo nivel de contaminación. En lo que respecta a la eliminación de metales pesados del agua mediante *Opuntia ficus-indica*, se logró una disminución de entre 7.15% y 73.5% de la turbidez, y se eliminaron iones de Cd, Ni y Pb (menor del 40%), iones de Cr y As (reducción del 70%), iones de Mn (reducción del 91%) y iones de Fe (reducción del 96%) del agua. En **conclusión**, el mucílago de *Opuntia ficus-indica* demostró eficacia en la eliminación de varios metales pesados del agua del Río Yautepec, consiguiendo que las concentraciones de Fe y Mn se reducirán por debajo de las cifras autorizadas para su utilización y consumo por personas.

2.1.2. ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL

Sucari (2022) en su estudio titulado Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu) para la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión – Junín. Teniendo por **objetivo** evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados presentes en los efluentes mineros a través de la aplicación de humedales artificiales utilizando Scirpus Californicus y Festuca dolichophylla en el distrito de Morococha, para su **metodología** se instalaron dos humedales con idéntico tipo y cantidad de material (arena fina, gruesa, grava y caliza), se realizó el trasplante de una especie distinta de cada humedal (Scirpus Californicus y Festuca dolichophylla), se recolectaron muestras de efluentes (agua de mina) de la Empresa Minera Austria Duvaz S.A. Los **resultados** muestran los valores de pH se aprecia que el efluente de la mina en su punto de partida presento un valor 4.6, mientras que, al salir de los humedales, dicho valor se incrementa, alcanzando promedios de 6.41 y 6.15 para la Totora y el Ichu respectivamente. en la remoción de Arsénico Total Totora e Ichu tuvieron 96%. En cuanto al contenido total de Cadmio, el efluente de la mina superó el Límite Máximo Permitido (LMP) alcanzando un nivel de 0. 13 mg/l. Los resultados de las dos áreas de humedales mostraron lo siguiente: en Totora se registró un valor de 0. 006 mg/l en octubre de 2019, que disminuyó a 0. 001 mg/L en febrero de 2020. Por otro lado, Ichu presentó un nivel de 0. 013 mg/l en diciembre de 2019, y redujo a 0. 003 mg/L en febrero de 2020. **Concluyendo** que el agua extraída del interior de la mina muestra niveles que superan el LMP, mientras que las evaluaciones del agua tratada de ambos humedales muestran niveles significativamente bajos de metales, tales como hierro disuelto, cobre total, zinc total, arsénico total, cadmio total y plomo total, todos están por debajo del límite máximo permitido.

Vizcarra (2021) Evaluación de eficiencia en la reducción del hierro, manganeso y sulfatos contenidos en una muestra de aguas ácidas,

tratada mediante un humedal de flujo sub superficial horizontal con la especie dracaena sanderiana como componente vegetativo para la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima. Cuyo **objetivo** fue Establecer hasta qué punto puede disminuir la presencia de metales y sulfatos en muestras de agua ácida al optar por un tratamiento utilizando Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial con la planta *Dracaena Sanderiana*, como parte de la vegetación. En la **metodología** se empleó el humedal artificial de flujo subterráneo estuvo compuesto por un módulo de vidrio, dividido en cuatro celdas, cada una albergando la planta *Dracaena Sanderiana* que facilitó las reacciones biológicas para disminuir metales pesados y sulfatos. Los **resultados** se evidencian que se ha conseguido una reducción total en la concentración de hierro en las muestras, y esta tendencia se ha sostenido durante los dos meses de pruebas efectivas. En **conclusión**, a pesar de que se logró eliminar el hierro, la concentración de manganeso solo se redujo entre 44. 01% y 86. 61% en marzo y entre 38. 75% y 61. 32% en abril.

Fernández et al. (2020) Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras de frutas. En la Universidad Peruana Unión. Cuyo **objetivo** es de Analizar la efectividad en la remoción de Cu, Fe y Pb del efluente minero-metalúrgico en un entorno de laboratorio utilizando un filtro bioadsorbente compuesto por fibras de lignocelulosa (cáscaras de plátano, coco y naranja). Para su **metodología** elaboraron 10 filtros que combinan cáscaras de plátano, coco y naranja, en diferentes proporciones (considerando 100 gr como el total), conforme a lo determinado por el Diseño de mezclas Simplex Lattice, para eliminar tres metales (Cu, Fe y Pb). La prueba se realizó a un pH de 7.3, con un tiempo de contacto de 3 horas y un tamaño de partícula de 0.250 mm en todos los experimentos. Cuyo **resultado** indican que, para el cobre, el tratamiento más eficaz fue el T2, que utilizó 100 gramos de cáscaras de coco con una eficacia del 96. 36%; en el caso del hierro, el tratamiento seis (T6) que contenía 50 gramos de coco y 50 gramos de naranja mostró una efectividad del 92. 05%; y para el plomo, los tratamientos tres (T3) y seis (T6), que utilizaron 100 gramos

de naranja y 50 gramos de cada uno de coco y naranja, lograron la mayor eliminación con un 97.34%. Los resultados se ajustaron mejor al modelo de regresión cúbica especial. Para el cobre, el valor P fue 0.000305 y la R² alcanzó 0.790156. En cuanto al hierro, se obtuvo un valor P de 0.000000 y un R² de 0.930029. El plomo registró un valor P de 0.000034 y un R² de 0.719867. Es importante destacar que un mayor valor de R² es favorable mientras se acerque a 1, y que un p menor a 0.05 es considerado significativo. En **conclusión**, los filtros bioadsorbentes elaborados con materiales lignocelulósicos fueron eficientes en la eliminación de metales pesados del efluente minero metalúrgico.

2.1.3. ANTECEDENTE A NIVEL LOCAL

Hidalgo (2022) en su estudio titulado Remoción de cadmio (Cd) por electroremediación de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales. Para la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María. Tuvo como **objetivo** Disponer el grado de eliminación de Cadmio (Cd) mediante el uso de electroremediación en lodos residuales de la PTAR. Para la **metodología** se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos, y luego se instaló un prototipo para aplicar la técnica de electroremediación. Se llevaron a cabo 9 tratamientos con tres diferentes periodos (4, 8, 12 horas) y tres niveles de voltaje (15V, 20V, 25V), cada uno con 5 repeticiones usando una solución electrolítica de Cloruro de Sodio al 12% a (99.5%). En los **resultados** se detectaron variaciones significativas en la eliminación de Cadmio entre los distintos tratamientos. El tratamiento más efectivo fue el que utilizó 15 voltios durante 8 horas (V1T2), y la mayor eficiencia de remoción alcanzó un 84.48% en el tratamiento de 25 voltios durante 12 horas (V3T3). Se **concluye** que es viable emplear esta técnica para la eliminación de metales pesados en los lodos.

Carhuaricra (2019) Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *limnobium laevigatum* y *eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa. En la Universidad de

Huánuco. Tuvo como **objetivo** Analizar la capacidad de la fitorremediación utilizando la técnica de fitodegradación a nivel experimental utilizando dos especies acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes*, en el tratamiento de aguas residuales de una laguna facultativa. Para su **metodología** se adoptó un enfoque cuantitativo a nivel experimental, donde se utilizaron dos tipos de macrófitos flotantes. Cuyos **resultados** para los Sólidos Suspendidos Totales (SST), los niveles disminuyeron en: 23. 4 horas (132 mg/L), 31. 2 horas (26 mg/L), 39 horas (31 mg/L) y 46. 8 horas (68 mg/L). En cuanto a la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), los valores disminuyeron en: 23. 4 horas (99. 8 mg/L), 31. 2 horas (42. 5 mg/L), 39 horas (34. 7 mg/L) y 46. 8 horas (36. 5 mg/L). Respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los resultados mostraron una reducción en: 23. 4 horas (271. 1 mg/L), 31. 2 horas (156. 8 mg/L), 39 horas (128. 4 mg/L) y 46. 8 horas (166. 9 mg/L). El pH se modificó en: 23. 4 horas (6. 2), 31. 2 horas (6. 6), 39 horas (6. 7) y 46. 8 horas (7. 5). La temperatura cambió en: 23. 4 horas (21 °C), 31. 2 horas (24 °C), 39 horas (27 °C) y 46. 8 horas (24 °C). En cuanto a la conductividad tras el tratamiento, se observó una reducción en: 23. 4 horas (487 μ S/cm), 31. 2 horas (414 μ S/cm), 39 horas (342 μ S/cm) y 46. 8 horas (315 μ S/cm). Para los coliformes fecales o termotolerantes, la disminución fue de: 23. 4 horas (1300000 NMP/100mL), 31. 2 horas (7900 NMP/100mL), 39 horas (230 NMP/100mL) y 46. 8 horas (790 NMP/100mL). En **conclusión**, esto demuestra la efectividad del proceso de fitorremediación, que se sitúa por debajo de los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. METALES PESADOS EN AGUA

Desde el punto de vista de Alfayate et al. (2004) los metales pesados se consideran uno de los contaminantes más nocivos para el entorno, ya que no se descomponen de forma natural y tienen la capacidad de acumularse en los seres vivos. Entre ellos, son

especialmente tóxicos y abundantes en la naturaleza el mercurio, el cadmio y el plomo.

Al referirse a la contaminación metálica, comúnmente se alude a los inconvenientes generados por los metales pesados. No obstante, es importante no pasar por alto que otros metales como el sodio y el potasio, aunque no sean dañinos para los seres humanos en las concentraciones que normalmente encontramos pueden generar complicaciones en situaciones particulares, como sucede en el riego utilizando aguas que los incluyan (Alfayate et al, 2004).

También son denominados como metales traza, por su existencia en escasa cantidad; de hecho, se utiliza el término de micro contaminantes para referirse a aquellos cuya cantidad es menor a 1 mg/l y generan efectos significativos. Su aparición en el agua puede ser el resultado de procesos de disolución, lo que provocará que se encuentren en pequeñas cantidades, o puede deberse a su forma como partículas en suspensión, las cuales pueden sedimentarse y acumularse en los fondos cuando ocurren cambios en las condiciones hídricas o por procesos biológicos (Mendoza, 2017a).

Zinc: Es un metal que se considera poco perjudicial, aunque concentraciones elevadas pueden afectar la salud. Puede introducirse en el cuerpo a través de la respiración, el contacto dérmico o la ingestión, siendo principalmente de origen industrial. La inhalación de óxido de zinc puede causar problemas respiratorios y otras afectaciones a la salud (Neyra et al, 2021).

También se ha observado que un alto consumo de suplementos de zinc puede relacionarse con la falta de cobre, ya que ambos nutrientes compiten por ser absorbidos en los glóbulos rojos. Se cree que la ingesta de zinc juega un papel en el progreso y evolución del cáncer de próstata. Asimismo, investigaciones realizadas en organismos vivos han evidenciado que un aumento de esto puede modificar la actividad de los linfocitos en respuesta a citoquinas (Neyra et al, 2021). Investigaciones

han indicado que la aplicación de quelantes de metales recupera el balance del zinc, mostrando resultados alentadores en patologías como el Alzheimer, donde se sospecha que hay una alteración en este mineral (Neyra et al, 2021).

Cadmio: Las principales causas del cadmio en el entorno son la producción de acero y hierro, la industria del carbón y la del petróleo; su presencia en la atmósfera es común, lo que convierte la contaminación del aire en una de las formas más comunes de exposición (esto es especialmente problemático para quienes tienen un bajo nivel de zinc, ya que el cadmio compite con este mineral). Además, se pueden encontrar pequeñas proporciones de cadmio en ciertos alimentos y bebidas (los productos más propensos a esta contaminación incluyen el pescado, los mariscos y el té negro), así como en algunas pinturas, tintes, tuberías galvanizadas, sistemas de escape, etc., siendo el humo del tabaco donde se presentan las concentraciones más altas. Los indicios de envenenamiento se manifiestan primero por aumento de la presión arterial y endurecimiento de las arterias, dado que el cadmio se acumula principalmente en las arterias y los riñones; en segundo lugar, se presenta una grave aflicción renal cuando las concentraciones de cadmio son diez veces más altas que los niveles normales, y, por último, puede surgir una hiperactividad mental, especialmente en los niños (Alfayate et al, 2004).

Plomo: Las fuentes más importantes de plomo en el entorno son los vapores de escape de vehículos que utilizan gasolina con plomo, que hoy en día están prohibidos y han sido reemplazados por alternativas sin plomo, así como las pinturas. El plomo se absorbe en el sistema digestivo de manera lenta y no completa cuando la intoxicación se produce por ingestión, y también puede ser absorbido a través de los pulmones tras su inhalación. En el cuerpo, el plomo se reparte fundamentalmente en dos tipos de reservas: una que se encuentra en la sangre y en los tejidos blandos, y otra que se deposita en los huesos. Los signos de intoxicación por plomo pueden incluir malestar general,

pérdida de apetito, dolores de abdomen, náuseas, irritabilidad y desinterés. Las consecuencias de esta intoxicación impactan principalmente en tres sistemas: el sistema renal, el sistema nervioso central y el sistema de producción de sangre (Alfayate et al, 2004).

2.2.2. FUENTES DE LOS METALES PESADOS EN EL AGUA

Las actividades humanas más importantes que generan metales son la extracción, la fundición y el procesamiento, que consisten en extraer metales de sus minerales en las minas, para luego fundirlos y purificarlos hasta transformarlos en productos de uso diario que, una vez utilizados, se descartan. En el transcurso de estos procesos, los metales son liberados al entorno; además, son liberados a la atmósfera a causa de la combustión de combustibles fósiles, los cuales eventualmente se asentaron en la tierra tras un tiempo variable. El deshecho de aguas negras de algunas industrias del sector siderometalúrgico, tratamientos de superficies, curtidurías, entre otros, son ejemplos típicos de contaminación por metales pesados (Mendoza, 2017).

Durante su ciclo de vida, los metales experimentan corrosión y liberación de gases, lo que genera daños al medio ambiente. En ciertos casos, el uso de ciertos productos conlleva una liberación directa de metales como es el caso de fungicidas y aditivos para la gasolina, etc. (Mendoza, 2017). Los metales pesados como el plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio entre otros, son liberados en ecosistemas acuáticos y suelos, principalmente a causa de diferentes actividades humanas. Esto representa un grave riesgo para las plantas, los animales y hasta los seres humanos, debido a su durabilidad, capacidad de bioacumulación, su características no biodegradables y su toxicidad, incluso en concentraciones bajas (Guerrero et al, 2020).

El hierro se encuentra en mayor cantidad en las aguas residuales, sin embargo, sus impactos negativos son bastante limitados. Otros metales que provienen de la industria galvánica son el cromo, el níquel,

el zinc y el cadmio (Mendoza, 2017). Por ejemplo, el cobre se encuentra en las industrias de seda artificial.

Las principales fuentes de ciertos metales y sus impactos más relevantes. Se incluyen también algunos elementos semimetálicos. (Mendoza, 2017). Se puede notar que los orígenes y las acciones que producen la aparición de metales en el agua pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Erosión y lixiviado de rocas y suelo: Al, Ba, Fe, Mn, V.
- Minería: As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb.
- Industria tratamiento de superficies: Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn.
- Otros vertidos industriales: Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn.
- Aguas residuales urbanas: Al, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn.

2.2.3. HUMEDAL ARTIFICIAL

Según Salas (2018) los humedales artificiales, constituyen una tecnología utilizada globalmente para el tratamiento de las aguas residuales producidas en pequeñas áreas urbanas. Se trata de sistemas de purificación donde se simulan los procedimientos de supresión de impurezas que ocurren en los ecosistemas húmedos naturales.

Los humedales artificiales se caracterizan por tener una construcción mecánica y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, se emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas que van a colonizar el humedal (Salas, 2018).

