

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**BIORREMEDIACIÓN DEL AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS
UTILIZANDO PLUMAS DE POLLO DE ENGORDE EN LOS HUMEDALES
DEL DISTRITO DE ITE, PROVINCIA JORGE BASADRE GROHMANN
DE LA REGIÓN DE TACNA**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. GILMA LIZBETH CHAMBE CÁCERES

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**BIORREMEDIACIÓN DEL AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS
UTILIZANDO PLUMAS DE POLLO DE ENGORDE EN LOS HUMEDALES
DEL DISTRITO ITE, PROVINCIA JORGE BASADRE GROHMANN
DE LA REGIÓN DE TACNA**

Tesis sustentada y aprobada el ..11.. de ..Julio... del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



Dr. Walter Dimas Florez Ponce de León

SECRETARIO:



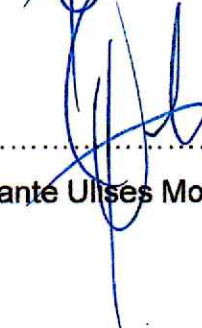
Dr. Avelino Godofredo Pari Pinto

MIEMBRO:



Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

ASESOR:



Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Dante Ulises Morales Cabrera, en mi condición de asesor acreditado con RESOLUCIÓN ESCUELA DE POSGRADO N° 10627-2021-ESPG/UNJBG. Tacna, 19 de octubre del 2021, del trabajo de tesis titulado: "BIOREMEDIACIÓN DEL AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS UTILIZANDO PLUMAS DE POLLO DE ENGORDE EN LOS HÚMEDEALES DEL DISTRITO DE ITE, PROVINCIA JORGE BASADRE GROHMANN DE LA REGIÓN TACNA", presentado por la Srta. Gilma Lizbeth Chambe Cáceres, para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias (*Doctor Scientiae*) con mención en Ciencias Ambientales.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8%.

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Grado Académico de Doctor en Ciencias (*Doctor Scientiae*) con mención en Ciencias Ambientales.

Tacna, 28 de diciembre del 2025.

FIRMA ASESOR
Nombres y apellidos

.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera
DNI N° 00432101



FIRMA TESISTA
Nombres y apellidos

.....
Srta. Msc. Gilma Lizbeth Chambe Cáceres
DNI N° 41024275



DEDICATORIA

Dedico esta tesis doctoral a mi más grande inspiración, mi hijo Alejandro Joaquín, gracias a ti soy una guerrera valiente que se supera todos los días. También se la dedico a mis queridos padres, Félix y Teresa, por su inmenso amor, sus desvelos, sus consejos y su apoyo incondicional; y a mi hermanita Luzby Rosario, por apoyarme en todo. Además, te la dedico a ti abuelito Issac Cáceres (†), mi ángel de la guarda. Y, sobre todo, gracias a Dios por su infinito amor, por estar conmigo siempre, en especial, en cada meta cumplida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a todas las personas que han contribuido a la realización de esta investigación. A mi asesor de tesis Dante Morales, por brindarme todo su apoyo en la realización de mi trabajo de tesis. También a mi co-asesor Albert Saavedra, por su tiempo y colaboración en el trabajo de investigación.

Además, quiero agradecer a mis estimados amigos Ángel, Miguel, Rosario y Ever, por su apoyo incondicional, ya sea a través de consejos, motivación y colaboración, todo ello, ha sido fundamental en este proceso.

Muchas gracias a todos por ser parte de este logro.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
RESUMO.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	 3
1.1. Identificación del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis General.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	6
1.6. Variables.....	7
1.6.1. Identificación de variables.....	7
 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	 8
2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1. Contaminación de los humedales.....	10
2.2.2. Contaminación del agua por metales pesados.....	10
2.2.3. Marco Normativo de la contaminación de agua.....	11
2.2.4. Metales pesados.....	13
2.2.4.1. Cobre.....	13

2.2.4.2.	Hierro.....	14
2.2.5.	Problemática de eliminación de plumas después del faenado de aves...	15
2.2.6.	Estadística sobre el beneficio de pollos en el Perú.....	15
2.2.7.	Composición y complejidad estructural de las plumas.....	16
2.2.8.	Características estructurales de la queratina.....	18
2.2.8.1.	Bioquímica de la queratina.....	18
2.2.9.	Proceso de biorremediación.....	21
2.2.10.	Fundamentos de bioadsorción.....	21
2.3.	Definición de términos.....	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		24
3.1.	Tipo del diseño de la investigación.....	24
3.2.	Población y muestra del estudio.....	24
3.2.1.	Ubicación del estudio.....	24
3.2.2.	Población.....	25
3.2.3.	Muestra.....	25
3.3.	Acciones y actividades para la ejecución del proyecto.....	25
3.3.1.	Acciones y actividades para el cumplimiento del primer objetivo.....	25
3.3.1.1.	Estrategia de estudio.....	25
3.3.1.2.	Frecuencia y horario de muestreo.....	26
3.3.1.3.	Descripción de uso de materia prima.....	26
3.3.1.4.	Obtención de la harina de pluma de pollo.....	26
3.3.1.5.	Método de recolección de datos.....	26
3.3.1.6.	Análisis de datos.....	27
3.3.2.	Acciones y actividades para el cumplimiento del segundo objetivo.....	27
3.3.2.1.	Estrategia de estudio.....	27
3.3.2.2.	Frecuencia y horario de muestreo.....	28
3.3.2.3.	Descripción de uso de materia prima.....	28
3.3.2.4.	Obtención de la harina de pluma de pollo.....	28
3.3.2.5.	Método de recolección de datos.....	28
3.3.2.6.	Análisis de datos.....	29
3.3.3.	Acciones y actividades para el cumplimiento del tercer objetivo.....	29

3.3.3.1.	Estrategia de estudio.....	29
3.3.3.2.	Método de recolección de datos.....	29
3.3.3.3.	Análisis de datos.....	30
3.4.	Materiales e instrumentos.....	30
3.4.1.	Material biológico.....	30
3.4.2.	Materiales.....	30
3.4.3.	Materiales de escritorio.....	31
3.5.	Tratamiento de los datos (análisis estadístico)	32
3.5.1.	Variables analizadas.....	32
3.5.2.	Prueba estadística.....	32
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		33
4.1.	Efecto de las plumas de pollos de engorde en remoción de cobre (Cu)...	33
4.2.	Efecto de las plumas de pollos de engorde en remoción de hierro (Fe)...	36
4.3.	Grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro) con plumas de pollos de engorde.....	39
DISCUSIONES.....		41
CONCLUSIONES.....		46
RECOMENDACIONES.....		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		48
ANEXOS.....		54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	LMP para la descarga de efluentes líquidos minero-metalúrgicas.....	11
Tabla 2	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecimiento de disposiciones complementarias.....	12
Tabla 3	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecimiento de complementarias. Categoría 4.....	12
Tabla 4	Principales componentes de las plumas.....	17
Tabla 5	Remoción de iones metálicos por diferentes derivados de queratina	20
Tabla 6	Porcentaje de biorremediación de Cu.....	33
Tabla 7	Estimación del análisis de varianza para la concentración de Cu.....	33
Tabla 8	Prueba de Tukey HSD a un 95% de confianza para concentración de Cu por tratamientos.....	34
Tabla 9	Prueba de Tukey HSD a un 95% de confianza para concentración de Cu por bloques.....	34
Tabla 10	Porcentaje de biorremediación de Fe.....	36
Tabla 11	Estimación del análisis de varianza para la concentración de Fe.....	36
Tabla 12	Prueba de Tukey HSD a un 95% de confianza para concentración de Fe por Tratamientos.....	37
Tabla 13	Prueba de Tukey HSD a un 95% de confianza para concentración de Fe por bloques.....	37
Tabla 14	Estimación de la prueba de normalidad.....	39
Tabla 15	Estimación de la correlación entre los porcentajes de remoción de Fe y Cu utilizando el tratamiento 2 (4 g/L).....	39
Tabla 16	Estimación de la correlación entre los porcentajes de remoción de Fe y Cu utilizando el tratamiento 3 (8 g/L).....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Composición de las plumas.....	16
Figura 2	Estructura de la pluma.....	17
Figura 3	Estructura molecular de la queratina.....	19
Figura 4	Mecanismos generales de bioadsorción de metales pesados.....	22
Figura 5	Imagen satelital de la zona de muestreo de los humedales de Ite - distrito de Ite, provincia Jorge Basadre de la región de Tacna.....	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Interacciones de la remoción de cobre a diferentes concentraciones de plumas de pollos de engorde.....	35
Gráfico 2	Interacciones de la remoción de hierro a diferentes concentraciones de plumas de pollos de engorde.....	38