2.2.4. HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL

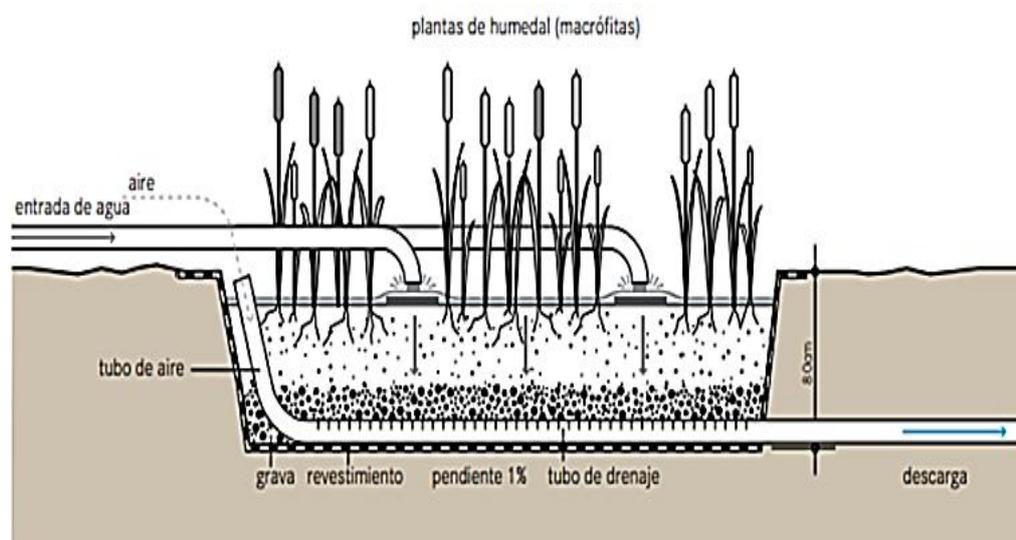
Un humedal artificial de flujo vertical es un sistema de filtración que incorpora vegetación acuática. Las aguas residuales se introducen o se administran desde una altura superior en la parte superior, mediante un mecanismo de dosificación (Tilley et al, 2018).

Los humedales creados por el hombre se distinguen por su diseño artificial y se sellan para evitar que el agua se filtre al suelo. Se utilizan materiales distintos a los del terreno original para que las plantas que colonizaran el humedal puedan arraigarse adecuadamente (Navarro et al, 2020).

Los humedales de flujo vertical se diferencian de los humedales de flujo horizontal en que el medio no permanece constantemente lleno de agua, dado que se riega normalmente en periodos regulares y el líquido se filtra a través del material (Orozco et al, 2006).

Figura 1

Humedal de flujo vertical



Nota. El humedal artificial de flujo vertical se puede diseñar como una excavación poco profunda o una construcción sobre el suelo (Tilley et al, 2018, p. 114).

2.2.5. ESPECIES FITORREMIADORAS EN LOS HUMEDALES

La vegetación que se emplea en los humedales artificiales son las mismas que invade los humedales naturales: plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.), halófitos que crecen en aguas poco profundas, enraizadas al subsuelo, y cuyos tallos y hojas sobresalen del agua, pudiendo alcanzar alturas de 2-3 m. Este tipo de vegetación es bastante resistente a la escasez de oxígeno, que ocurre en suelos saturados, ya que disponen de conductos internos o áreas de aireación (aerénquima), que permiten la circulación del oxígeno desde

las partes superiores hasta las raíces (Salas, 2018). Los macrófitos que se utilizan comúnmente en humedales creados por el ser humano, incluyen plantas emergentes, plantas sumergidas, plantas con hojas flotantes y plantas libres flotantes (Pérez et al, 2022).

No hay un esquema definido respecto al empleo de determinadas especies de plantas decorativas para ciertos tipos de aguas residuales. No obstante, es fundamental considerar que los humedales construidos que incorporan plantas decorativas suelen funcionar como tratamientos de segunda o tercera etapa, debido a los efectos perjudiciales que la carga orgánica o inorgánica puede tener en las plantas cuando se utilizan en un tratamiento inicial. En estos humedales artificiales, las plantas desempeñan funciones vinculadas a efectos físicos, la captura de microorganismos, la absorción, la regulación de microclimas, la evapotranspiración, el aislamiento térmico y la apariencia estética del sistema. La vegetación participa en el proceso de biodegradación, la purificación y la captación de las sustancias presentes en las aguas residuales (Pérez et al, 2022).

2.2.6. COLA DE CABALLO

El *Equisetum* es un tipo de planta conocida popularmente como "cola de caballo" que se encuentra en todo el mundo, siendo más abundante en el hemisferio norte. Este tipo de planta se identifica por sus ejes que están atravesados a lo largo con costillas, usualmente bien marcadas, con hojas verticiladas reducidas a escamas que forman una vaina y por esporofilos que se agrupan en la parte final en estructuras que se asemejan a un cono, conocidos como estróbilos (León, 2012). Se desarrollan hasta altura de 4200 msnm, en el Perú se desarrolla en todas las regiones.

Tabla 1

Taxonomía de la cola de caballo

TAXONOMÍA DE LA COLA DE CABALLO	
Reino	Plantae
División	Sphenophyta
Clase	Equisetopsida
Orden	Equisetales
Familia	Equisetaceae
Género	Equisetum

Nota. Presenta una ramificación de < 50 cm, con ejes de < 2mm. Información tomada de (León, 2012).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Agua natural:** Es la que alberga una abundante diversidad de compuestos o tipos químicos, principalmente debido a la notable habilidad del agua para disolver y reaccionar, lo cual ya se ha mencionado, así como su capacidad de erosión. La existencia de organismos, especialmente de microorganismos, influye en la variedad y cantidad de las especies que se encuentran (Alfayate et al, 2004, P. 41).
- **Agua:** Refiere que se trata de una sustancia compuesta por 2 átomos de hidrógeno y 1 átomo de oxígeno, y que se encuentra en distintos estados (sólido, gaseoso y líquido) (Lagua, 2020).
- **Estándar de calidad ambiental (ECA):** Es un instrumento de gestión ambiental, por lo que establece el nivel de concentración de sustancia o elementos que no implica peligro para la salud y el entorno por sustancia presentes en ambiente (MINAM, 2013).
- **Parámetro:** Elemento o sustancia física, química o biológica del agua que define su calidad (MINAM, 2013).
- **Macrófitos:** Son aquellas plantas que poseen sus partes vegetativas completamente bajo el agua o en la superficie se clasifican aquí. Este conjunto abarca plantas vasculares, ciertos tipos de briófitos y algas del tipo carófitas y filamentosas. Pueden estar fijadas al fondo o flotar sin

restricciones en el líquido. Son los mejores indicadores del estado de su hábitat (García et al, 2009, p. 36).

- **Metales pesados:** Un metal pesado se caracteriza como un metal o metaloide con relevancia biológica que puede resultar dañino al acumularse en organismos como animales o plantas. Su relevancia es considerable debido a su elevado potencial toxico, resultante de su amplia dispersión (Neyra et al, 2021).
- **Metales y metaloides:** Es la que se asocia con actividades industriales, agrícolas y lixiviados. Los metales más conocidos en aguas residuales son el hierro, plata, aluminio, estaño, manganeso y bario, los metales pesados son el zinc, níquel, cobre, cromo, plomo, mercurio y cadmio, los metaloides como el arsénico, boro y selenio entre los más importantes (Valencia, 2016, p. 24).
- **Tratamiento biológico:** Las plantas que están expuestas a metales pesados pueden mostrar varias reacciones fisiológicas que se dividen en tres categorías: excluyentes, donde la cantidad de metales en la planta es inferior a la cantidad en el agua; indicadoras, donde en la cantidad de metales en la planta en el tejido aéreo se relaciona de manera lineal con la concentración en el suelo; y, acumuladoras, donde la cantidad de metales en la parte aérea es significativamente superior a la concentración de metales en el agua (Cayetano, 2019, p. 5).

2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS

- **Ha:** EL humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) remueve metales pesados (cobre y zinc) del rio Huertas Ambo, Huánuco.
- **H0:** EL humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) no remueve metales pesados (cobre y zinc) del rio Huertas Ambo, Huánuco.

2.5. SISTEMA DE VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Remoción de metales pesados.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Humedal en flujo vertical.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de variables, de la investigación titulada: Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (Equisetum arvense L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 – 2025

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIAD	TIPO DE VARIABLE
V. Dependiente: Remoción de metales pesados	Son fenómenos de disolución, en cantidades traza se sedimentan y acumulan en los lechos debido a la alteración de las condiciones del agua o a una transformación biológica (Alfayate et al, 2004).	Se removieron los metales pesados presentes en las aguas del río Huertas, además se consideró el comportamiento de las características generales.	Metales pesados	Cobre	ppm	Numérica continua
				Zinc	Ppm	
			Características generales	pH	1:1	
				CE	ds/m	
				DBO	mg/L	
				DQO	mg/L	
				OD	mg/L	
V. Independiente: Humedal en flujo vertical	Es un sistema de depuración donde se repiten los procesos de expulsión de contaminantes , que ocurren en las áreas naturales húmedas utilizando plantas acuáticas o las llamadas macrófitos (Salas, 2018).	El sistema del flujo vertical estuvo reforzado por el uso de la planta cola de caballo, con ello favorecer la reducción de metales pesados presentes en el agua.	Comportamiento hidráulico	Caudal	lps	Numérica continua
				THR	Horas	
				Medidas	cm	
				Insumos	--	
				Numero de especie utilizados	Uds	

Nota. La tabla 2, presenta la operacionalización de las variables de la investigación de acuerdo a los parámetros de estudio.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por el número de grupos experimentales, la investigación fue de tipo experimental, puesto que se tuvo que realizar de manera intencional la manipulación de las variables (Lerma, 2016). Para este caso el agua con metales pesados y su disminución por medio del humedal de flujo vertical.

3.1.1. ENFOQUE

Puesto que se planteó una hipótesis que se relaciona con los factores presumibles de las causas de un efecto determinado, la investigación tuvo un enfoque cuantitativo, donde se usó la estadística (Lerma, 2016). Ya que los datos de la presencia de metales pesados y algunas características del agua fueron numéricos.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Con el objeto de explicar la relación causa-efecto entre variables, la investigación presento un alcance explicativo, es decir se modificó de manera intencional el estado de la variable con una intervención (Lerma, 2016). Es decir, se explica los cambios en la cantidad de metales pesados en el agua al someterlo a un humedal de flujo vertical.

3.1.3. DISEÑO

La investigación tuvo un diseño cuasi experimental puesto que se aisló la variable independiente de interés, con ello se eliminó en lo posible cualquier confusión que pudo inferir en la relación y que distorsione las conclusiones sobre la variable dependiente (Lerma, 2016). Para ello se presentó un diseño factorial de la siguiente manera:

GE: TO-1 \longrightarrow TO-GC \longrightarrow X \longrightarrow RT0-GC
 TO-1 \longrightarrow T1 \longrightarrow X1 \longrightarrow RT1

Donde:

GE: Grupo experimental.

- TO-1: Muestras de agua del río Huertas.
- TO-GC: Grupo Control (Humedal artificial de flujo vertical).
- T1: Tratamiento 1 (Humedal artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo).
- RTO-GC: Resultados TO-GC.
- RT1: Resultados T1.
- X: Variable independiente (Humedal artificial de flujo vertical).
- X1: Variable independiente (Humedal artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo).

Tabla 3

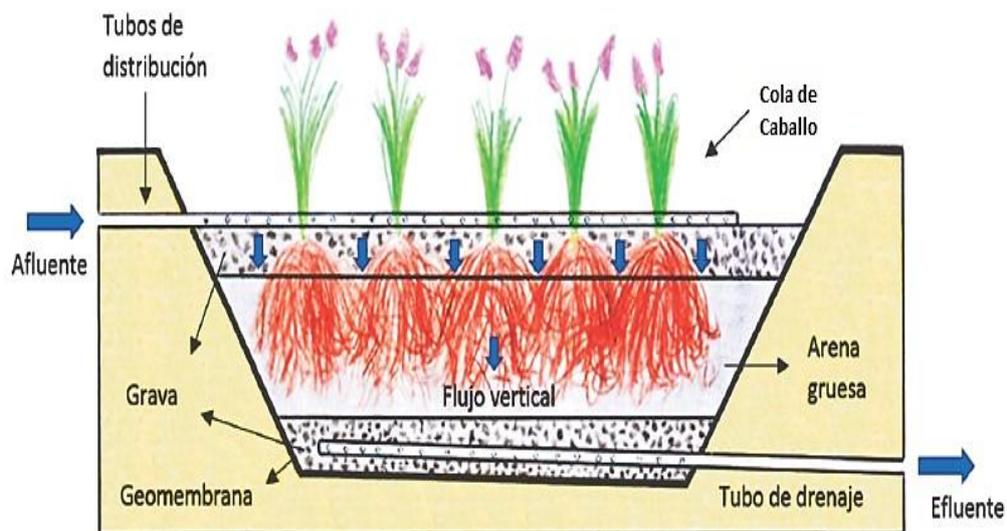
Matriz experimental

GRUPO	PARÁMETROS OBSERVADOS	OBSERVACIÓN
TO-I (Preanálisis)		1 muestra analizada en el laboratorio
Grupo Control (TO-GC): Humedal de flujo vertical	DBO pH OD Conductividad	1 muestra analizada en laboratorio a los 15 días después de iniciada la fase experimental. Se realizó el monitoreo en campo a los 5, 10 y 15 días de los parámetros (pH y Conductividad) véase tabla 6.
Tratamiento 1 (T1): Humedal de flujo vertical + cola de caballo	DQO Cobre Zinc	5 muestras analizadas en laboratorio a los 15 días después de iniciada la fase experimental. Se realizó el monitoreo en campo a los 5, 10 y 15 días de los parámetros (pH y Conductividad) véase tabla 6.

Nota. Se muestra los grupos de monitoreo establecido junto a los parámetros observados y los detalles adicionales realizados por grupo establecido.

Figura 2

Diseño del humedal de flujo vertical



Nota. La figura representa la propuesta utilizada de un humedal de flujo vertical donde se utilizó plantas de cola de caballo. Figura adaptada de (Pérez et al, 2022).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.1.4. POBLACIÓN

Las aguas procedentes del río Huertas del Distrito de Ambo, del mes de setiembre del 2024, fueron consideradas como población.

3.1.5. MUESTRA

Constituyo de un total de 150 Litros de aguas procedentes del río Huertas, Ambo, a las cuales se realizó el preanálisis de los parámetros de estudio (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc), luego se utilizó en la fase experimental por grupo establecido (grupo control y tratamiento 1) por lo que se recolectaron muestras de agua después de la fase experimental 1 muestra del grupo control (TO-GC) y 5 muestras del tratamiento 1 (T1) las cuales fueron enviadas a laboratorio para el análisis de los parámetros detallados anteriormente. Por lo que se mandó un total de 7 muestras al laboratorio.

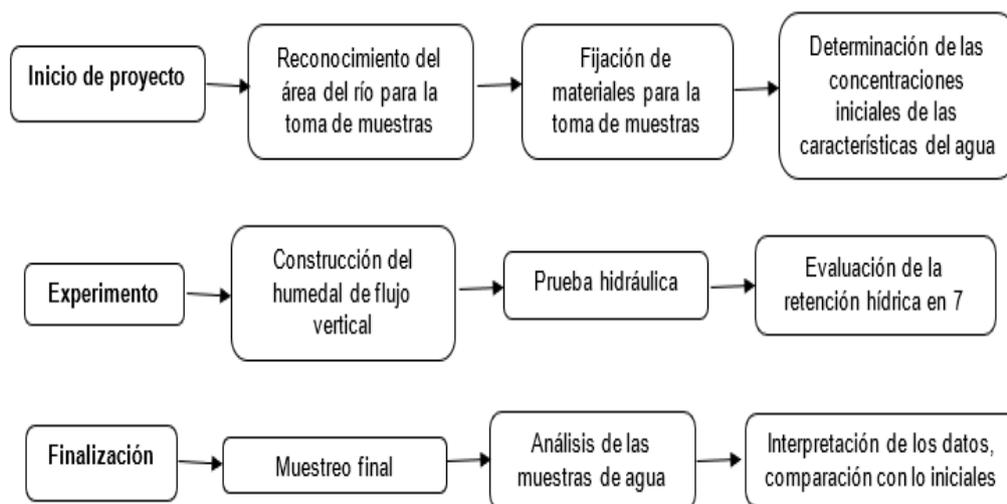
3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.2.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se considera el uso del protocolo de monitoreo, y el D.S. N.º 004-2017-MINAM, Decreto Supremo que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Por lo que para recabar la información se propuso los siguientes procedimientos.

Figura 3

Procedimiento del experimento



Nota. Se considera la técnica de observación directa, modificado de (Bedriñana, 2023).

a) Construcción del prototipo del humedal de flujo vertical:

- Se construyó dos estructuras tipo pecera donde se instaló los humedales horizontales (las medidas serán de ancho de 100 cm, profundidad de 60 cm y una altura de 60 cm) se colocó en un lugar ventilado y techado (para la prevención de precipitaciones) véase los anexos 9.2, 9.5 y 9.8.
- Considerando la figura 4 en el efluente de salida se adicionó tinas donde se instaló una bomba de agua, para la recirculación por el tiempo establecido de acuerdo al estudio (15 días).
- La estructura se construyó tipo pecera con vidrio y silicona, véase anexo 9.2, 9.5 y 9.8.

- Se colocó los tubos de acuerdo a la figura (se aisló con silicona), los tubos tuvieron orificios a lo largo del mismo cada 2 cm, para que el agua filtre por ellos).
- La grava, gravilla y arena gruesa fueron lavados y secados por un día, antes de ser colocadas en la estructura tipo pecera. La misma fue colocada de acuerdo a la figura considerando la proporción del mismo (15 centímetros de espesor por cada insumo), véase anexo 9.3.
- Se probó el funcionamiento del sistema antes de su uso, considerando que debe tener el mismo caudal de ingreso y salida, tanto el grupo experimental (T1) y el grupo control presentaron las mismas condiciones en cuanto al caudal fue de 0.011 L/S o 11.11 ml/S, recirculación, tiempo de experimento, condiciones climáticas, insumos.

b) Muestreo de agua:

- Se identificó el punto de muestreo de agua del río huertas: ya identificada el punto se recolectó 150 L de muestra de agua, la misma se almacenaron en bidones hasta su uso. De dicha muestra se enviaron a laboratorio muestras independientes por parámetro de estudio (DBO, PH, OD, Conductividad, DQO, Cobre, Zinc) los datos serán los iniciales considerado como el preanálisis, véase el anexo 9.1 y 10.1.
- Se esperó los resultados de laboratorio los mismos que fueron comparados con los resultados del análisis después de la fase experimental y con el ECA – Agua categoría 3 (D1) aprobado por el D.S. N.º 004-2017-MINAM, véase anexo 10.1 y 11.

c) Muestreo y obtención de las plantas de cola de caballo:

- El muestreo y obtención se realizó de los mejores ejemplares, siendo 15 ejemplares para el experimento de 65 cm de altura en promedio que se extrajeron del distrito de Mariano Dámaso Beraun (Las Palmas), los cuales se aclimataron por 10 días (considerándose este

el tiempo de acondicionamiento) en condiciones del lugar del experimento para ello se utilizó el sustrato del lugar de donde se recolecto las plantas de cola de caballo, posterior a ello se dejó actuar en el humedal vertical por un tiempo de 15 días calendarios. Mayor detalle véanse en los anexos 4, 9.4, 9.6 y 9.7.

d) Puesta en marcha la fase experimental:

- Ya contando con todos los insumos, materiales y equipos necesarios. Así mismo probado el funcionamiento del sistema de recirculación e instalados las plantas de cola de caballo se inició con el procedimiento llenando la muestra de agua del río huertas a ambos humedales de flujo vertical se utilizó 150 litros de muestra de agua para ambos humedales, una vez alcanzado el nivel necesario se puso en marcha el sistema de recirculación.
- Por el tipo de biomasa de la planta cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) y su gran adsorción de nutrientes y contaminantes se realizará un monitoreo de 15 días, puesto que es un tiempo suficiente para su evaluación final y que las condiciones del agua no se vean afectadas (Quiroz y Ambrosio, 2021), véase anexo 9.6.
- Cada 5 días se tomaron mediciones de pH y C.E., así cumplidos los 15 días de la fase experimental, los detalles véase en los anexos 4, 9.6, 9.7 y 9.8.

e) Análisis y muestreo:

- Una vez cumplido el tiempo establecido de la fase experimental se realizó el muestreo de agua tal como se detalló en la tabla 2, y estos fueron enviados a laboratorio, véase anexo 9.8 y 9.9.

f) Comparación de los análisis:

- Los datos obtenidos en el laboratorio fueron comparados, considerando los iniciales y los finales por cada parámetro en las mismas condiciones, además dicha comparación también se realizó con el estándar de calidad ambiental (ECA) para el agua DS N° 004-2017 MINAM, Categoría 3 (D1), véase anexo 9.9, 10.2 y 11.

3.2.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Se presenta los datos en forma ordenada por medio de tablas estadísticas (filas y columnas), identificando las variables, dimensiones y unidades de medida.

3.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La técnica para el procesamiento empleado fue con la estadística inferencial, para ello los datos fueron ordenados en tablas, para luego ser procesados con el SPSS, con la interpretación con medidas de distribuciones de frecuencia, tendencia, dispersión y correlación. Y finalmente el contraste de la Hipótesis.

3.4. ÁMBITO GEOGRÁFICO TEMPORAL Y PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO

La investigación de acuerdo al muestreo de agua, se llevó a cabo en el distrito de Conchamarca.

Tabla 4

Ubicación política del lugar donde se realizó la investigación

Ubicación política	
Región	Huánuco
Provincia	Ambo
Distrito	Conchamarca
Lugar	C.P. Vichaycoto - Conchamarca
Coordenadas UTM: Este	364721.00 m E
Norte	8892017.00 m S
Altitud	1987 m.s.n.m.

Nota. La tabla, muestra la ubicación y coordenadas utm del lugar donde se realizó la investigación.

3.4.2. PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN

- **Periodo del desarrollo de investigación:** Se consideró el tiempo que conllevó el desarrollo de investigación, la misma que desarrollo en estos últimos 5 meses.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

El análisis del agua del río Huertas preanálisis y el análisis después de la fase experimental aplicando el TO (TO-GC: Grupo control, Humedad artificial de flujo vertical) y el Tratamiento 1 (T1: Humedad artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo) se presentan en este capítulo de acuerdo al resultado de laboratorio, así mismo la comparación con el ECA - Agua, para la categoría 3, y sus interpretaciones respectivas. Esto concuerda con los objetivos de la investigación.

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. RESULTADOS DEL AGUA DEL RÍO HUERTAS DEL PREANÁLISIS Y DESPUÉS DE LA FASE EXPERIMENTAL

Para el resultado del pre análisis se realizó el muestreo de agua del río huertas, Ambo, en el mes de setiembre del 2024, donde se muestreo 150 litros de agua de acuerdo a lo descrito en el 3.2.2 y 3.3.1, mandando una muestra al laboratorio para el análisis respectivo de los siguientes parámetros (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc) dichos resultados se muestran en la tabla 6.

Para la obtención de resultados después de la fase experimental (después de 15 días en los humedales de flujo vertical) donde se realizó todas las actividades detalladas en el 3.3.2, 3.3.1 y sus incisos consiguientes, posterior a ello se obtuvo muestras de agua del TO (TO-GC: Grupo control, Humedad artificial de flujo vertical) una muestra y el Tratamiento 1 (T1: Humedad artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo) 5 muestras que fueron enviadas a laboratorio para el análisis respectivo de los siguientes parámetros (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc) dichos resultados se muestran en la tabla 7.

También se presentan los resultados alcanzados comparados con el ECA - Agua, para la categoría 3 y 4 (véase tabla 6 y 7).

Tabla 5

Detalles de la variable THR, caudal y tiempo de adaptación de la especie cola de caballo en el humedal de flujo vertical

DETALLES	TIEMPO DE LA FASE EXPERIMENTAL (THR*)	LITROS DE AGUA UTILIZADO	TIEMPO DE RETENCIÓN DEL HUMEDAL	CAUDAL (L/S)	ALTURA DE LAS PLANTAS DE COLA DE CABALLO	NUMERO DE PLANTAS UTILIZADAS EN LA FASE EXPERIMENTAL	DIMENSIONES DEL HUMEDAL	TEMPO DE ADAPTACIÓN
01	360 horas	74 litros por humedal	15 días donde se tubo recirculando las muestras de agua en los humedales artificiales implementados	Caudal de ingreso 0.011 L/S o 0.011 L/S		0 para el TO-GC: Grupo Control (Humedal artificial de flujo vertical)	100 cm de ancho, profundidad de 60 cm y una altura de 60 cm)	Se aclimataron por 10 días en condiciones del lugar del experimento y
02	15 días	74 litros por humedal		Caudal de ingreso 0.011 L/S o 0.011 L/S	65 centímetros de altura promedio	15 unidades para T1: Tratamiento 1 (Humedal artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo)	1 metro de ancho, 0.60 metros de profundidad y 0.60 metros de altura	Se dejó actuar en el humedal vertical por un tiempo de 15 días calendarios

*Nota. La tabla muestra los detalles de las variables de estudio como THR, caudal entre otros. Donde: * THR: Tiempo en horas recirculando.*

Descripción: La tabla presenta el (THR) siendo 15 días, así mismo indica que se utilizó 100 litros de muestras de agua de río Huertas para el estudio, el caudal de ingreso y salida fueron los mismo, el tiempo de retención fueron 15 días, la altura de las plantas (cola de caballo) indicando que se utilizaron de 65 cm y 15 plantas para el tratamiento 1 (T1), así mismo refiere las dimensiones de los prototipos de los humedales y los días de aclimatación de la planta y tiempo de actuación que fueron 10 y 15 días respectivamente.

Tabla 6

Resultado del preanálisis del agua del río Huertas

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	PREANÁLISIS			EVALUACIÓN
		RESULTADOS DE LABORATORIO		ECA – AGUA, D.S. N° 004-2017-MINAM.	
		TO-I (I.E. N.° 2409-642)	CATEGORÍA 3 (D1)	CATEGORÍA 4 (E2: RÍOS) COSTA Y SIERRA	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	0.68	15	10	Cumple
pH	Unid. de pH	8.7	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	Cumple
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	7.18	≥ 4	≥ 5	Cumple
Conductividad	µS/cm	80.54	2500	1000	Cumple
Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	40	**	Cumple

Cobre	mg/L	0.006	0.2	0.1	Cumple
Zinc	mg/L	0.310	2	0.12	No cumple con la categoría 4

Nota. La tabla muestra los resultados del preanálisis del agua del río Huertas. Esto de acuerdo a los resultados de laboratorio (Informe de Ensayo N° 2409-642 (01/10/2024) del laboratorio GREEN LAB PERU S.A.C.) véase anexo 10.1. Donde:

* TO-I: Muestra inicial del agua del río Huertas; D.S. N.° 004-2017-MINAM: Decreto Supremo que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias; Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales; D1: Riego de vegetales; Categoría 4: Conservación del ambiente acuático; E2: Ríos (Costa y Sierra); ** Significa que no corresponde los niveles establecidos.

Descripción: La tabla 6 presenta los resultados del pre análisis del agua del río Huertas (TOI), de acuerdo a su unidad de medida y por parámetro de estudio comparados con los valores fijados por el ECA – AGUA, D.S. N° 004-2017-MINAM, para categoría 3 y 4. Las cuales de acuerdo a la evaluación presentado en la columna 6 cumplen para categoría 3 y 4, a excepción del zinc con 0.310 mg/L la misma que sobrepasa el ECA que es de 0.12 mg/L, para categoría 4. Así mismo los valores obtenidos de pH fueron 8.7 por lo que están dentro del rango de 6.5 a 9.0 establecido por el ECA, en cuanto a OD se obtuvo 7.18 mg/L la cual sobre pasa los valores mínimos establecido por el ECA, que es ≥ 4 mg/L para categoría 3.

Tabla 7

Resultado del análisis del agua después de la fase experimental

Parámetros	Unidad	Análisis Después De La Fase Experimental					RESULTADO	D.S. N° 004-2017-MINAM	Evaluación
		RESULTADOS DE LABORATORIO (I.E. N.° 2412-1235)							
		TO-GC	T1-A	T1-B	T1-C	T1-D			
	Medida						T1 (Tratamiento 1)	ECA – Agua categoría 3 (D1)	

Demanda											
Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	15		Cumple (TO-GC, T1)
pH	Unidad de pH	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65	6.5 a 9.0	Cumple (TO-GC, T1)
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	7.18	7.18	7.18	7.18	7.18	7.18	7.18	7.18	≥ 4	Cumple (TO-GC, T1)
Conductividad	μS/cm	80.54	80.54	80.54	80.54	80.54	80.54	80.54	80.54	2500	Cumple (TO-GC, T1)
Demanda química de Oxígeno (DQO)	mg/L	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	40	Cumple (TO-GC, T1)
Cobre	mg/L	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.2	Cumple (TO-GC, T1)
Zinc	mg/L	0.0654	0.0654	0.0654	0.0654	0.0654	0.0654	0.0654	0.0654	2	Cumple (TO-GC, T1)

Nota. La tabla 7, exhibe los hallazgos del análisis de agua después de la fase experimental. Esto de acuerdo a los resultados de laboratorio (Informe de Ensayo N° 2412-1235 (07/01/2025) del laboratorio GREEN LAB PERU S.A.C.) véase anexo 10.2. Donde:

* TO-GC: Grupo Control (Humedal artificial de flujo vertical); T1: Tratamiento 1 (Humedal artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo); (A, B, C, D, E) muestra A; muestra B; muestra C; Muestra D; muestra E; Resultado Promedio: El valor promedio de los resultados del T1 por parámetro.

Descripción: La tabla 7 presenta el análisis después de la fase experimental (Resultados de laboratorio: I.E. N.° 2412-1235), de acuerdo a su unidad de medida y por parámetro de estudio, se presentan 1

resultado por parámetro del TO-GC (Grupo Control) ya que se analizó 1 muestra de dicho grupo, del T1 (Tratamiento 1) se analizó 5 muestras (T1-A, T1-B, T1-C, T1-D, T1-E) por lo que se presenta 5 resultados por parámetro, considerando ello se sacó un valor promedio de T1, la misma que se presenta en la columna 9, dichos resultados del TO-GC y el promedio de T1 fueron comparados con los valores establecidos por el ECA – AGUA, D.S. N° 004-2017-MINAM, para categoría 3, las cuales cumplen en su totalidad.