RESUMEN

El trabajo de tesis plantea el problema de investigación referido a la contaminación del agua de los humedades. Los objetivos específicos son: 1) Determinar el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción de cobre, 2) Determinar el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción de hierro y 3) Estimar el grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro). En la metodología, se realizó muestreo por conveniencia en 5 puntos, con 3 repeticiones y 3 tratamientos (control, 4 g/L y 8 g/L) respectivamente. Se aplicó la prueba estadística de ANOVA, prueba de Tukey y la correlación por Rho de Spearman. Las conclusiones fueron: El tratamiento de dosis de 4 gramos de plumas/litro presentó una mayor remoción de cobre en 69,4 %. Asimismo, el tratamiento de dosis de 4 gramos de plumas/litro también presentó una mayor remoción de hierro en un 93,1 %. El grado de asociación entre la remoción de iones metálicos de cobre y hierro en base a plumas de pollo de engorde no es estadísticamente significativo. Las plumas de pollo son un adsorbente natural que demostró ser eficaz para remediar agua contaminada con metales pesados. Los biomateriales en base a la queratina tienen un enorme potencial en la biorremediación de agua contaminada con metales pesados.

Palabras clave: Adsorción, cobre, hierro, queratina, remoción y remediación.

ABSTRACT

The thesis work raises the research problem related to the contamination of water from humidity. The specific objectives are: 1) Determine the effect of the treatment (broiler feathers) at different proportions on the removal of copper, 2) Determine the effect of the treatment (broiler feathers) at different proportions on the removal of iron and 3) Estimate the degree of association between the removal of metal ions (copper and iron). In the methodology, convenience sampling was carried out at 5 points, with 3 repetitions and 3 treatments (control, 4 g/L, and 8 g/L), respectively. The ANOVA statistical test, Tukey's test and Spearman's Rho correlation were applied. The conclusions were: The treatment with a dose of 4 grams of feathers per liter resulted in a 69.4% greater copper removal. Similarly, the same treatment also showed a 93.1% greater iron removal. The degree of association between the removal of copper and iron metal ions using broiler chicken feathers was not statistically significant. Chicken feathers are a natural adsorbent that has proven effective in remediating water contaminated with heavy metals. Keratin-based biomaterials have enormous potential in the bioremediation of water contaminated with heavy metals.

Keywords: Adsorption, copper, iron, keratin, removal and remediation

RESUMO

Esta tese aborda o problema de pesquisa da contaminação da água em zonas úmidas. Os objetivos específicos são: 1) Determinar o efeito do tratamento (penas de frango de corte) em diferentes proporções na remoção de cobre; 2) Determinar o efeito do tratamento (penas de frango de corte) em diferentes proporções na remoção de ferro; e 3) Estimar o grau de associação entre a remoção de íons metálicos (cobre e ferro). A metodologia envolveu amostragem por conveniência em cinco pontos, com três repetições e três tratamentos (controle, 4 g/L e 8 g/L). A análise estatística incluiu ANOVA, teste de Tukey e correlação de Spearman. As conclusões foram as seguintes: O tratamento com uma dose de 4 gramas de penas/litro resultou na maior remoção de cobre (69,4%). Da mesma forma, o mesmo tratamento também resultou na maior remoção de ferro (93,1%). O grau de associação entre a remoção de íons metálicos de cobre e ferro utilizando penas de frango de corte não é estatisticamente significativo. As penas de galinha são um adsorvente natural que se mostrou eficaz na remediação de água contaminada com metais pesados. Os biomateriais à base de queratina têm um enorme potencial na biorremediação de água contaminada com metais pesados.

Palavras-chave: Adsorção, cobre, ferro, queratina, remoção e remediação.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de tesis se planteó el problema investigación relacionado con la contaminación del agua en los humedales del distrito de Ite, ocasionada por metales pesados provenientes de los relaves mineros de la provincia Jorge Basadre, en la región de Tacna. Por tal razón, la investigación tiene como objetivo proponer una alternativa de solución basada en la biorremediación del agua contaminada mediante el uso de plumas de pollo de engorde en los humedales del mencionado distrito.

La contaminación de la bahía de Ite, ubicada en la región de Tacna, por la presencia de metales pesados, se debe a la actividad minera desarrollada en Toquepala y Cuajone, cuyos efectos aún se intentan remediar de manera adecuada. Asimismo, los métodos químicos de remediación generan alteraciones en el ecosistema artificial de la bahía, por lo que resulta necesario explorar alternativas más sostenibles para la remoción de contaminantes.

En este contexto, la presente investigación propone la biorremediación del agua contaminada con metales pesados, mediante el uso de plumas de pollo de engorde en los humedades del distrito de Ite, provincia Jorge Basadre, región de Tacna. Los objetivos específicos del estudio son:

- 1) Determinar el efecto del tratamiento con plumas de pollos de engorde, en diferentes proporciones, sobre la remoción de cobre.
- 2) Determinar el efecto del tratamiento con plumas de pollos de engorde, en diferentes proporciones, sobre la remoción de hierro.
- 3) Estimar el grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro) y las distintas proporciones del tratamiento con plumas de pollo de engorde.

Con los resultados del proceso de biorremediación del agua contaminada con metales pesados, utilizando plumas del pollo de engorde de la línea *Cobb 500* en los humedades del distrito de Ite, provincia Jorge Basadre, región de Tacna, se espera obtener

una alternativa eficiente para la descontaminación del recurso hídrico. Este estudio busca aportar evidencia científica que sustente una solución económica y ambientalmente sostenible.

En síntesis, el presente trabajo de investigación aborda los siguientes aspectos: Capítulo I, Planteamiento del problema; Capítulo II, Marco teórico; Capítulo III, Metodología de la investigación; y Capítulo IV, Resultados de la investigación. Además, se incluyen las secciones de discusión, conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

El incremento exponencial de la población mundial, la creciente industrialización, las actividades agrícolas y domésticas producen mayores niveles de contaminación del agua en términos de contaminantes orgánicos e inorgánicos. La contaminación debida a la liberación de metales al medio ambiente es uno de los más graves impactos ambientales de la minería.

En el plano internacional constituye una gran amenaza, ya que los metales son expuestos a los seres humanos, a los animales y medio ambiente, produciéndose la acumulación de iones de manera persistente que provoca un grave riesgo para la salud pública, salud animal y medio ambiental. Siendo los países latinoamericanos los de mayor explotación minera y como consecuencia presentan una mayor contaminación del agua, suelo y aire por relaves mineros.

En el contexto nacional, el Perú es un país minero y tiene 16 % de las reservas minerales mundiales. Ocupando el segundo lugar en producción de cobre, plata y zinc. La contaminación química, especialmente de metales pesados, es un grave problema de la contaminación del agua que más llama la atención debido al potencial de causar desequilibrios ecológicos y de salud.

En el contexto local, los humedales de Ite son el resultado de los relaves mineros, causando afectación del litoral marino en un espacio mayor de 1600 hectáreas aproximadamente. Sin embargo, en 2002 aprovecharon el agua para cubrir completamente los relaves mineros y se dio la formación de los espejos de aguas, los cuales se hallan cubiertas de grandes vegetaciones dando lugar a los humedales de Ite. Actualmente, la bahía de Ite es uno de los lugares donde se reúnen abundantes poblaciones de aves transitorias en el Perú. Asimismo, crianzas de animales domésticos al pastoreo, especialmente ovejas y cabras.

Otros estudios, indican que la leche y sus derivados producto de la producción ganadera de bovinos, ovinos y caprinos que se pastorean e ingieren agua, pastos o forrajes contaminados por iones metálicos tendrán influencia sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne, lo cual constituye una seria amenaza para la salud pública.

Por todo ello, es importante monitorizar los niveles de contaminación por metales a lo largo del tiempo, y evaluar el grado de exposición a la fauna silvestre y sus posibles efectos en la salud, con la finalidad de valorar los riesgos asociados y prevenir impactos sobre la preservación de la biodiversidad.

En el presente estudio se pretendió abordar la contaminación del hierro y cobre, por ser residuos inorgánicos producto de relaves mineros, optando por la búsqueda de la solución a un problema de contaminación del agua de manera ecológica como es la biorremediación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los efectos del uso de plumas de pollo de engorde en la remoción de cobre y hierro en aguas contaminadas de los humedales del distrito de Ite?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción del cobre?
- b. ¿Cuál es el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción del hierro?
- c. ¿Cuál es el grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro) y las diferentes proporciones de tratamientos con pluma de pollos de engorde?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

Desde la perspectiva científica, con la ejecución del trabajo de investigación se esperaba adquirir conocimientos, relacionado a la utilización de las plumas de pollos de engorde en la biorremediación del agua de los humedales de la bahía de Ite, que garantice la conservación del medio ambiente.

Por otro lado, el crecimiento sostenido del consumo de carne de pollo en el Perú genera una alta demanda en el beneficio de pollo de engorde en ambientes artesanales con una mala disposición de residuos sólidos producto del faenado de los pollos de engorde, lo que constituye un problema de contaminación ambiental, por la mala eliminación de grandes cantidades de plumas.

Se justifico el presente trabajo de investigación sobre la biorremediación del agua contaminada de los humedales de Ite, mediante tratamientos que no causen efectos nocivos al ecosistema del lugar, las plumas de pollos de engorde constituyen el insumo adecuado para ser una alternativa de remediación de manera ecológica.

Además, el presente estudio fue viable porque se contó con los recursos para su realización.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar los efectos del uso de plumas de pollo de engorde a diferentes proporciones para remover cobre y hierro en aguas contaminadas de los humedales del distrito de Ite.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción de cobre.
- b. Determinar el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción de hierro.
- c. Estimar el grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro) y las diferentes proporciones de tratamientos con plumas de pollo de engorde.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Los efectos del uso de plumas de pollo de engorde a diferentes proporciones para la remoción de cobre y hierro en aguas contaminadas de los humedales del distrito de Ite presentará una alta eficiencia.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. El efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción de cobre presentará una alta eficiencia.

- b. El efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes concentraciones en la remoción de hierro presentará una alta eficiencia.
- c. Existe correlación entre el porcentaje de remediación entre cobre y hierro relacionados a la utilización de plumas de pollo de engorde en el agua de los humedales de Ite.

1.6. Variables

1.6.1. Identificación de variables

- Las variables independientes = Tratamientos en base a pluma de pollos de engorde a diferentes proporciones (0.0 gramos, 4 gramos y 8 gramos).
- Las variables dependientes = Disminución de las concentraciones de cobre y hierro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Las aves son especies de biomonitorio de metales pesados y xenobióticos en función de su uso; además, se secuestran en el grupo sulfhidrido de la queratina; los residuos de metal permanecieron resistentes al cambio en plumas más viejas, existe una alta incidencia de metales pesados en aves que habitan un bosque afectado en Ilara - Mokin en Nigeria (Bada & Taiwo, 2019). Además, en el lago de Chapala, se hallaron 3 especies locales de aves acuáticas (*Ardea alba*, *Egretta thula* y *Nycticorax nycticorax*), realizó análisis de metales en plumas con espectrometría con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. Las plumas de aves acuáticas residentes mostraron ser un instrumento muy útil para el biomonitorio de la contaminación por metales pesados (González et al., 2018). Aunque las plumas mostraron niveles más bajos de correlación con tejidos internos que el cabello, ambos podrían ser útiles como no destructivos son herramientas de monitoreo biológico, plumas de color rojo perdiz y pelo de conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*). (Gil-Jiménez et al., 2020).

Las plumas de aves tienen la peculiaridad de acumular oligoelementos provenientes de alimentos contaminados y ambientes contaminados, los metales se unen a la queratina, en la comida de los pingüinos (capelán, *Mallotus villosus*) donde la bioacumulación de metales en la cadena alimentaria marina, se dio en plumas de pingüinos (Squadrone et al., 2019). Las aves marinas como el pelícano marrón oriental (*Pelecanus occidentalis carolinensis*) también son susceptibles a la toxicidad de metaloides; el mercurio, el cadmio, el cobre, el arsénico y el selenio se midieron en las plumas de los pelícanos y polluelos marrones adultos en varias colonias reproductoras donde resulto niveles elevados de contaminantes (Rossi et al., 2020).

La hidrólisis con la enzima Genencor Tan G plus, utilizando un diseño experimental obtuvo resultados por ANOVA y por la metodología superficie de respuesta con pH 8, con una dosis de 0,03 g. de la enzima y con una temperatura de 25 °C, una

concentración máxima de 2,106 mg/l en tal sentido, se demostró que el pH y la temperatura fueron factores indicativos de la hidrólisis (Viloria Sierra et al., 2019). Asimismo, hidrolizar harina de plumas de pollo para obtener queratinasas de forma experimental con la digestión de persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) dio 9,4 % de queratina en el hidrolizado, con un ($p < 0,05$) al cabo de 24 h. de retención hidráulica. Por lo cual, resulta la hidrólisis enzimática utilizando el *Bacillus subtilis* como productor de proteasas (Machuca Loja et al., 2016).

Por otro lado, se usaron plumas de pollo y cáscara de huevo digerida con ácido como material precursor y de activación, el carbón activado preparado se magnetizó para usarse en medios de agua para eliminar algunos iones metálicos pesados. Las capacidades máximas de sorción monocapa y la gran velocidad de sorción, junto con los estudios termodinámicos, demostraron que IOM-ESCFC puede considerarse como un adsorbente potencial contra iones de metales pesados de las aguas y aguas residuales (Rahmani-Sani et al., 2020a).