Tabla 8

Porcentaje de remoción después de la fase experimental

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADO				
		PREANÁLISIS		RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL AGUA DESPUÉS DE LA FASE EXPERIMENTAL		
		IS: TO-I (I.E. N.° 2409-642)	GRUPO CONTROL: TO - GC (I.E. N.° 2412-1235)	% DE REMOCIÓN	RESULTADO O PROMEDIO T1	% DE REMOCIÓN
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	0.68	< 1	+ 47.06 %	< 1	+ 47.06 %
pH	Unid. de pH	8.7	7.65	- 12.07 %	7.65	- 12.07 %
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	7.18	7.18	0.00 %	7.18	0.00 %
Conductividad (C.E.)	µS/cm	80.54	80.54	0.00 %	80.54	0.00 %
Demanda química de	mg/L	10	10	0.00 %	6.2	- 38.00 %

Oxígeno (DQO)					-	-
Cobre	mg/L	0.006	0.005	16.67	0.0016	73.33
				%		%
Zinc	mg/L	0.310	0.308	-0.65	0.0654	78.90
				%		%

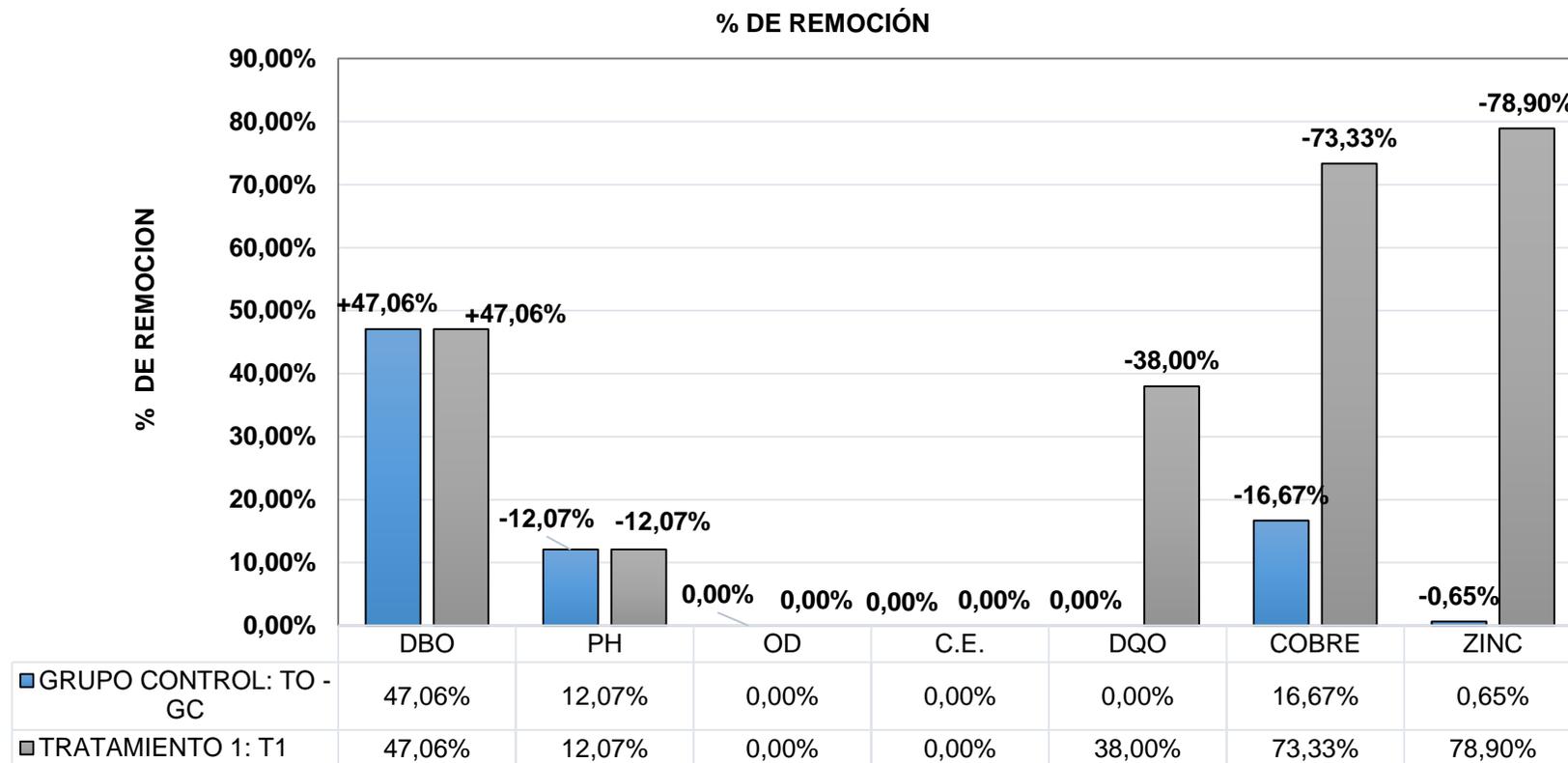
Nota. La tabla presenta los resultados del análisis de agua después de la fase experimental. Esto de acuerdo a los resultados de laboratorio (Informe de Ensayo N° 2412-1235 (01/10/2024) y el Informe de Ensayo N° 2409-642 (07/01/2025) del laboratorio GREEN LAB PERU S.A.C.) véase el anexo 10.1 y el 10.2. Donde:

* TO-I: Muestra inicial del agua del río Huertas; TO-GC: Grupo Control (Humedal artificial de flujo vertical); T1: Tratamiento 1 (Humedal artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo); Resultado Promedio: El valor promedio de los resultados del T1 por parámetro; % de remoción: % de remoción por tratamiento y parámetro.

Descripción: La tabla 8 presenta los porcentajes de remoción después de la fase experimental, de acuerdo a su unidad de medida y parámetro de estudio, se presentan en la tercera columna los resultados del preanálisis (TO-I), en la cuarta TO-GO (grupo control) y en la quinta su % de remoción para DBO se produjo un aumento de + 47.06 %, para pH -12.07 %, para cobre -16.67 %, para Zinc -0.65 %. El resultado promedio de T1 se presenta en la columna 6 y en la siguiente su % de remoción, presentando mayor % de disminución para los DQO, Cobre y Zinc.

Figura 4

Porcentaje de remoción después de la aplicación de los tratamientos



Nota. La figura muestra el % de reducción por tratamiento.

Descripción: La tabla 8 y figura 4, presenta el % de remoción después de la fase experimental, para grupo de control (TO-GC) lo siguiente: DBO: + 47.06 %; pH: -12.07 %; OD, Conductividad y DQO: 0.00 %; Cobre: -16.67 %; Zinc: -0.65 %. Así mismo para el T1 (Tratamiento 1) lo siguiente: DBO: + 47.06 %; pH: -12.07 %; OD y Conductividad: 0.00 %; DQO: -38.00 %; Cobre: -73.33 %; Zinc: -78.90 %. Indicando que el tratamiento 1 (T1) presenta mejores resultados.

Tabla 9

Resumen del procesamiento de datos por tratamiento y parámetro

Muestras De Agua	Parámetros	Unidad De Medida	Media	Desviación Estándar	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
PREANÁLISIS Y DESPUÉS DE LA FASE EXPERIMENTAL	DQO	mg/L	0.8933	0.18475	0.10667	0.68	1.00
	pH	Unid. de pH	8.0000	0.60622	0.35000	7.65	8.70
	OD	mg/L	7.1800	0.00000	0.00000	7.18	7.18
	Conductividad	µS/cm	80.5400	0.00000	0.00000	80.54	80.54
	DQO	mg/L	8.7333	2.19393	1.2667	6.20	10.00
	Cobre	mg/L	0.004200	0.0023065	0.001317	0.0016	0.0060
	Zinc	mg/L	0.227800	0.1406461	0.0812021	0.0654	0.3100

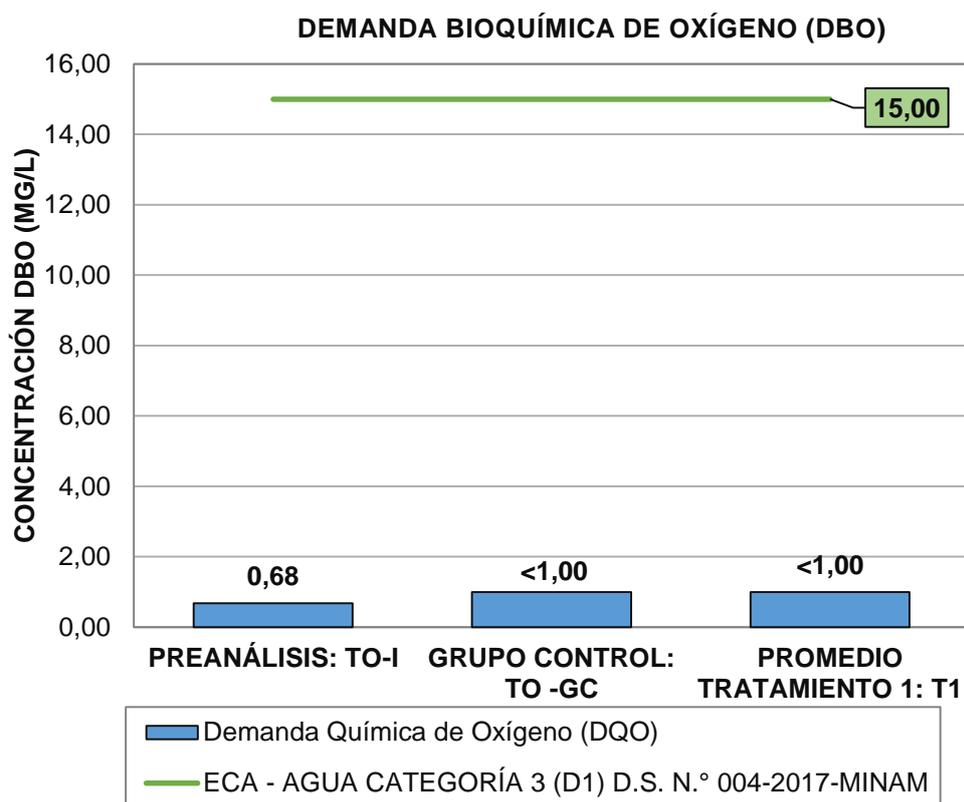
Nota. La tabla muestra los datos de variabilidad con respecto a la media de los resultados del preanálisis y después de la fase experimental, por lo que presenta el resumen de los procesamientos de datos por parámetro de estudio.

Descripción: La tabla 9 presenta distintos resultados como la media, desviación estándar, error estándar, límite inferior y superior, de los resultados del preanálisis y después de la fase experimental de los parámetros de estudio, donde se puede apreciar la variabilidad de los datos en relación a la media siendo el de cobre el de valor mínimo con 0.004200 y el más alto Conductividad con 80.5400, seguido por el DQO 8.7333.

4.1.2. RESULTADOS COMPARADOS CON EL ECA AGUA-CATEGORÍA 3 (D1) APROBADO POR EL D.S. N.º 004-2017-MINAM

Figura 5

Resultados del DBO en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1)

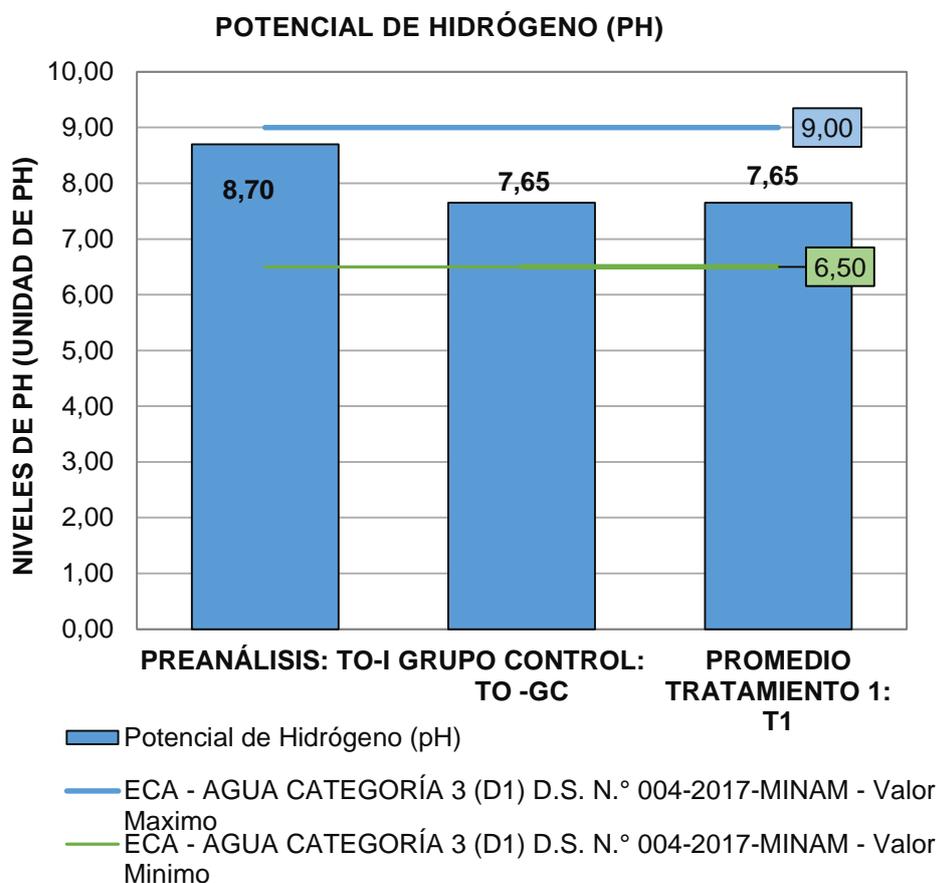


Nota. La figura muestra los resultados del DBO de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1, comparados con el ECA – Agua categoría 3 (D1).

Descripción: Las tablas 6, 7, 8 y figura 5, presentan los resultados del DBO de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1; donde se evidencia que el TO-I con (0.68 mg/L) es el valor más bajo, por otro lado, el TO-GC y el promedio T1 con (<1.00 mg/L) presentan los valores más altos. Cabe referir que ninguno sobre paso el ECA respectivo. Así mismo el TO-GC y el T1 aumentaron un +47.06% del valor inicial del DBO.

Figura 6

Resultados del pH en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1)

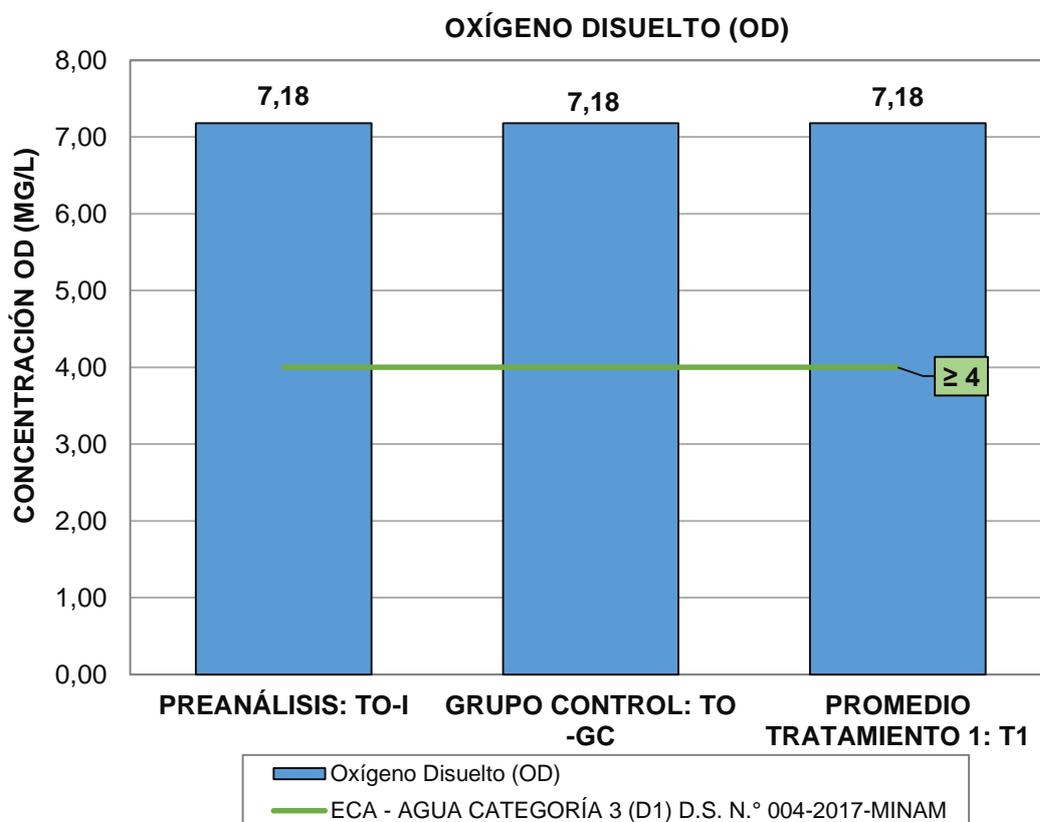


Nota. La figura muestra los resultados del pH de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1, comparados con el ECA – Agua categoría 3 (D1).

Descripción: Las tablas 6, 7, 8 y figura 6, presenta los resultados del pH de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1; donde se evidencia que el T0-I con (8.70) es el valor más alto, por otro lado, el TO-GC y el promedio T1 con (7.65) presentan los valores más bajos. Cabe referir que dichos resultados están dentro de los valores establecidos en el ECA respectivo. Así mismo el TO-GC y el T1 disminuyeron un -12.07% del valor inicial del pH.

Figura 7

Resultados del OD en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1)

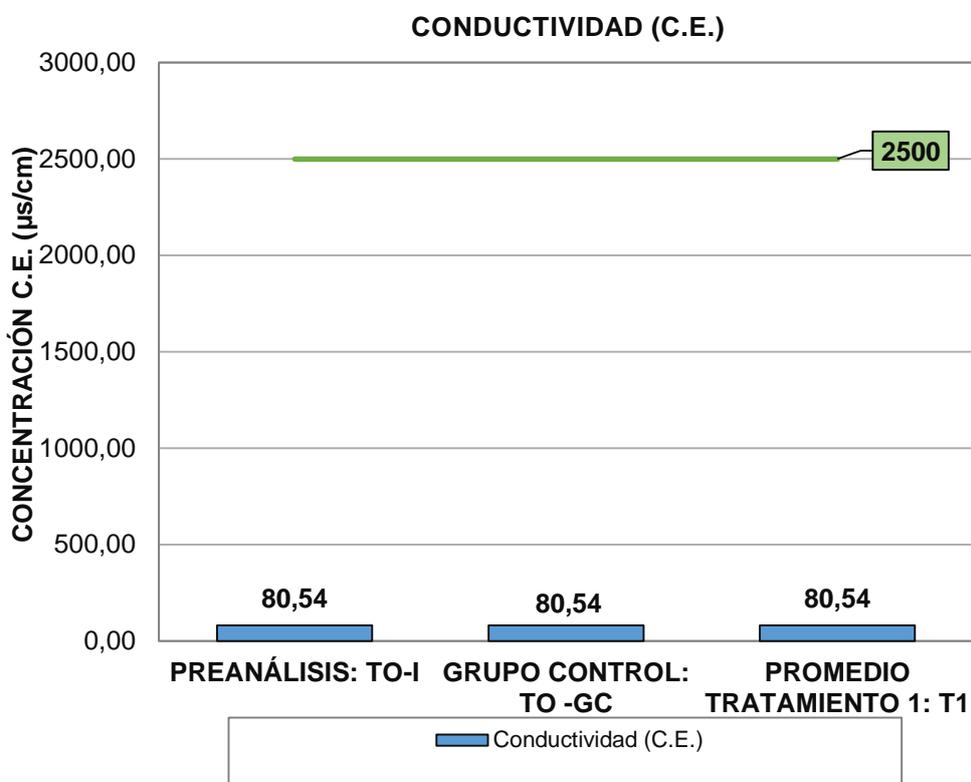


Nota. La figura muestra los resultados del OD de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1, comparados con el ECA – Agua categoría 3 (D1).

Descripción: Las tablas 6, 7, 8 y figura 7, presenta los resultados del OD de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1; donde se evidencia que el T0-I, TO-GC y el promedio T1 presentan el mismo resultado (7.18 mg/L). Cabe referir que dichos valores cumplen con el ECA respectivo. Así mismo presentan el 0.00 % de disminución del valor inicial del OD.

Figura 8

Resultados de la Conductividad (C.E.) en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1)

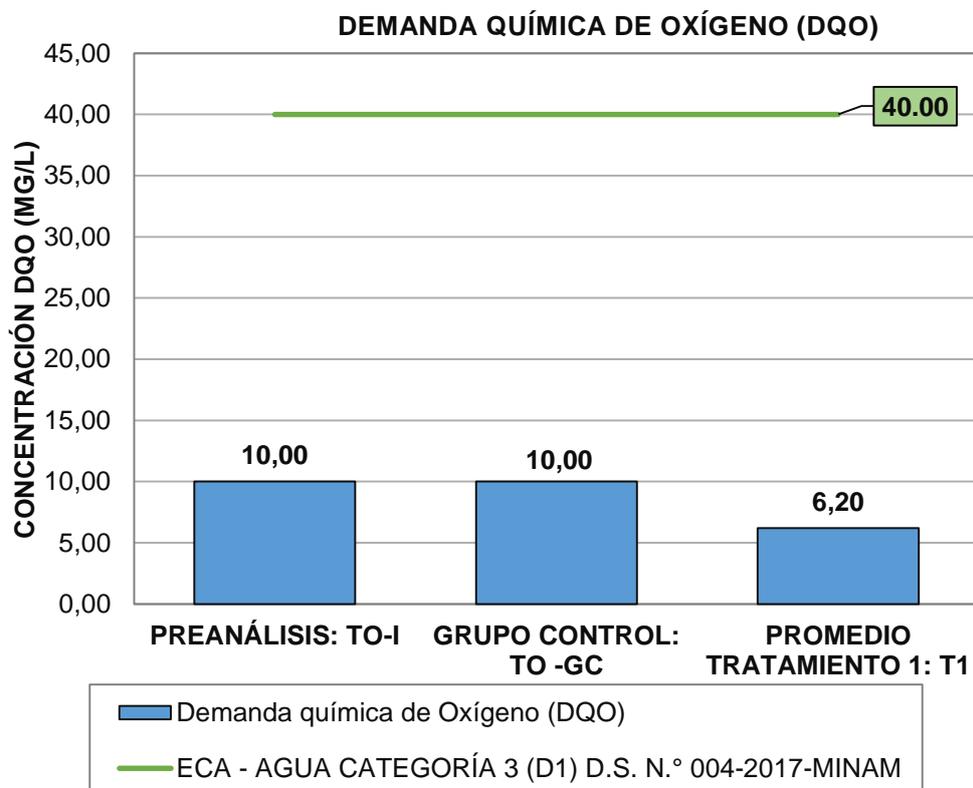


Nota. La figura muestra los resultados de la Conductividad (C.E.) de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1, comparados con el ECA – Agua categoría 3 (D1).

Descripción: Las tablas 6, 7, 8 y figura 8, presenta los resultados de la Conductividad (C.E.) de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1; donde se evidencia que el T0-I, TO-GC y el promedio T1 presentan el mismo resultado (80.54 µs/cm). Cabe referir que dichos valores cumplen con el ECA respectivo. Así mismo presentan el 0.00 % de disminución del valor inicial de la Conductividad (C.E.).

Figura 9

Resultados de DQO en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1)

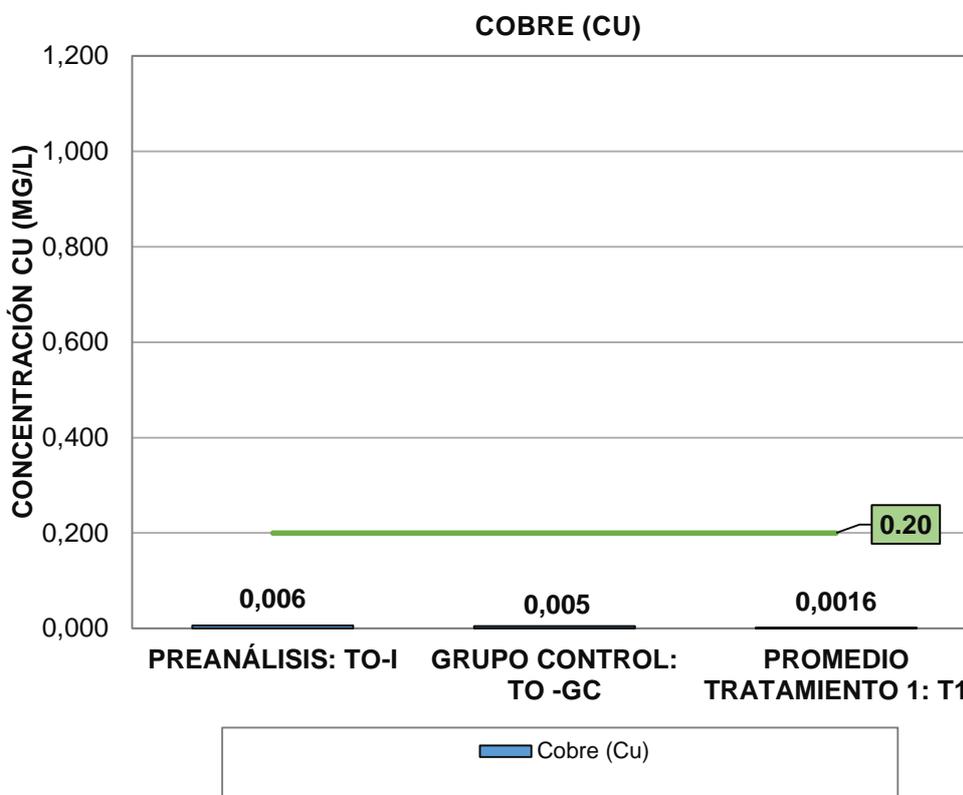


Nota. La figura muestra los resultados de DQO de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1, comparados con el ECA – Agua categoría 3 (D1).

Descripción: Las tablas 6, 7, 8 y figura 9, presenta los resultados de DQO de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1; donde se evidencia que el T0-I y el TO-GC presentan el mismo resultado de (10.00 mg/L) siendo el más alto, por otro lado, el promedio T1 con (6.20 mg/L) presentan el valor más bajo. Cabe referir que ninguno resultado sobrepasa el ECA respectivo. Así mismo el TO-GC presento el 0.00 % y el T1 presento un -38.00 % de disminución del valor inicial de DQO.

Figura 10

Resultados de cobre en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1)

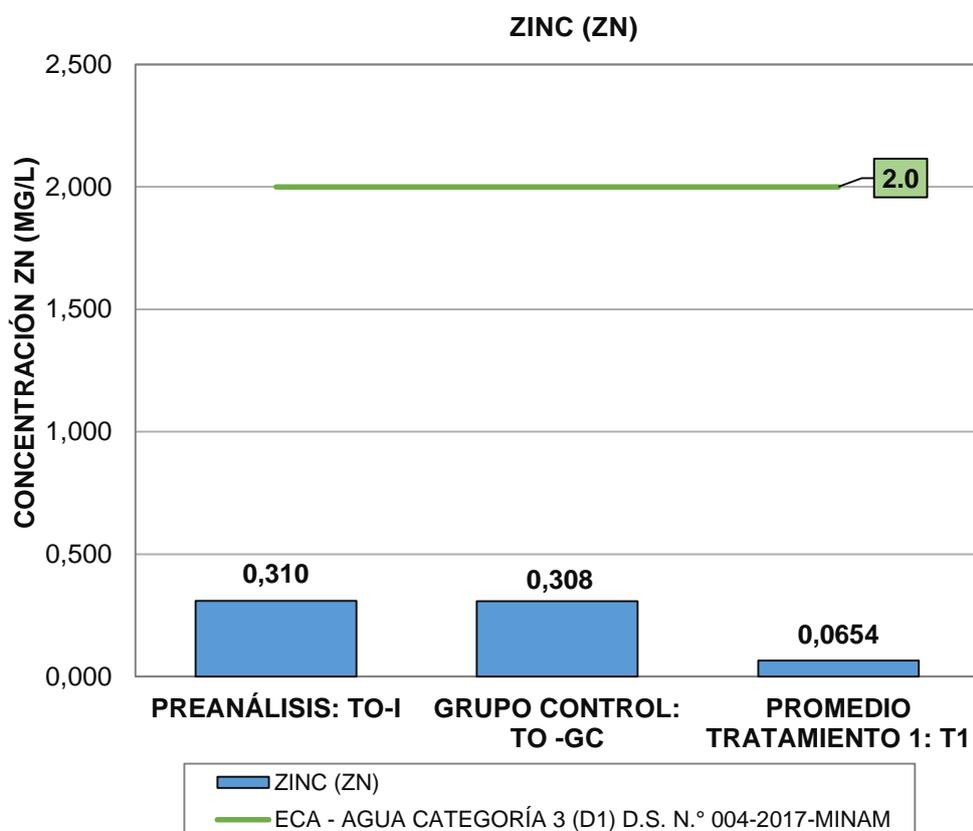


Nota. La figura muestra los resultados del Cu de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1, comparados con el ECA – Agua categoría 3 (D1).

Descripción: Las tablas 6, 7, 8 y figura 10, presenta los resultados del cobre (Cu) de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1; donde se evidencia que el T0-I con (0.006 mg/L) presenta el valor más alto, y el promedio T1 con (0.0016 mg/L) presentan el valor más bajo. Cabe referir que ninguno resultado sobrepasa el ECA respectivo. Así mismo el TO-GC presento un -16.67 % y el T1 presento un -73.33 % de disminución del valor inicial del cobre (Cu).

Figura 11

Resultados de zinc en comparación con el ECA – Agua categoría 3 (D1)

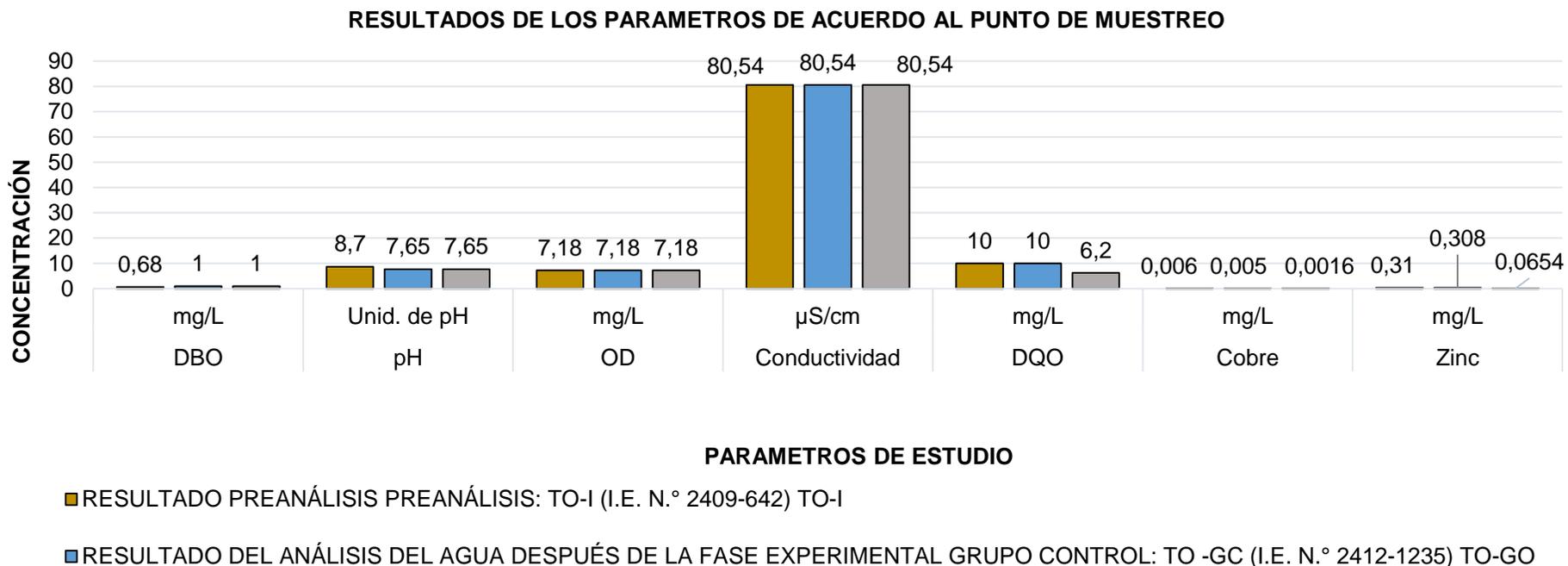


Nota. La figura presenta los resultados del zinc de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1, comparados con el ECA – Agua categoría 3 (D1).

Descripción: Las tablas 6, 7, 8 y figura 11, presenta los resultados del Cobre (Zn) de acuerdo a los resultados de laboratorio y al promedio del T1; donde se evidencia que el T0-I con (0.310 mg/L) presenta el valor más alto, y el promedio T1 con (0.0654 mg/L) presentan el valor más bajo. Cabe referir que ninguno resultado sobrepasa el ECA respectivo. Así mismo el TO-GC presento un -0.65 % y el T1 presento un -78.90 % de disminución del valor inicial del zinc (Zn).

Figura 12

Resultados de los parámetros de estudio de acuerdo al punto de muestreo



Nota. La figura 12 muestra los resultados de los parámetros de estudio de acuerdo a los puntos de muestreo establecidos.

Descripción: La figura 12 presenta los resultados de los parámetros de estudio de acuerdo al punto de muestreo, por lo que se considera una figura resumen de resultados obtenidos de acuerdo al análisis de laboratorio la cual permite las comparaciones.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS

Para contrastar la hipótesis, se llevó a cabo la prueba de normalidad, la prueba no paramétrica (Kruskal - Wallis) y complementariamente de manera descriptiva en función de la hipótesis general y específica.

Tabla 10

Prueba de normalidad en las mediciones usando la prueba de Shapiro-Wilk

PRUEBA DE NORMALIDAD			
PARÁMETROS	SHAPIRO-WILK		
	ESTADÍSTICO	GL	SIG.
DBO	0.385	3	0.000
pH	0.385	3	0.000
DQO	0.385	3	0.000
COBRE	0.302	3	0.417
ZINC	0.382	3	0.014

Nota. La tabla presenta la prueba de normalidad basándose en los resultados de laboratorio por parámetros de estudio. Donde:

* Esto es un límite inferior de la significación verdadera; * OD: Es constante se ha omitido; Conductividad es constante se ha omitido.