A nivel nacional, las plumas de pollo son extraídas de centros de beneficio y con carente reglamentación entre países, la revisión visibiliza avances respecto a efectos ambientales y sus potencialidades en la industria pecuaria y agrícola (N. Florida Rofner, 2019). Anualmente, son miles de millones de toneladas de desechos de plumas desechadas producto del beneficio avícola, los microorganismos queratinolíticos tienen gran importancia en la degradación de la queratina para lograr piensos nutritivos y rentables, la degradación de la queratina por la queratinasa juega un papel importante en la biorremediación de los desechos de las plumas (Pandey et al., 2019). Asimismo, se utilizaron plumas de 90 gallineros, las concentraciones de metales en las plumas de pollo con una espectrometría de absorción de energía (AAS); en el rango de concentraciones medias de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en Cu 22,1-27,2, entre las regiones de Mitrovica y Obiliq. Por lo cual se recomienda monitorear la contaminación ambiental por metales en base a plumas de pollo (Haziri et al., 2019).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación de los humedales

En el año 2011, los niveles de contaminación por metales ecotóxicos en los sedimentos superficiales marinos de Ite, donde los hallazgos indicaron niveles por encima de los LMP, estipulados por la Environmental Protection Agency (EPA), cuyos resultados fueron de 608,063 mg/kg de cobre, y 33 078,63 mg/kg de hierro; diagnosticando una zona con alta presencia de estos minerales (Walter & Fernández, 2011). Como podemos apreciar los niveles de cobre y hierro eran superiores a los estándares internacionales debido a los relaves mineros producto de la explotación minera.

Por otro lado, en la zona sur de las mesas o punta mesa, independiente de efectos antropogénicos, logramos diferencias significativas en las concentraciones de los metales: hierro, cobre entre otros, que nos indica una contaminación a causa de los malos hábitos de los habitantes del lugar (Walter & Fernández, 2011). Esta contaminación data de una historia de contaminación de la bahía de Ite, sin embargo, con los humedales artificiales de Ite, trataron de realizar la remediación de la zona afectada.

Por otro lado, se cree que dicha contaminación disminuyo paulatinamente debido a la presencia de aves en el año 2013; las aves están representadas por 44 familias, 106 géneros y 153 especies (Abraham & Ccosi, 2019), estas aves viven en los humedales, y se clasifican en especies endémicas, especies migratorias, especies emblemáticas y especies residentes o perennes.

2.2.2. Contaminación del agua por metales pesados

Actualmente, un gran desafío a nivel es la descontaminación de las fuentes hídricas por metales pesados, que hoy en día es una gran dificultad para los pobladores que se abastecen de dichos ríos, en especial si tenemos en cuenta que el problema de metales en las fuentes hídricas se debe a las actividades antropogénicas, con efectos potencialmente peligrosos para los sistemas ecológicos y el ambiente, los cuales son el

sustento económico y generan un gran amenaza de la salud pública, acarreando serios problemas en la economía local como nacional, debido a la ampliación de costos médicos y disminución en la productividad humana. (Pabón Guerrero et al., 2020). La problemática de contaminación del agua está llegando a niveles muy críticos, por carecer de plantas de tratamiento de agua y además, las poblaciones viven en los alrededores de los ríos contaminados con iones metálicos, destruyendo también, los recursos naturales de flora y fauna (Gómez-Duarte, 2018).

Existen por otro lado, elementos químicos de alta densidad (es decir mayores a 4 g/cm³), siendo muy nocivos, aun en bajas concentraciones. Entre ellos se encuentran el cobre y el hierro. (Pabón Guerrero et al., 2020).

2.2.3. Marco normativo de la contaminación del agua

En el Perú, la contaminación de las aguas está reglamentado con el “Decreto Supremo N°010-2010-MINAM donde, se aprueban los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de la actividad minero-metalúrgica” (MINAN-PERÚ, 2010).

Tabla 1

LMP para descarga de efluentes líquidos minero-metalúrgicos

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LÍMITE PARA EL PROMEDIO ANUAL
PH		6 – 9	6 – 9
Sólidos Totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cobre total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1,6
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

Nota. Tomado de (MINAN-PERÚ, 2010).

Sin embargo, de acuerdo al “DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM que Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones

complementarias” (MINAM-PERÚ, 2017). Los ECAS (Estándar de Calidad Ambiental en mg/L) en la **Categoría 3:** Riego de vegetales y bebida de animales. En Subcategoría D2: Agus de bebida para animales, crianza de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

Tabla 2

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y disposiciones complementarias

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebidas de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Hierro	mg/L	5		..

Nota. Tomado de (MINAM-PERÚ, 2017).

Además, en lo referido a lagos, lagunas y humedales, la **Categoría 4:** Conservación del ambiente acuático, son aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

Tabla 3

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y disposiciones complementarias.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
INORGÁNICOS						
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05

Nota. Tomado de (MINAM-PERÚ, 2017).

2.2.4. Metales pesados

En relación a los metales pesados, aproximadamente el 71 % de la superficie terrestre está cubierta de agua, mientras que los océanos contienen 96,5 % de toda el agua del planeta. Solo el 1 % del total de agua es útil para sustentar la vida en la tierra. La calidad del agua es tan importante para el medio ambiente como para los seres humanos (Rehman et al., 2019). Aunque los metales pesados están en la naturaleza de la corteza terrestre, los habitantes han provocado que exista una mayor presencia, lejos de lo natural, por eso los procesos antropogénicos son descritos con la presencia de metales (Rodríguez Heredia, 2017). Es grave, que el 90 % de aguas residuales a nivel mundial no es tratada adecuadamente y se derrama directamente en el medio ambiente. La contaminación por metales pesados es uno de los problemas más dramáticos de los entornos acuáticos (Rehman et al., 2019).

También, es importante considerar, que las altas concentraciones de iones metálicos en el organismo de los seres vivos trastornan procesos bioquímicos y fisiológicos produciendo muchas patologías (Londoño Franco et al., 2016). Se debe considerar, además, que existen diferencias con los contaminantes orgánicos, los contaminantes por iones metálicos son encubierta, representado una grave amenaza para la salud y el bienestar de la población (Li et al., 2019). Por lo cual, es necesario analizar la contaminación por relaves mineros. Dentro de los cuales los iones de metálicos de cobre y hierro son de importancia persistente.

2.2.4.1. Cobre

En dosis adecuadas, está resguardando varias necesidades fisiológicas (Torres, 2019). El cobre también está presente como complejos o material particulado en agua superficial, agua subterránea, agua potable y agua de mar. La concentración de agua superficial osciló entre 0,0005 y 1 mg/L - 1 en varios estudios en USA (Rehman et al., 2019). Por lo cual, se debe identificar la contaminación en el medio ambiente.

En las exposiciones crónicas de altas concentraciones de cobre puede iniciar daños oxidativos y la interferencia con funciones celulares importantes (Torres, 2019). En la Salud Pública, la ingestión de bebidas y alimentos contaminados e inhalación. Efectos para la salud: En el lugar de trabajo el repetido contacto con el cobre provoca la gripe conocida como la fiebre del metal. Asimismo, con la exposición a largo plazo causa irritaciones en nariz, boca y ojos y síntomas como dolor de cabeza, estómago, mareos, vómitos y diarreas. Asimismo, causar daño importante al hígado y los riñones e incluso la muerte (Rodríguez Heredia, 2017). En animales, los estudios en aves de corral y mascotas, indican que la intoxicación por cobre puede causar daños renales, hepáticos y a nivel del páncreas. Esto puede producir otros trastornos como letargia, anorexia, parálisis, diarrea, ceguera, convulsiones y anemia, (Torres, 2019). Finalmente, según (Covre et al., 2022) la contaminación de cobre en la Amazonía, en el suelo, ambiente y la salud humana, constituyen un grave peligro. Dentro de sus resultados, se puede observar iones de cobre con las rocas artesanales, en proporciones alarmantes de 45,3 mg/kg., y el problema se agrava si tomamos en cuenta la exposición a los seres humanos y animales del lugar.