Descripción: La tabla 10 muestra la prueba de normalidad de los resultados según a los parámetros de estudio, por lo que se consideró los valores de la Sig. de Shapiro-Wilk (unidades analizadas menores a 50), donde se observa el valor de SIG., de los parámetros (DBO, pH, DQO, Zinc) el 80.00% de los datos no siguen una distribución normal (Sig. < a 0.05), por lo que toco para dichos parámetros realizar la prueba no paramétricas (Kruskal - Wallis). Estos tal como se muestran en las tablas del 5 al 10 respectivamente.

4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

- **Ha (hipótesis alterna):** El humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) remueve metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas.
- **H0 (hipótesis nula):** El humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) no remueve metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas.

a) Prueba no paramétrica:

Tabla 11

Prueba de Kruskal - Wallis de los parámetros de estudio (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc)

	HIPOTESIS NULA	PRUEBA	SIG.	DECISIÓN
1	La distribución de DBO es la misma entre las categorías de Puntos de muestreo.	Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes	0.368	Conserva la hipótesis nula
2	La distribución de pH es la misma entre las categorías de Puntos de muestreo.	Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes	0.368	Conserva la hipótesis nula
3	La distribución de OD es la misma entre las categorías de Puntos de muestreo.	Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes	1.000	Conserva la hipótesis nula
4	La distribución de Conductividad es la misma entre las categorías de Puntos de muestreo.	Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes	1.000	Conserva la hipótesis nula
5	La distribución de DQO es la misma entre las categorías de Puntos de muestreo.	Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes	0.368	Conserva la hipótesis nula
6	La distribución de Cobre es la misma entre las categorías de Puntos de muestreo.	Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes	0.368	Conserva la hipótesis nula

7	La distribución de Zinc es la misma entre las categorías de Puntos de muestreo.	Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes	0.368	Conserva la hipótesis nula
---	---	---	-------	----------------------------

Nota. La tabla muestra la prueba de Kruskal – Wallis de los parámetros (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc). Donde:

* Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es 0.05.

Descripción: La tabla 11, presenta el resultado de la prueba de Kruskal – Wallis de acuerdo a los parámetros de estudio:

- Se indica que los valores de SIG. (Significancia) Son mayores a 0.05 por lo tanto no existe diferencia estadística significativa al 5 %, entre los puntos de muestreo, TO-I: Muestras de agua del río Huertas; TO-GC: Grupo Control (Humedal artificial de flujo vertical); T1: Tratamiento 1 (Humedal artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo) ya que, se obtuvo los siguientes valores de Sig., de (0.368, 0.368, 1.000, 1.000, 0.368, 0.368, 0.368) para DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc, respectivamente siendo estos valores mayores a 0.05, por tanto, se refiere que la distribución de los valores es la misma entre las categorías de tratamiento, y se conserva la hipótesis nula (La distribución de DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre, y Zinc) es la misma entre las categorías de puntos de muestreo. Por lo que cabe recalcar que ello es de acuerdo a la prueba no paramétrica realizada (Prueba de Kruskal – Wallis).

b) Análisis descriptivo:

Descripción: La figura 4 y 12 muestra el % de remoción después de la aplicación de los tratamientos y los resultados de los parámetros de estudio de acuerdo a los puntos de muestreo establecidos (respectivamente), el T1: Tratamiento 1 (Humedal artificial de flujo vertical + la especie cola de caballo), presenta mejores resultados para: DBO aumento de 0.068 a 1.0 mg/L logrando un aumento de +47.06 %; pH disminuyo de 8.70 a 7.65 disminuyendo un -12.07 %; DQO disminuyo de 10.00 a 6.2 mg/L disminuyendo un -38.00 %; Cobre disminuyo de

0.006 a 0.0016 mg/L disminuyendo un -73.33 %; Zinc disminuyo de 0.310 a 0.0654 mg/L disminuyendo un -78.90 %.

- **Interpretación:** Considerando los resultados hallados y presentados, la hipótesis alterna (**Ha**) se acepta, por lo tanto, es conveniente mencionar que, el humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense L.*) remueve metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, así como también los parámetros de DBO, pH y DQO. Para constatar ello véase figura 4 y 12).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la investigación titulada “Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 - 2025”, por lo que se centró en evaluar si las especies cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) tienen alguna efectividad en la remoción del cobre y zinc del agua del Río Huertas.

La evaluación del humedal de flujo vertical construido con *Equisetum arvense* L. demostró una eficiencia significativa en la remoción de metales pesados, obteniendo una reducción del 73.33 % en cobre (Cu) y del 78.90 % en zinc (Zn). Estos valores evidencian una alta capacidad de fitorremediación por parte de la especie vegetal utilizada, así como una óptima configuración del humedal para condiciones locales. En comparación con estudios previos, en ese sentido, Ruíz (2020) en su investigación experimental con humedales de flujo horizontal sembrando con policultivo de *Heliconia psittacorum* y *Cyperus haspan*, logro reducir el DBO₅, DQO y SST, refiriendo que los sistemas de humedales son eficientes para los parámetros estudiados. En nuestra investigación, la especie cola de caballo + el humedal de flujo vertical mostro resultados positivos en la reducción del DQO, Cobre y Zinc. Asu vez concordante con Sucari (2022) en su estudio experimental con humedales artificiales utilizando Totorá e Ichu como removedores de As (metal pesado) obtuvo una remoción del 96%, concluyendo que las especies utilizadas lograron reducir los niveles de arsénico presente en efluentes de una minera. Reafirmando que las plantas junto a humedales artificiales remueven los metales pesados presente en el agua. Asimismo, Vizcarra (2021) en una investigación experimental con humedales de flujo sub vertical utilizando *dracaena sanderiana*, en dos meses logro eliminar la concentración de hierro y reducir la concentración de manganeso, Carhuaricra (2019) en su investigación experimental de fitodegradación en aguas residuales de una laguna facultativa, utilizando *limnobium laevigatum* en 39 horas logro disminuir los contaminantes del agua residual, concluyendo que los resultados que

obtuvo están por debajo del LMP para efluentes de una PTAR, al igual que Vizcarra (2021) concluyo que el método utilizado fue efectivo para la reducción de metales pesados en muestras de agua acidas, este comportamiento reafirma la eficiencia particular del *Equisetum arvense L.*, una planta adaptada a ecosistemas altoandinos, con elevada capacidad de absorción y acumulación de metales, como también lo han evidenciado Ponce (2023) y Huiza (2023)

Una investigación experimental de remoción de metales pesados con mucilago de *Opuntia ficus* Vargas (2019) logro reducir distintos metales pesados y 73.5% de turbidez del agua. Fernández et al. (2020) en su investigación experimental remoción de metales pesados con cascara de frutas, logro reducir el 96.36 del hierro, y 97.34 para el plomo. Por lo mismo que ambos concluyeron que la metodología utilizada removi6 los metales pesados presentes de sus muestras de agua, concordantes con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Hidalgo (2022) en remoción de cadmio de lodos residuales de una PTAR utilizando la electrorremediación por 8 horas con 15 voltios, logro la remoción del 84% de Cd, Concluyendo que la técnica utilizada logro la remoción de metales pesados. Todos los autores referidos concuerdan con los resultados hallados en la investigación experimental ya que se demostr6 la reducción de metales pesados (Cu y Zn) en 73.33 %; 78.90 %, respectivamente por lo que se cumpli6 con el objetivo de la investigación cumpliendo a la vez con lo referido por (Salas, 2018) los humedales artificiales, son una tecnología implantada a nivel mundial para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas. Son sistemas de depuración en los que se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes. Ya que la vegetación participa en la biodegradación, la filtración y la absorción de los compuestos que se encuentran en el agua residual (Pérez et al, 2022). Por lo que según los resultados y lo referido por (Navarro et al, 2020), los humedales de flujo vertical son atractivos debido a su capacidad de tratar aguas municipales crudas sin una sedimentación

primaria. Además, la reutilización del agua puede convertirse en una fuente de agua para otros usos.

Los resultados obtenidos al evaluar las características fisicoquímicas del agua del río Huertas previo y posterior del tratamiento mediante un humedal de flujo vertical con *Equisetum arvense* L. evidencian mejoras significativas en la calidad del agua. Se observó una neutralización del pH, que pasó de valores ligeramente ácidos a rangos más cercanos a la neutralidad, atribuido al efecto tampón del sustrato y la actividad rizosférica, en concordancia con lo reportado por Hidalgo (2022). Asimismo, se evidenció una reducción notable en el DQO, lo que implica una remoción eficiente de materia orgánica, tanto biodegradable como no biodegradable, mediante procesos de filtración, biodegradación y adsorción, resultados similares a los de Ruíz (2020) y Vizcarra (2021). Estos cambios reflejan la efectividad del humedal como tecnología ecológica en la mejora integral de la calidad del agua y resaltan el potencial del uso de especies autóctonas en soluciones sostenibles con el fin de tratar las aguas residuales.

CONCLUSIONES

Al culminar el trabajo de investigación, se alcanzó las siguientes conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados.

- Los resultados obtenidos confirman que el humedal de flujo vertical con cola de caballo es un sistema biológico efectivo para la remoción significativa de metales pesados en aguas superficiales contaminadas. La reducción del cobre en un 73.33 % y del zinc en un 78.90 % evidencia la capacidad conjunta de mecanismos biofísicos y bioquímicos en el humedal, donde la planta actúa como bioacumulador y el sustrato y microorganismos facilitan procesos de adsorción y transformación química de los metales. Este hallazgo representa un aporte valioso para el tratamiento de aguas en regiones andinas, con potencial para replicarse en contextos similares, aportando una alternativa sostenible y de bajo impacto ambiental frente a tecnologías convencionales de alto costo y consumo energético.
- La implementación y adaptación exitosa de *Equisetum arvense* en el sistema experimental se manifestó en el desarrollo adecuado de biomasa y la tolerancia al estrés inducido por metales pesados. Esto confirma que la especie posee mecanismos fisiológicos y bioquímicos que permiten la acumulación y tolerancia de cobre y zinc en sus tejidos, contribuyendo a su función fitorremediadora. La elección de esta planta nativa aporta un enfoque innovador y ecológicamente compatible para el diseño de humedales construidos en la región, promoviendo la conservación de la biodiversidad local y optimizando la eficiencia del sistema mediante la utilización de especies autóctonas o naturalizadas.
- La evaluación posterior al tratamiento evidenció una reducción significativa en la concentración de cobre, de 0.006 mg/L a 0.0016 mg/L, y de zinc, de 0.310 mg/L a 0.065 mg/L, indicando una alta eficiencia del humedal. Estos resultados resaltan la capacidad del sistema para lograr una remoción rápida y sostenida en un corto periodo, lo que es particularmente relevante para aplicaciones prácticas donde se requiere respuesta inmediata. La efectividad del humedal también sugiere que el

proceso de fitoremediación con cola de caballo puede actuar en sinergia con procesos fisicoquímicos del sustrato y la microbiota asociada, resultando en un sistema multifuncional capaz de mejorar la calidad del agua de manera integral.

- La evaluación de las características fisicoquímicas del agua del río Huertas antes y después del tratamiento mediante un humedal de flujo vertical con *Equisetum arvense* (cola de caballo) evidenció mejoras sustanciales en la calidad del recurso hídrico. El pH se estabilizó hacia la neutralidad, mientras que la conductividad eléctrica disminuyó significativamente, reflejando una reducción en la concentración de iones y, por tanto, de contaminantes disueltos. Asimismo, se registró un incremento en los niveles de oxígeno disuelto, lo cual sugiere una mayor capacidad del agua para sostener vida acuática y evidencia procesos de oxigenación promovidos por el humedal. Por otro lado, la notable disminución en la demanda química y biológica de oxígeno (DQO y DBO) indica una eficaz remoción de materia orgánica, atribuida a la actividad conjunta de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el sistema radicular de la planta utilizada.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el muestreo del agua del río huertas adecuadamente.
- Se recomienda realizar la construcción del prototipo del humedal de flujo vertical adecuadamente y con materiales óptimos, que garanticen un buen funcionamiento.
- Se recomienda utilizar buenos ejemplares de la planta de cola de caballo con una altura mayor a 65 cm, con mayor a 10 días de adaptación y con un tiempo de actuación en un humedal de flujo vertical mayor a 15 días.
- Se recomienda probar el sistema de recirculación previo a la puesta en marcha de la fase experimental, así como evaluar el flujo de entrada y de salida del caudal.
- Se recomienda realizar análisis periódicos de los parámetros de estudio, durante la fase experimental.
- Se recomienda realizar la fase experimental en un área aislada de la luz solar y que esta pueda brindar las mismas condiciones a todos los grupos experimentales durante dicha fase.
- Se recomienda realizar estudios complementarios aumentando los parámetros físicos, químicos, microbiológicos e inorgánicos (metales pesados) distintos a los que se realizó en este estudio.
- Se recomienda realizar estudios de humedales artificiales de flujo vertical con distintas especies de plantas fitorremediadoras en humedales y compararlas con planta cola de caballo (*Equisetum arvense L.*).
- Realizar investigaciones fortalecer e incrementar las investigaciones locales sobre la remoción de metales pesados en el agua y/o similares que mitiguen la problemática a la contaminación del agua y demás componente del medio ambiente.

- A las autoridades competentes se les recomienda y solicita el cumplimiento de la ley general del ambiente (Ley 28611) la misma que refiere: Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfayate, J. M., Orosco, C., Pérez, A., González, N., & Rodríguez, F. (2004). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química: Una visión desde la química*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Ayala, J. I. (2020). *Remoción de arsénico y metales mediante humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial identificación de sumideros y asociación de los contaminantes en la fase sólida* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/174779>
- Ayme, M. V., & Ramos, M. C. (2020). *Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes como sorbentes de plomo, cobre y zinc en el tratamiento de aguas residuales* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62605>
- Bedriñana, D. C. (2023). *Eficiencia en la remoción de los contaminantes de aguas residuales de un humedal artificial con Phragmites australis y Alocasia odora* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112339>
- Belling, M. (2015). Río Huallaga está contaminado con metales pesados y sólidos suspendidos. *Revista ProActivo*. <https://proactivo.com.pe/rio-huallaga-esta-contaminado-con-metales-pesados-y-solidos-suspendidos/>
- Carhuaricra, P. (2019). *Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, limnobium laevigatum y eichhornia crassipes para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa* [Tesis, Universidad de Huánuco]. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1598>
- Cayetano, P. (2019). *Tecnologías para la Recuperación de Agua Contaminada con Metales Pesados: Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico* (p. 64). Instituto Nacional de Salud.
- Domínguez, M. C., Gómez, S., & Ardila, A. (2016). Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera. *UGCiencia*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.18634/ugcj.22v.1i.705>

- Fernández, M., Florez, D., Yactayo, M., Lovera, D., Quispe, J., Landauro, C., & Pardave, W. (2020). Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras de frutas. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.15649/2346030X.627>
- García, P., Fernández, R., & Cirujano, S. (2009). *Habitantes del agua. Macrófitos*. Agencia Andaluza del Agua.
- Guerrero, S. E. P., Benítez, R. B., Villa, R. A. S., & Corredor, J. A. G. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), Article 27. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Hidalgo, D. D. (2022). *Remoción de cadmio (Cd) por electroremediación de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2292>
- Iagua. (2020). ¿Qué es el agua? Iagua; Iagua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua>
- León, B. (2012). *La cola de caballo (Equisetum, Equisetaceae) comercializada y exportada del Perú*. 3(19). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332012000300018
- Lerma, H. D. L. (2016). *Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto* (Quinta Edición). Ecoe Ediciones.
- Marnane, I. (2018). *El mercurio, una amenaza persistente para el medio ambiente y la salud*. 6.
- Mendoza, O. (2017). *Metales pesados y el agua de consumo en Colima*. Universidad de Colima.
- Mendoza, O. (2017). *Metales pesados y el agua de consumo en Colima Una cuestión de salud pública*. UCOL.
- MINAM (2013). D.S. N.° 002-2013-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.
- MINAM (2017) D. S. N.° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

- Navarro, A. E., Beissos, F., Marc-Bec, J., & Jaumejoan, T. (2020). Desempeño de humedales construidos de flujo vertical en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Cubana de Química*, 32(3), 365-377.
- Neyra, C., Rojas, J. M., & Rodas, C. (2021). *Metales Pesados*. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/coloquio/article/download/429/634/997>
- Orozco, C., Cruz, A., & Rodríguez, M. (2006). *Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria en el proceso de beneficiado de café*. 6, 190-196.
- Pérez, Y. A., Cortés, D. A. G., & Haza, U. J. J. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: Una revisión: *Ecosistemas*, 31(1), Article 1. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2279>
- Quiroz, G. M., & Ambrosio, B. L. (2021). *Fitorremediación de aguas contaminadas con mercurio utilizando Eichhornia crassipes*, [Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/28971>
- Ruíz, F. A. (2020). *Uso de humedales construidos subsuperficiales de flujo horizontal sembrados con policultivos de especies nativas bajo condiciones del trópico americano para la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y metales pesados de lixiviados de relleno sanitario* [Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/17942>
- Salas, J. J. (2018, julio 2). *Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>
- Sucari, A. (2022). *Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu)* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2445>
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* (2.^a ed.). SuSanA.

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnologia%20de%20saneamiento.pdf

Valencia, C. H. (2016). *Aguas residuales: Una visión integral*. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Vargas, S. V. (2019). *Remoción de metales pesados de agua del Río Yautepec utilizando mucílago de Opuntia ficus-indica* [Instituto Politécnico Nacional].
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/27366>

Vizcarra, V. J. (2021). *Evaluación de eficiencia en la reducción del hierro, manganeso y sulfatos contenidos en una muestra de aguas ácidas, tratada mediante un humedal de flujo sub superficial horizontal con la especie dracaena sandariana como componente vegetativo* [Universidad Nacional de Ingeniería].
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3267297>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Sullca Ferrer, I. (2025). *Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (Equisetum arvense L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 - 2025* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título de la investigación: Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del Río Huertas, Ambo, Huánuco 2024 - 2025

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables/dimensiones	Metodología
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) en la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del Río Huertas, Ambo Huánuco? <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el tiempo de adaptación de la especie cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) en el humedal de flujo vertical? ¿Cuál es la capacidad remoción de cobre (Cu) y Zinc (Zn) del río Huertas mediante un humedal de flujo vertical usando cola de caballo? ¿Cuáles son las características generales de agua procedente del río Huertas antes y después 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluar la eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) en la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del Río Huertas, Ambo, Huánuco. <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Evaluar el tiempo de adaptación de la especie cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) en el humedal de flujo vertical. Evaluar la remoción de cobre (Cu) y Zinc (Zn) del río Huertas mediante un humedal de flujo vertical usando cola de caballo. Evaluar las características generales de agua 	<ul style="list-style-type: none"> Ha: EL humedal de flujo vertical usando cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) remueve metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas Ambo, Huánuco - 2023. H0: EL humedal de flujo vertical usando cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) no remueve metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas Ambo, Huánuco - 2023. 	<ul style="list-style-type: none"> Variable dependiente <p>Remoción de metales pesados</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cobre - Zinc - pH - CE - DBO - DBQ <ul style="list-style-type: none"> Variable independiente <p>Humedal de flujo vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caudal - THR 	<p>Tipo: Puesto que se tuvo de manera intencional la manipulación de las variables (Lerma, 2016).</p> <p>Enfoque: Cuantitativo, además se usó de la estadística (Lerma, 2016).</p> <p>Alcance: explicativo, es decir se modifica de manera intencional el estado de la variable con una intervención (Lerma, 2016).</p> <p>Diseño: Experimental puesto que se aísla la variable independiente de interés.</p> <p>Población: Se considero población a las aguas procedentes del río Huertas, Ambo, del mes de setiembre del 2024.</p> <p>Muestra: Constituyo de un total de 150 Litros de aguas procedentes del río Huertas,</p>

de someterlo al humedal de flujo vertical usando cola de caballo?

procedente del rio Huertas antes y después de someterlo al humedal de flujo vertical usando cola de caballo.

Ambo, a las cuales se realizó el preanálisis de los parámetros de estudio (DBO, pH, OD, Conductividad, DQO, Cobre y Zinc), luego se utilizó en la fase experimental por grupo establecido (grupo control y tratamiento 1) por lo que se recolectaron muestras de agua después de la fase experimental 1 muestra del grupo control (TO-GC) y 5 muestras del tratamiento 1 (T1) las cuales fueron enviadas a laboratorio para el análisis de los parámetros detallados anteriormente. Por lo que se mandó un total de 7 muestras al laboratorio.

Nota. El anexo 1, muestra la matriz de consistencia del proyecto de investigación la misma que contiene (Problema de investigación, Objetivos, Hipótesis, Variables, Dimensión, indicadores y población y muestra).

ANEXO 2

FICHA N.º 1: PARA EL MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DEL AGUA (PUNTO DE MUESTREO 1)

Investigación titulada: "Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco - 2024".							
Nº DE MUESTRA	PARÁMETROS DEL AGUA						
	METALES PESADOS		FISICOQUÍMICOS				
	COBRE	ZINC	PH	TURBIEDAD	SST	DBO	DQO
1	X	X	X	X	X	X	X
2	 						X
Observaciones: Procedencia: Rio Huertas - Ambo - Huánuco Se realizó el muestreo el 15/09/24 = 08:40 am con muestra = T0-I - Agua natural, Agua superficial coordenadas: E: 0365853 N: 8878099 → los parámetros de este tipo se definen en el No. de muestra 1,							

ANEXO 3

ETIQUETA PARA LAS MUESTRAS DE AGUA

ETIQUETA PARA LAS MUESTRAS DE AGUA
Punto de Monitoreo 1 - TO-I

ETIQUETA PARA MUESTREO DE AGUA			
Solicitante/cliente: Ines Laleska Sulca Ferrer			
Nombre del laboratorio: Green Lab Perú S.A.C			
Código del punto de monitoreo: TO-I			
Tipo de cuerpo de agua: Agua Natural - Superficial			
Fecha de muestreo: 15/04/24		Hora: 08:40	
Muestreado por: Ines Laleska Sulca Ferrer			
Parámetro requerido: DBO, PH, OD, C.E., DBO, Cobre, Zinc			
Preservada	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	Tipo reactivo: -

ETIQUETA PARA LAS MUESTRAS DE AGUA
Punto de monitoreo 2 - TO-GC - Grupo control

ETIQUETA PARA MUESTREO DE AGUA			
Solicitante/cliente: Ines L. Sulca Ferrer			
Nombre del laboratorio: Green Lab. Perú S.A.C.			
Código del punto de monitoreo: TO-GC - Grupo control			
Tipo de cuerpo de agua: Agua Natural - S.			
Fecha de muestreo: 28/12/24		Hora: 13:59	
Muestreado por: Ines L. Sulca Ferrer			
Parámetro requerido: DBO, PH, OD, C.E., DBO, cobre y Zinc			
Preservada	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	Tipo reactivo: - -

ETIQUETA PARA LAS MUESTRAS DE AGUA
Punto de Monitoreo 2 - TI-B - Tratamiento 2

ETIQUETA PARA MUESTREO DE AGUA			
Solicitante/cliente: Ines L. Sulca Ferrer			
Nombre del laboratorio: Green Lab. Perú SAC			
Código del punto de monitoreo: TI-B - Tratamiento 2			
Tipo de cuerpo de agua: Agua Natural - S.			
Fecha de muestreo: 28/12/24		Hora: 14:02	
Muestreado por: Ines L. Sulca Ferrer			
Parámetro requerido: DBO, PH, OD, C.E., DBO, cobre y Zinc			
Preservada	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	Tipo reactivo: - -

ANEXO 4

FICHA N.º 2: PARA LA EVALUACION DE LAS PLANTAS DE COLA DE CABALLO

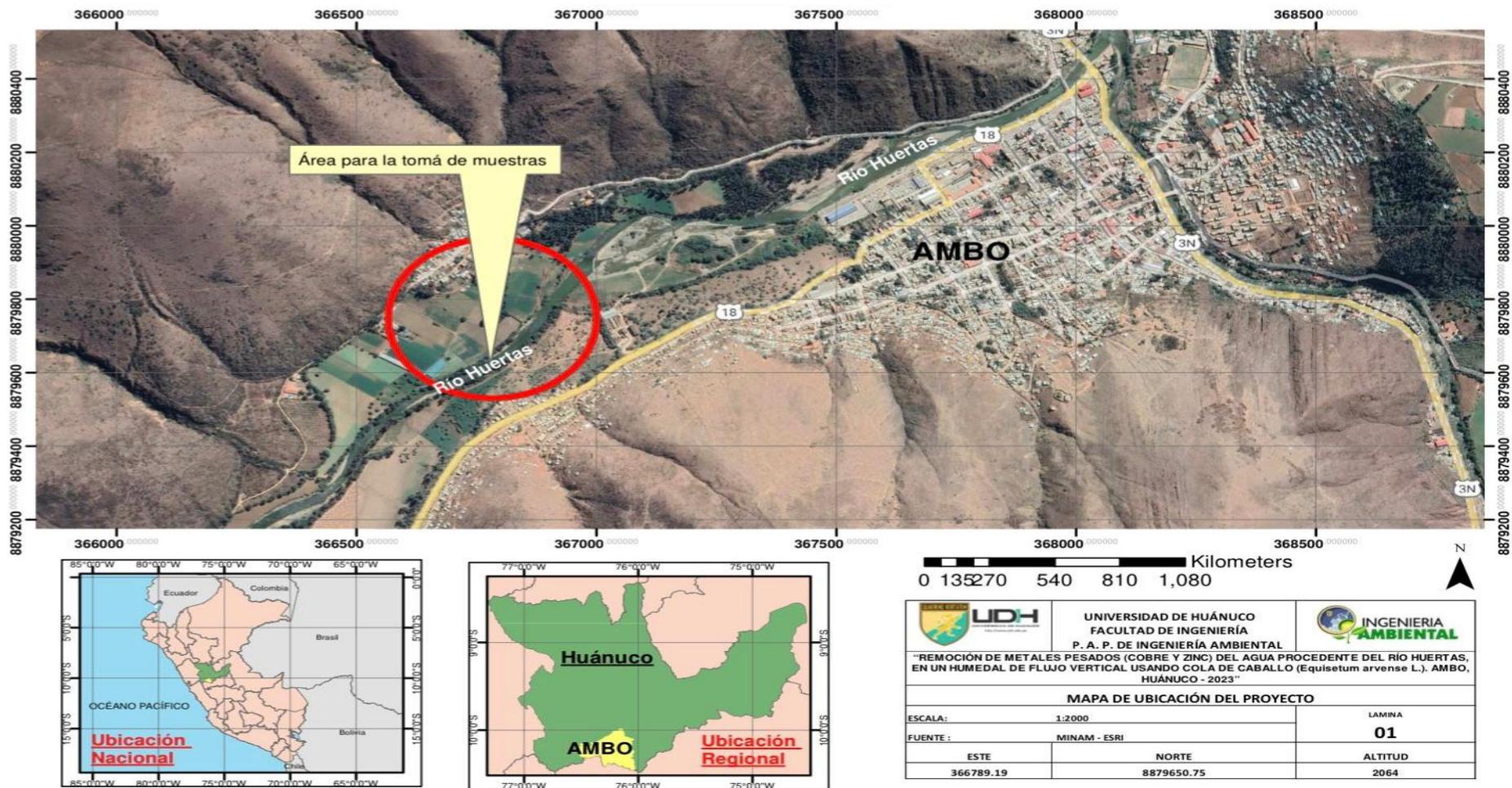
Investigación titulada: "Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco - 2024".							
Lugar donde se realiza la investigación: C.P. Vichayaco - Conchamarca							
Distrito: Conchamarca		Provincia: Ambo			Departamento: Hco		
FECHA Y HORA	GRUPO DE EVALUACIÓN		DÍAS DE ADAPTACIÓN		DETALLES DE LAS PLANTAS		Detalles complementarios y acciones realizadas durante el tiempo de adaptabilidad:
	GRUPO EXPERIMENTAL	GRUPO CONTROL	DENTRO DEL HUMEDAL		ALTURA PROMEDIO	NUMERO DE PLANTAS	
			Si <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>			
07/12/24 09:30 am	X			2	65 cm	15	Se Humedeció el sustrato en su totalidad
08/12/24 09:30 am	X			6	65 cm	15	Se Humedeció las plantas y el sustrato en su totalidad.
18/12/24 14:00 pm	X			5	65 cm	15	Se midió el parámetro PH y conductividad 464 C.E y PH 8.6, T° 17.7°
23/12/24 11:00 am	X			10	65 cm	15	Se midió el parámetro PH y conductividad 7187 pH, 1068 C.E.
28/12/24 10:00 am	X			15	65 cm	15	Se midió el parámetro PH y conductividad PH 7.85, 1073 C.E. T 24.08
Observaciones: La Medición inicial de PH fue 8.7, 465 conductividad, T° 23.4°C todo lo caso experimental se realiza en las mismas condiciones							

ANEXO 5

FICHA N° 3: PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Investigación titulada: "Eficiencia de un humedal de flujo vertical usando cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i> L.) para la remoción de metales pesados (cobre y zinc) del río Huertas, Ambo, Huánuco - 2024".													
Detalles del lugar de muestreo: C.P. Vichaycoto - conchomarca													
Distrito: conchomarca			Provincia: Ambo				Departamento: Hco						
Tipo de Muestra: Agua Superficial													
FECHA Y HORA DE LA RECOLECCIÓN	GRUPO DE EVALUACIÓN		NUMERO DE MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	PARÁMETROS A ANALIZAR							
	GRUPO EXPERIMENTAL	GRUPO CONTROL				COBRE	ZINC	PH	TURBIEDAD	CE	SST	DBO	DQO
28/12/24 13:59		X	01	1.5L	TO-GC	X	X	X	X	X	X	X	X
28/12/24 13:58	X		01	1.5L	TI-A	X	X	X	X	X	X	X	X
28/12/24 14:03	X		01	1.5L	TI-B	X	X	X	X	X	X	X	X
28/12/24 14:05	X		01	1.5L	TI-C	X	X	X	X	X	X	X	X
28/12/24 14:08	X		01	1.5L	TI-D	X	X	X	X	X	X	X	X
28/12/24 14:01	X		01	1.5L	TI-E	X	X	X	X	X	X	X	X
Observaciones: Las muestras fueron recolectadas en el punto de muestreo 2, donde se ubica el creu acondicionado para la fase experimental (Grupo de control y tratamiento 1). → Se indica que la fase experimental se realizó en 15 días calendario.													