2.2.4.2. Hierro

El hierro es un elemento abundante en la corteza terrestre, ocupando el cuarto puesto después del oxígeno, silicio y el aluminio. En la antigüedad, las múltiples actividades antropogénicas se veía la introducción de hierro en las aguas superficiales y a través del constante consumo de estas aguas contaminadas, sufrimos de acumulación de dicho metal que afecta a la salud humana (Contreras, 2019). Por lo cual, es importante describir los daños respecto a la contaminación del hierro en el medio ambiente.

La exposición crónica de hierro en el ambiente conlleva a su acumulación en órganos blandos, especialmente en el hígado de muchas especies de vertebrados incluido el hombre (Torres, 2019). La acumulación de hierro en el hígado está relacionada con patologías hereditarias, y también la hemocromatosis como cirrosis del hígado, lo que resulta más grave con la muerte del individuo, (Pietrangelo, 2016). Además, la exhibición crónica a polvos de óxido de hierro causa neumoconiosis benigna e incrementar el riesgo

de desarrollar cáncer de pulmón (Torres, 2019). Finalmente, según (Covre et al., 2022) la contaminación de hierro en la amazonia constituye un grave peligro, debido a que, sus resultados indican iones de hierro producto de relaves industriales en altas proporciones pudiendo llegar a 71,4 mg/kg., en los residuos artesanales del lugar de estudio.

2.2.5. Problemática de eliminación de plumas después del faenado de aves

Es importante señalar, que en el mundo la producción y consumo de carne de pollo representa una tendencia al crecimiento sostenido en el tiempo, en el Perú en los últimos 10 años tiene un crecimiento del 7 %. (Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI, 2018). Además, el 85 % se expende como ave viva, la misma que faenan en ambientes artesanales inadecuados, asimismo, la falta de normativa permite que los residuos de plumas acaben finalmente en los cuerpos hídricos y botaderos, convirtiéndose en agentes contaminantes (N. Florida Rofner, 2019). Este residuo constituye un contaminante acumulable en el ambiente debido a falta de acciones correctivas para su manejo.

También, es necesario recalcar que las plumas son el residuo más importante de las producciones, por su composición tiene diversos medios de uso; pero presenta el inconveniente, de presentar restricciones por su elevado contenido de queratina, (Alarcón-pulido et al., 2018). Es por ello, que la indagación muestra la problemática ambiental y las potencialidades que tienen las plumas de pollo broiler (Cobb 500) en la explotación pecuaria y en la agricultura, como una alternativa para el tratamiento medioambiental (N. Florida Rofner, 2019). Asimismo, es importante buscar un mecanismo de reutilización beneficiosa para el ambiente.

2.2.6. Estadística sobre el beneficio de pollos en el Perú

La carne de pollo es uno de los principales alimentos proteicos de consumo diario en el Perú, según datos estadísticos 1 651 949,00 toneladas de carne de pollo durante el año 2019, es decir un habitante por año consume 51,14 kg de carne de pollo. Respecto al año 2020 los datos estadísticos indican 1 626 265,00 toneladas de carne de pollo, es decir un habitante por año consume 43,73 kg de carne de pollo durante el año 2020 (Inoñán &

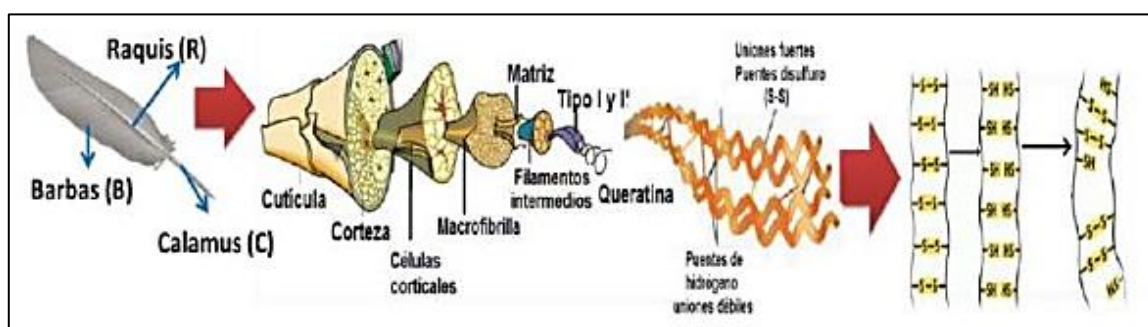
Ballvé, 2020). Si relacionamos al beneficio de pollo las estadísticas indican que la pluma de pollo es un subproducto que representa el 5,5 % de residuos producto del faenamiento de aves (N. Florida Rofner, 2019). En conclusión, estamos siendo conscientes de la magnitud de desechos que debieran reutilizarse por mes, luego por año en actividades adicionales, en nuestro caso la biorremediación ambiental es una alternativa coherente.

2.2.7. Composición y complejidad estructural de las plumas

Es una organización epidérmica, consta de un eje central rígido llamado raquis con espátulas más blandas en cada lado, la paleta está compuesta de barbas dispuestas de queratina (N. Florida Rofner, 2019).

Figura 1

Composición de las plumas



Nota. Tomado de (N. Florida Rofner, 2019).

El desarrollo de la pluma comienza con la formación de la papila conjuntiva, como primer placode, con la participación de la dermis y la epidermis. Además, su diferenciación de la capa epidérmica da como resultado la formación de una vaina que contiene los radios del plumón y en la etapa final de desarrollo se produce la ruptura de la vaina, cubriendo el plumón incipiente, y el núcleo queda en los estratos basales (Pandey et al., 2019).

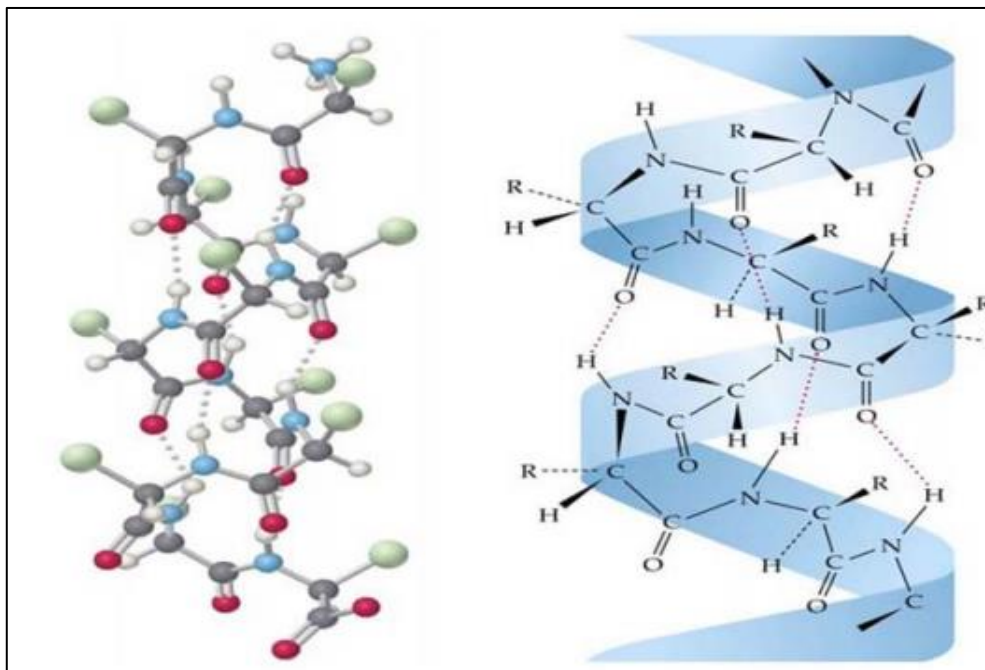
2.2.8. Características estructurales de la queratina

La queratina es una proteína estructural fibrosa insoluble y difícil de digerir por humanos y animales, esta proteína es resistente a la degradación por enzimas proteolíticas comunes como la tripsina, la pepsina y la papaína debido a la composición y conformación molecular, y está compuesta por gran variedad de aminoácidos encontrándose en mayor abundancia la Glicina, y Cisteína (Alarcón-pulido et al., 2018), además, la cisteína presente forma enlaces disulfuro del dímero istina, estos enlaces se entrecruzan estableciendo una red tridimensional de cadenas polipeptídicas y en conjunto con los residuos hidrofóbicos que la hacen insoluble en agua y en solventes apolares, que otorgan una gran resistencia; por ello, presentan alto grado de insolubilidad y aseguran la rigidez estructural de las plumas (N. Florida Rofner, 2019).

La queratina es una proteína fibrosa insoluble con una estructura recalcitrante. Después de la celulosa y la quitina, este es el tercer polímero más abundante en la naturaleza (N. Florida Rofner, 2019). Es muy estable, ya que tiene un alto grado de reticulación de puentes disulfuro e hidrógeno. La queratina es el componente estructural del cabello, plumas, clavos, uñas, cuernos, picos, dientes de pescado y el osteodermo reptil de un espectro de animales (aves, mamíferos, reptiles y peces). Ayuda a los animales contra los ataques bióticos y el estrés abiótico (Pandey et al., 2019). Tiene múltiples funciones vitales en la vida animal.

2.2.8.1. Bioquímica de la queratina

La queratina constituye el 80 y 85 % de los productos de la pluma, pertenece al grupo de las escleroproteínas, estas son insolubles en agua fría, aún en presencia de ácidos o de bases diluidas, por otra parte, son resistentes a la hidrólisis de las proteasas (Pandey et al., 2019). Las características de resistencia de la queratina están en relación con su riqueza en cistina lo que le confiere, después de la formación de puentes inter e intrapeptídicos de tipo covalente, una estructura terciaria de forma hélices entrelazadas las unas a las otras (N. Florida Rofner, 2019). Haciendo posible su extracción de manera eficiente.

Figura 3*Estructura molecular de la queratina*

Nota. Tomado de (Pandey et al., 2019).

La queratinasa es una proteasa con el potencial de degradar sustratos queratinosos, según los hábitos de escisión, las proteasas se clasifican en dos grandes grupos. La primera son las denominadas endopeptidasas que escinden enlaces peptídicos no terminales dentro de las cadenas polipeptídicas, y la segunda son las exoproteasas que rompen enlaces peptídicos de los sustratos en el terminal carboxi o amino terminal (N. Florida Rofner, 2019). Además, las proteasas se clasifican además en función de los grupos funcionales de sus sitios activos. Los cuatro grupos destacados son cisteína proteasas, aspárticas proteasas, serina proteasas y metaloproteasas. Las queratinasas pertenecen a las endopeptidasas, que pertenecen a la familia de la serina proteasas (Torres, 2019). La proteína queratina es menos propensa a ser digerida por otras proteasas como la pepsina, tripsina y papaína. α -hélice y β -estructuras laminares que lo hacen mecánicamente estable y, por lo tanto, resistente a la degradación microbiana (N. Florida Rofner, 2019). La naturaleza y singularidad de la degradación de la queratina sigue siendo un dilema porque la mayoría de las queratinasas purificadas conocidas hasta ahora no pueden solubilizar la queratina nativa completa (Pandey et al., 2019).

Tabla 5*Remoción de iones metálicos por diferentes derivados de queratina*

Absorbente a base de queratina	Iones metálicos (nivel de eliminación, por gramo de absorbente)	Tiempo de contacto	Concentración inicial de iones	Solución PH	Referencia
Malla no tejida a base de pluma de pato (pegada)	Cu ²⁺ (41 %)	1 h	8 mm	11	Jin, et al
Filtro de lana recubierto con Bauxal TM	As ³⁺ (34-53 %)	2 h	104 ppb	4 - 5	Hassan
Filtro de lana producido por tecnología de punzonado	Cu, Fe, Zn, Hg (100 %) As (50 %) Cr (80 %)	24 h	5 ppm	...	McNeil
Hombres de poliuretano híbrido membrana con 15% en peso de resina de queratina de pollo	Cr ⁶⁺ (38 %)	...	100 ppm	6 - 7	Saucedo. Rivalcoba et al
Membranas nano-fibrosas electrohiladas con 50% en peso de resina de queratina	Cr ⁶⁺ (56 mg) Cr ³⁺ (0,7 mg) Cr ²⁺ (62-103 mg)	24 h - 28 h	Cr ⁶⁺ (5-200 ppm) Cr ³⁺ (0,05 ppm) Cr ²⁺ (0,5-35 ppm)	2 - 5-8	Aluigi, et al
Pluma de pollo (alcalina y tratada ultrasónicamente)	PB (3.83 - 12 mg) Cu (3.25 mg) Hg (4.36 mg) Cr (3,5 mg)	30 min	10 - 40 ppm	1.5 - 6	Kai & Misra
Pluma de pollo tratada con epiclorhidrina y etilendiamina	Cr ⁶⁺ (90 %)	24 h	10 - 80 ppm	1 - 3	Sun et al
Fibra de pluma de aves de corral	Pb ²⁺ (0,8 – 8,3 mg)	5 h	10-200 mg/L	2 - 5	De la Rosa et al
Fibra de cabello humano	Cu ²⁺ (35 ug) Zn ²⁺ (10 ug) Mn ²⁺ (1,1 ug) As ³⁺ (0,1 ug)	20 min	900 - 1000 ppm	1-5	Tan, et al
Fibra de cabello humano tratada con NaOH / Na ₂ S	Hg ²⁺ (104 mg) Cd ²⁺ (53 mg) Cu ²⁺ (29 mg)	1h- 5 h	3 mm	1 - 3	Suyama et al
Polvo de pluma de pollo	Au ²⁺ (60 - 160 mg) Pt ²⁺ (40 - 85 mg) Pd ²⁺ (20 - 60 mg)				
Partícula de pluma de pollo	Zn ²⁺ (100 %)	1 h	...	3 - 5	Aguayo-Villareal et al
Partícula de pluma de pollo tratada con NaOH y dodecil sulfato	Cu (100 %) Zn (100 %)	20 min	10 - 100 ppm	...	Al-Asheh, et al
Solución de queratina coloidal	Pb ²⁺ (43,3 mg)	10 min	1 mm	5	Sekimoto, et al
Partícula de sílice inmovilizada de aminoácidos de queratina	Ca, Fe, Mg and Mn (72 – 94 %)	20 min - 30 min	50 - 1100 ppm	6-9	Sayed, et al

Nota. Adaptado por (Rahmani-Sani et al., 2020).