ANEXO 7 MAPA DE UBICACIÓN



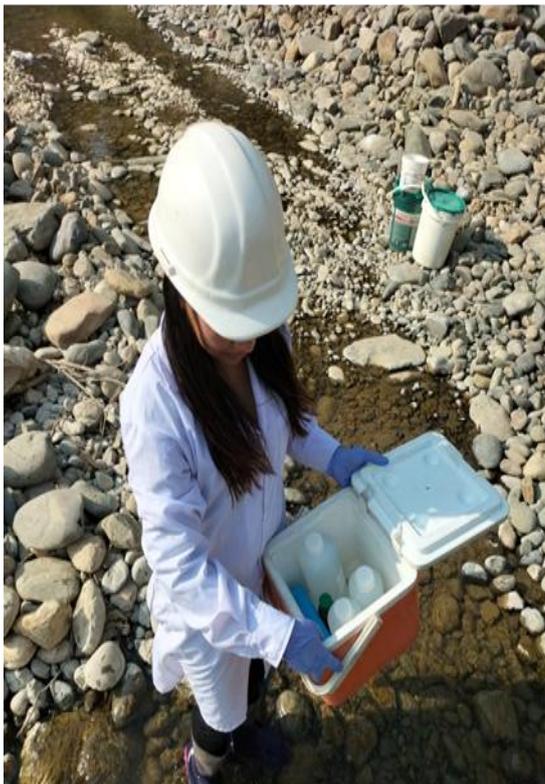
		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA P. A. P. DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
"REMOCIÓN DE METALES PESADOS (COBRE Y ZINC) DEL AGUA PROCEDENTE DEL RÍO HUERTAS, EN UN HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL USANDO COLA DE CABALLO (Equisetum arvense L.), AMBO, HUÁNUCO - 2023"					
MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO					
ESCALA: 1:2000			LAMINA		
FUENTE: MINAM - ESRI			01		
ESTE		NORTE		ALTITUD	
366789.19		8879650.75		2064	

ANEXO 8

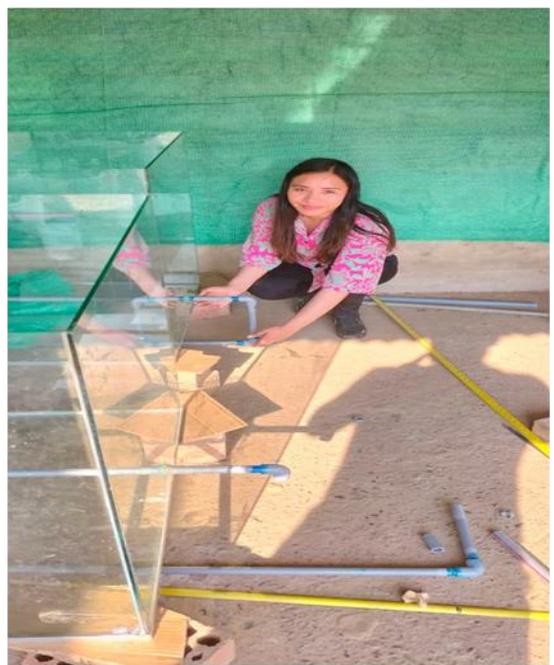
MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO



ANEXO 9
9.1. PANEL FOTOGRÁFICO DE LA TOMA INICIAL DE
MUESTRA DE AGUA



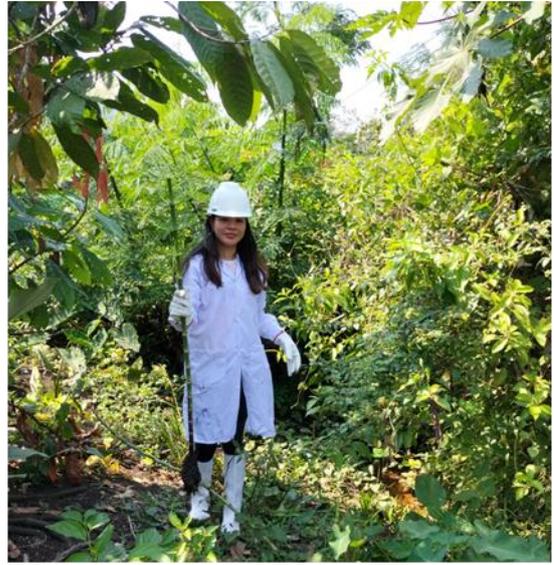
PANEL FOTOGRÁFICO DEL ARMADO DEL ACUARIO



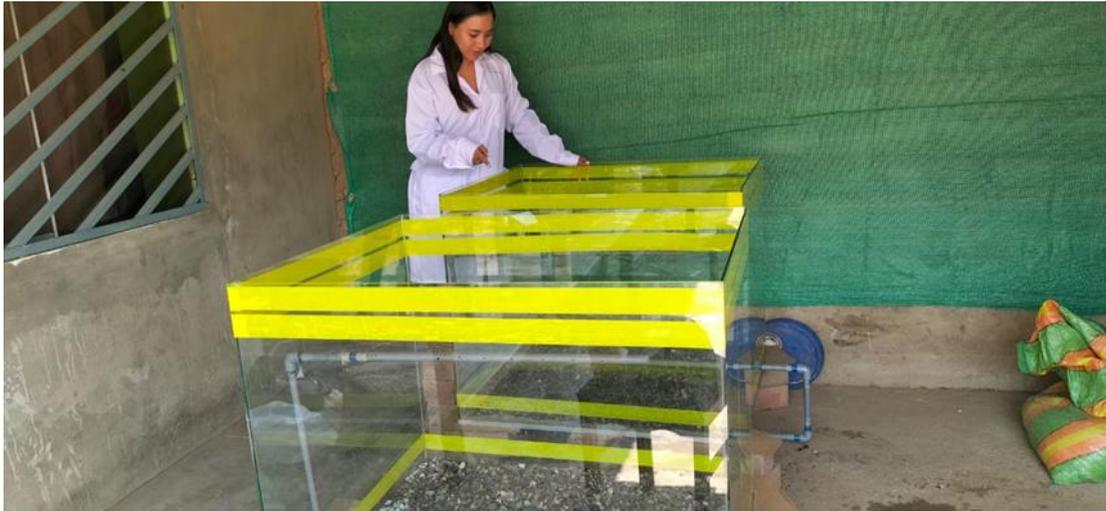
PANEL FOTOGRÁFICO DEL LAVADO Y SECADO DE LOS INSUMOS



PANEL FOTOGRÁFICO DEL RECOJO DE PLANTAS DE COLA DE CABALLO



PANEL FOTOGRÁFICO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LAS PECERAS



PANEL FOTOGRÁFICO DE LA ADAPTACION DE LA ESPECIE EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL



PANEL FOTOGRÁFICO DE LAS MEDICIONES DE PARAMETROS DE LOS CAMPO (INICIAL, 5 DIAS, 10 DIAS Y 15 DIAS)



PANEL FOTOGRÁFICO DE LA VISITA DE LOS JURADOS REVISORES



PANEL FOTOGRÁFICO DEL ENVIO DE MUESTRAS FINAL DE AGUA





ANEXO 10

INFORME DE ENSAYO DEL LABORATORIO (RESULTADOS INICIALES)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-132



ID: 000000001404

INFORME DE ENSAYO N° 2409-642 CON VALOR OFICIAL

Razón Social del cliente : INES LALESKA SULLCA FERRER
Domicilio Legal : JR. 28 DE JULIO # 641- AMBO- HUANUCO
Solicitado Por : INES LALESKA SULLCA FERRER
Referencia : OS N° 2408-241 / COT N° 2408-141
Proyecto : TESIS- PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Procedencia : RIO HUERTAS- AMBO-HUANUCO
Muestreo Realizado Por : CLIENTE
Cantidad de Muestra : 1
Producto : AGUA
Plan de Muestreo : NO APLICA
Fecha de Recepción : 2024-09-21
Hora de Recepción : 09:15
Periodo de Ensayo : Del 2024-09-21 al 2024-09-27
Fecha de Emisión : 2024-10-01

Gracias por utilizar los servicios de Greenlab Peru S.A.C. Pongase en contacto con el Ejecutivo de Ventas, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.

Informe Autorizado por:

Karin J. Loayza Ochoa
Jefa de Laboratorio

Juan Ramírez Martínez
C.I.P. 264960
Jefe de Calidad

Nota:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERU S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a la muestras como se reciben.

**INFORME DE ENSAYO N° 2409-642
CON VALOR OFICIAL**

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código del Laboratorio	:	2409-642-1
Código de la muestra	:	To-I
Fecha muestreo	:	2024-09-15
Hora muestreo	:	08:40
Categoría	:	AGUA NATURAL
Sub categoría	:	AGUA SUPERFICIAL
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0365853 N: 8878099

Parámetros	Unidad	L.C.M.	Resultados
Análisis Físicoquímicos			
Biochemical Oxygen Demand*	mg/L	0,40	0,68
Análisis Instrumentales			
- pH *	Unid. de pH	0,01 (z)	8,7
- Oxígeno Disuelto*	mg/L	0,01 (z)	7,18
- Conductividad*	µS/cm	0,05 (z)	80,54
- Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5	10
Metales Totales:			
- Cobre	mg/L	0,001	0,006
- Zinc	mg/L	0,0003	0,310

Leyenda:

¹⁰ Resolución cuantificable del equipo
L.C.M. Límite de cuantificación del Método
* <: Menor que el L.C.M. indicado

¹¹ Información proporcionada en la cadena por el cliente

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

*: Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Nota:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERU S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a la muestras como se reciben.

**INFORME DE ENSAYO N° 2409-642
CON VALOR OFICIAL**

II. MÉTODOS Y REFERENCIA

TIPO ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TITULO
- pH*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. (2023)	pH Value. Electrometric Method
- Oxígeno Disuelto*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 24th Ed (2023)	Membrane-Electrode Method
- Conductividad*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed (2023)	Conductividad. Laboratory Method.
-Biochemical Oxygen Demand*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand
- Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed (2023)	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales: Cobre y Zinc	EPA Method 200.7, Revisión 4.4 (1994)	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

IV. OBSERVACIONES

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.
- El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra y dependiendo del parámetro a ser analizado.

FIN DEL INFORME

Nota:

Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERU S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a la muestras como se reciben.

INFORME DE ENSAYO DEL LABORATORIO (RESULTADOS FINALES)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-132



ID: 00000002801

INFORME DE ENSAYO N°2412-1235 CON VALOR OFICIAL



Razón Social del cliente : INES LALESKA SULLCA FERRER

Domicilio Legal : 28 DE JULIO # 641 AMBO - HUANUCO

Solicitado Por : INES LALESKA SULLCA FERRER

Referencia : OS N° 2412-75 / COT N° 2412-32

Proyecto : EFICIENCIA DE UN HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL USANDO COLA DE CABALLO
(EQUISETUM ARAVANSE L) PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS (COBRE Y ZINC)
DEL RIO HUERTAS, AMBO, HUANUCO-2024

Procedencia : AMBO- HUANUCO

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Cantidad de Muestra : 6

Producto : AGUA

Plan de Muestreo : NO APLICA

Fecha de Recepción : 2024-12-30

Hora de Recepción : 07:50

Periodo de Ensayo : Del 2024-12-30 al 2025-01-07

Fecha de Emisión : 2025-01-07

Gracias por utilizar los servicios de Greenlab Peru S.A.C. Pongase en contacto con el Ejecutivo de Ventas, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.

Informe Autorizado por:

Karin J. Loayza Ochoa
Jefa de Laboratorio

Juan Ramirez Martinez
C.I.P. 264960
Jefe de Calidad

Nota:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio . Resultados validos para la muestra referida en el presente informe . Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce . GREENLAB PERU S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a las muestras como se reciben.

📍 Calle Santa Angélica N° 285 Urb. Santa Luisa San Martín de Porres - Lima Cel. 904912699 📞 993554361

🌐 www.greenlabperu.com

INFORME DE ENSAYO N°2412-1235 CON VALOR OFICIAL

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código del Laboratorio	:	2412-1235-1	2412-1235-2	2412-1235-3	2412-1235-4
Código de la muestra	κ	TO-GC	TI-A	TI-B	TI-C
Fecha muestreo	κ	2024-12-28	2024-12-28	2024-12-28	2024-12-28
Hora muestreo	κ	13:59	13:58	14:03	14:05
Categoría	κ	AGUA NATURAL			
Sub categoría	κ	AGUA SUPERFICIAL			
Coordenadas (WGS-84)	κ	E: 0364721 N: 8892017	E: 0364721 N: 8892017	E: 0364721 N: 8892017	E: 0364721 N: 8892017

Parámetros	Unidad	L.C.M.	Resultados			
Análisis de Campo						
- pH ¹	Unid. de pH	0,01 (z)	7,65	7,65	7,65	7,65
- Conductividad ¹	µS/cm	0,05 (z)	80,54	80,54	80,54	80,54
- Oxígeno Disuelto ¹	mg/L	0,01 (z)	7,18	7,18	7,18	7,18
Análisis Físicoquímicos						
- Biochemical Oxygen Demand ²	mg/L	1	< 1	< 1	< 1	< 1
Análisis Instrumentales						
- Demanda Química de Oxígeno ¹	mg/L	5	10	6	7	6

Leyenda:

⁰⁹ Resolución cuantificable del equipo

L.C.M.: Límite de cuantificación del Método

*<: Menor que el L.C.M. indicado

^κ: Información proporcionada en la cadena por el cliente

¹: Ensayo acreditado por INACAL-DA

²: Ensayo acreditado por el IAS

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

Nota:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERÚ S.A.C. destina la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a las muestras como se reciben.

INFORME DE ENSAYO N°2412-1235 CON VALOR OFICIAL

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código del Laboratorio	:	2412-1235-5	2412-1235-6
Código de la muestra	α	TI-D	TI-E
Fecha muestreo	α	2024-12-28	2024-12-28
Hora muestreo	α	14:08	14:11
Categoría	α	AGUA NATURAL	
Sub categoría	α	AGUA SUPERFICIAL	
Coordenadas (WGS-84)	α	E: 0364721	E: 0364721
		N: 8892017	N: 8892017

Parámetros	Unidad	L.C.M.	Resultados	
Análisis de Campo				
- pH ¹	Unid. de pH	0,01 (z)	7,65	7,65
- Conductividad ¹	µS/cm	0,05 (z)	80,54	80,54
- Oxígeno Disuelto ¹	mg/L	0,01 (z)	7,18	7,18
Análisis Físicoquímicos				
- Biochemical Oxygen Demand ²	mg/L	1	< 1	< 1
Análisis Instrumentales				
- Demanda Química de Oxígeno ¹	mg/L	5	6	6

Legenda:

⁰⁹ Resolución cuantificable del equipo

L.C.M.: Límite de cuantificación del Método

<z>: Menor que el L.C.M. indicado

⁰²: Información proporcionada en la cadena por el cliente

¹: Ensayo acreditado por INACAL-DA

²: Ensayo acreditado por el IAS

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

Nota:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERÚ S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a la muestras como se reciben.

**INFORME DE ENSAYO N°2412-1235
CON VALOR OFICIAL**

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código del Laboratorio	:	2412-1235-1	2412-1235-2	2412-1235-3	2412-1235-4
Código de la muestra	κ	TO-GC	TI-A	TI-B	TI-C
Fecha muestreo	κ	2024-12-28	2024-12-28	2024-12-28	2024-12-28
Hora muestreo	κ	13:59	13:58	14:03	14:05
Categoría	κ	AGUA NATURAL			
Sub categoría	κ	AGUA SUPERFICIAL			
Coordenadas (WGS-84)	κ	E: 0364721	E: 0364721	E: 0364721	E: 0364721
		N: 8892017	N: 8892017	N: 8892017	N: 8892017

Parámetros	Unidad	L.C.M.		Resultados	
Análisis Instrumentales					
Metales Totales:					
- Cobre ¹	mg/L	0,001	0,005	0,001	0,002
- Zinc ¹	mg/L	0,0003	0,308	0,070	0,068

Legenda:

L.C.M.: Límite de cuantificación del Método
* <: Menor que el L.C.M. indicado

κ: Información proporcionada en la cadena por el cliente

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

¹: Ensayo acreditado por INACAL-DA

Nota:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERU S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a la muestras como se reciben.

INFORME DE ENSAYO N°2412-1235 CON VALOR OFICIAL

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código del Laboratorio	:	2412-1235-5	2412-1235-6
Código de la muestra	α	TI-D	TI-E
Fecha muestreo	α	2024-12-28	2024-12-28
Hora muestreo	α	14:08	14:11
Categoría	α	AGUA NATURAL	
Sub categoría	α	AGUA SUPERFICIAL	
Coordenadas (WGS-84)	α	E: 0364721	E: 0364721
		N: 8892017	N: 8892017

Parámetros	Unidad	L.C.M.	Resultados
Análisis Instrumentales			
Metales Totales:			
- Cobre ¹	mg/L	0,001	0,002
- Zinc ¹	mg/L	0,0003	0,061

Leyenda:

L.C.M. Límite de cuantificación del Método
“<”: Menor que el L.C.M. indicado

α: Información proporcionada en la cadena por el cliente

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

¹: Ensayo acreditado por INACAL-DA

Nota:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERU S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a la muestras como se reciben.

**INFORME DE ENSAYO N°2412-1235
CON VALOR OFICIAL**

II. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TITULO
- pH ¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. (2023)	pH Value. Electrometric Method
- Conductividad ¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed (2023)	Conductividad. Laboratory Method.
- Oxígeno Disuelto ¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 24th Ed (2023)	Membrane-Electrode Method
- Biochemical Oxygen Demand ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2023	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
- Demanda Química de Oxígeno ¹	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed (2023)	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
- Metales Totales: Aluminio, Arsénico, Mercurio, Plomo, Zinc	EPA Method 200.7, Revisión 4.4 (1994)	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

III. OBSERVACIONES

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.
- El tiempo de conservación de la muestra se mantendrá desde la recepción y en función al período de perecibilidad del parámetro que se está analizando.

*****FIN DEL INFORME*****

Nota:

Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERÚ S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a la muestras como se reciben.

ANEXO 11

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA – CATEGORÍA 3: D1. (D. S. N.º 004-2017-MINAM).

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
Nº 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

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

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrín	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.