2.2.9. Proceso de Biorremediación

Para que la degradación de un contaminante pueda producir un eficaz efecto biorremediador, se requiere la interacción de la célula en el medio acuoso para dar lugar a la integración metabólica sustrato-enzima, que estimula la cinética enzimática, para degradar los compuestos tóxicos (Torres Ríos, 2019). La remediación debe ofrecer una serie de posibles ventajas técnicas, económicas y medioambientales (Li et al., 2019). Los mecanismos de reacción bioquímica están ligados a la biodisponibilidad de los biorremediadores, y estos a la afinidad electroquímica de sus componentes moleculares de los contaminantes (Torres Ríos, 2019). Sin embargo, la elección del método de remediación depende de las características del sitio, los tipos de contaminantes que se eliminarán, la concentración de contaminantes y del medio contaminado (Li et al., 2019). La remediación puede llevarse a cabo mediante métodos físicos, químicos y biológicos (Torres Ríos, 2019). Por lo cual se debe seleccionar la técnica que sea compatible con la ecología del lugar.

La aplicabilidad de las técnicas de buenas prácticas de biorremediación (BPB) está sujeta a varios factores medioambientales: a) Propiedades del contaminante (Biodegradabilidad). b) Consorcios microbianos con capacidad enzimática (Biocinética). c) Origen autóctono de los microorganismos (Atenuación). d) Bioaumentadores para mejorar la degradación (Bioaumentación) (Torres Ríos, 2019). Asimismo, con la biorremediación se debe preservar el medio ambiente.

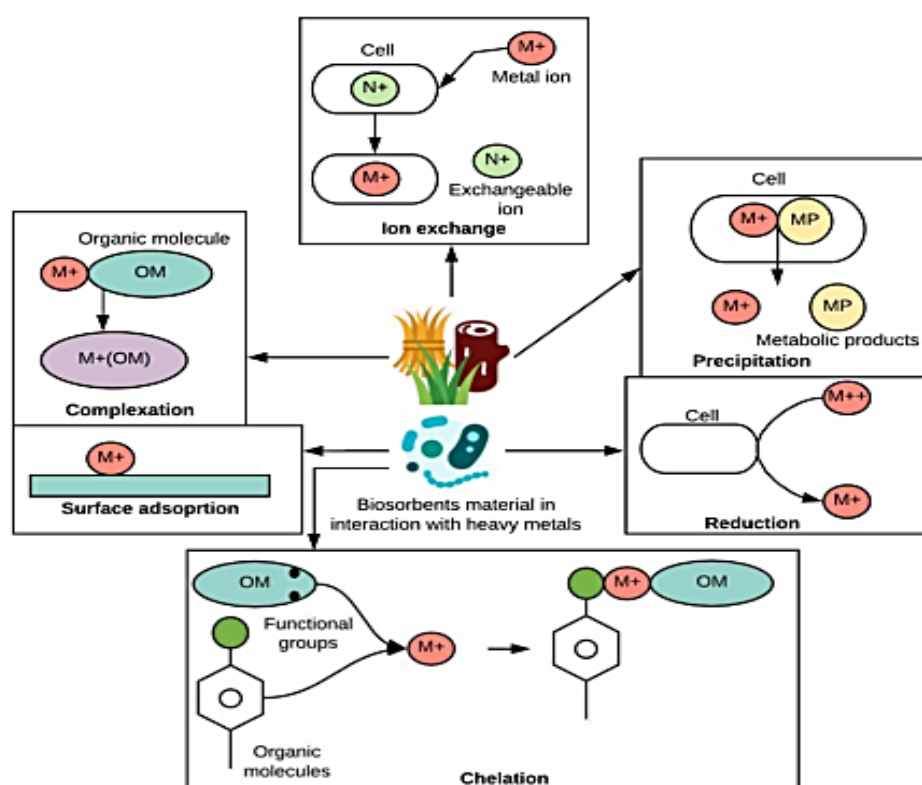
2.2.10. Fundamentos de Bioadsorción

La bioadsorción se refiere a la eliminación de compuestos (es decir, compuestos específicos de interés) de una solución por adsorción con un material biológico (González et al., 2018). Este proceso se aplica especialmente para metales y metaloides. Las ventajas de la biosorción se pueden enunciar de la siguiente manera: (i) la alta abundancia de materiales biosorbentes, (ii) su efectividad para el tratamiento de aguas residuales, (iii) simplicidad, (iv) funcionamiento similar a los procesos físico-químicos convencionales, y (v) competitividad de costos (Kelly-Vargas et al., 2012).

La bioadsorción puede considerarse como una tecnología físico-química, pero dado que implica el uso de organismos vivos o muertos y sus componentes, también considera las características biológicas del adsorbente (Kelly-Vargas et al., 2012). El principio general de esta tecnología es la interacción entre un sorbato (átomo, ión o molécula) y un biosorbente (superficie del agente biológico), lo que da como resultado la acumulación en la interfase sorbato-biosorbente, reduciendo así la concentración del sorbente en la solución. Existen muchos mecanismos entre los que se encuentran: complejación, quelación, reducción, precipitación e intercambio iónico (O. Ramírez et al., 2020). Las condiciones de operación en la eficiencia de remoción de metales pesados, las variables del proceso, como el pH, la temperatura, la concentración del biosorbente, el tiempo de contacto y la concentración de metales pesados, han sido ampliamente estudiadas y optimizadas para diferentes biosorbentes e iones metálicos (O. Ramírez et al., 2020). Por lo cual se debe seleccionar una técnica eficiente y de bajo costo.

Figura 4

Mecanismos generales de bioadsorción de metales pesados



Nota. Tomado de (O. Ramírez et al., 2020).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Metal

Es el elemento químico caracterizado por una fuerte conductividad térmica y eléctrica, brillo peculiar (metálico), se encuentran de forma natural en el medio ambiente, son aportados a los suelos y al ciclo hidrológico durante la erosión de rocas ígneas y metamórficas por la acción atmosférica física y química (Hermógenes & Josec, 2019).

2.3.2. Estructura química del contaminante

Cada compuesto posee características únicas, independiente de la naturaleza del contaminante, su estructura química determina su polaridad, solubilidad, volatilidad y capacidad para reaccionar con otras sustancias (Yadav et al., 2019).

2.3.3. Bioacumulación

La concentración es mayor en un compuesto químico en organismos que está en el entorno descompuesto. “También se usa para describir el incremento progresivo de la cantidad de un compuesto químico en un organismo, como resultado de que las tasas de absorción de la sustancia exceden su metabolismo y excreción”(Torres Ríos, 2019).

2.3.4. Remediación

Son aquellas operaciones que tienen por objetivo reducir la toxicidad y movilidad del contaminante, mediante la alteración de la composición de la sustancia peligrosa, a través de acciones químicas, físicas o biológicas (O. Ramírez et al., 2020).

2.3.5. Biorremediación

Proceso que permite reducir la toxicidad, movilidad o concentración del contaminante presente en el medio, mediante acciones biológicas (Torres Ríos, 2019).

2.3.6. Pollo de engorde Cobb 500

Pollo híbrido de la línea Cobb 500, después de los 25 días de edad, que ha pasado por un proceso de engorde y está listo para el faenamiento (N. Florida Rofner, 2019).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de diseño de investigación

El tipo de diseño es experimental (cuantitativo).

3.2. Población y muestra del estudio

3.2.1. Ubicación del estudio

Los humedales de Ite, es el segundo más grande de Sudamérica, está ubicada a 95 km noreste de la ciudad de Tacna, camino al Puerto de Ilo, por la vía costanera, es el principal atractivo en fauna y flora que ofrece la naturaleza, en el distrito de Ite. Presenta una ubicación de Norte: $17^{\circ}53'17''\text{S}$, $70^{\circ}59'17''\text{O}$ a 2 msnm.

Figura 5

Imagen satelital de la zona de muestreo de los humedales de Ite - distrito de Ite, provincia Jorge Basadre de la región Tacna



Nota. Obtenida de Google Earth Pro Ver. 7.1.8.3036.

3.2.2. Población

De acuerdo al presente estudio se tomó la referencia de 1 000 m² del humedal de Ite, el cual presenta la siguiente ubicación en el punto medio, coordenadas (latitud sur: 17°53'39"S longitud 70°59'13"W Oeste), con una altitud de 8 msnm.

3.2.3. Muestra

Se tomaron las muestras por conveniencia, cada muestra será de 1 litros de agua por cada vértice del cuadrante y un punto de muestreo en el medio, haciendo un total de 5 puntos de muestreo con 3 repeticiones y 3 tratamientos, respectivamente.

3.3. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto

3.3.1. Acciones y actividades para el cumplimiento del primer objetivo específico:

“Determinar el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción de cobre”.

3.3.1.1. Estrategia de estudio

- a. Se realizó la obtención de plumas de pollos de engorde de la línea Cobb 500, desde el centro de faenamiento de aves, seguidamente, se realizó la limpieza y secado de las plumas al sol por 3 días.
- b. Luego, se llevó las plumas al laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG, donde se realizó la trituración de las plumas con el molino eléctrico modelo Dual 3HP.
- c. Posteriormente, de manera experimental en el laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG, se procedió a realizar el monitoreo de la biorremediación por 24 horas.
- d. Para la experimentación con plumas de aves se tomó en consideración las dosis de los 3 tratamientos, también, el agua de los humedades de Ite, de los 5 puntos

de muestreo trasladada al laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG.

- e. Posteriormente, luego de 24 h. de la experimentación las muestras fueron colocadas en frascos de polietileno de 60 ml de capacidad, asimismo, se adicionó 0,3 ml de solución preservante (HNO_3 1:1) a cada frasco, se cerraron herméticamente los frascos, se hizo el llenado del rotulo con plumón de tinta indeleble y se envió al laboratorio SGS Perú para su análisis.

3.3.1.2. Frecuencia y horario de muestreo

Los registros del muestreo se realizaron los días sábados de 07:00 a 17:00 h, en un lapso 3 semanas, en cada viaje se recolecto 5 muestras de 3 litros de agua por cada punto de muestreo señalado; realizando un total de 3 repeticiones o 3 viajes. Adicionalmente, se registró la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad (%).

3.3.1.3. Descripción de uso de materia prima

Las plumas de pollos de engorde se obtuvieron de un centro de faenamiento de aves, ubicado en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. Estas plumas fueron seleccionadas y lavadas, para luego ser secadas al sol por 3 días.

3.3.1.4. Obtención de la harina de pluma de pollo

La molienda se obtuvo un contenido un poco duro que debe ser sometido a un proceso de molienda en molinos de martillos, para lograr la granulometría de 300 μm . Sin embargo, el procedimiento de molido obtuvo una formación algodonosa en vez de harina con el molino eléctrico modelo Dual 3HP. Esto debido a la sustancia plástica de la sustancia llamada queratina que recubre las plumas de las aves.

3.3.1.5. Método de recolección de datos

Se realizó el viaje al distrito de Ite, para la toma de muestras de agua de los humedales en los 5 puntos de muestreo descritos, (5 muestras de 1 L de agua).

De la misma manera, se realizó una segunda y una tercera toma de muestra haciendo un total de 3 repeticiones en los 5 puntos de muestreo de agua. Los datos del muestreo se anotaron en la Ficha de Recolección de Muestras del Anexo N°1.

3.3.1.6. Análisis de datos

Se realizó el envío de las muestras luego de la experimentación de biorremediación a base de plumas de pollos de engorde. El envío se realizó por medio de la empresa de transportes JACSA hacia la ciudad de Arequipa para ser entregado al laboratorio acreditado SGS Perú, el mismo, que realizó el análisis de metales totales respectivamente.

Luego, los datos obtenidos se registraron en la base de datos Excel para el análisis de resultados y el análisis estadístico factorial determinando así los niveles de remediación de cobre.

3.3.2. Acciones y actividades para el cumplimiento del segundo objetivo específico:

“Determinar el efecto del tratamiento (plumas de pollos de engorde) a diferentes proporciones en la remoción de hierro”.

3.3.2.1. Estrategia de estudio

- a. Se realizó la obtención de plumas de pollos de engorde de la línea Cobb 500, desde el centro de faenamiento de aves, seguidamente, se realizó la limpieza y secado de las plumas al sol por 3 días.
- b. Luego, se llevó las plumas al laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG, donde se realizó la trituración de las plumas con el molino eléctrico modelo Dual 3HP.
- c. Posteriormente, de manera experimental en el laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG, se procedió a realizar el monitoreo de la biorremediación por 24 h.

- d. Para la experimentación con plumas de aves se tomó en consideración las dosis de los 3 tratamientos, también, el agua de los humedales de Ite, de los 5 puntos de muestreo trasladada al laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG.
- e. Posteriormente, luego de 24 h. de la experimentación las muestras fueron colocadas en frascos de polietileno de 60 ml de capacidad, asimismo, se adicionó 0,3 ml de solución preservante (HNO_3 1:1) a cada frasco, se cerraron herméticamente los frascos, se hizo el llenado del rotulo con plumón de tinta indeleble y se envió al laboratorio SGS Perú para su análisis.

3.3.2.2. Frecuencia y horario de muestreo

Los registros del muestreo se realizaron los días sábados de 07:00 a 17:00 h, en un lapso 3 semanas, en cada viaje se recolecto 5 muestras de 3 L de agua por cada punto de muestreo señalado; realizando un total de 3 repeticiones o 3 viajes. Adicionalmente, se registró la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad (%).

3.3.2.3. Descripción de uso de materia prima

Las plumas de pollos de engorde se obtuvieron de un centro de faenamiento de aves, ubicado en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. Estas plumas fueron seleccionadas y lavadas, para luego ser secadas al sol por 3 días.

3.3.2.4. Obtención de la harina de pluma de pollo

La molienda se obtuvo un contenido un poco duro que debe ser sometido a un proceso de molienda en molinos de martillos, para lograr la granulometría de 300 μm . Sin embargo, el procedimiento de molido obtuvo una formación algodonosa en vez de harina con el molino eléctrico modelo Dual 3HP. Esto debido a la sustancia plástica de la sustancia llamada queratina que recubre las plumas de las aves.

3.3.2.5. Método de recolección de datos

Se realizó el viaje al distrito de Ite, para la toma de muestras de agua de los humedales en los 5 puntos de muestreo descritos, (5 muestras de 1 L).

De la misma manera, se realizó una segunda y una tercera toma de muestra haciendo un total de 3 repeticiones en los 5 puntos de muestreo de agua. Los datos del muestreo se anotaron en la Ficha de Recolección de Muestras del Anexo N°1.

3.3.2.6. Análisis de datos

Se realizó el envío de las muestras luego de la experimentación de biorremediación a base de plumas de pollos de engorde. El envío se realizó por medio de la empresa de transportes JACSA hacia la ciudad de Arequipa para ser entregado al laboratorio acreditado SGS Perú, el mismo, que realizó el análisis de metales totales respectivamente.

Luego, los datos obtenidos se registraron en la base de datos Excel para el análisis de resultados y el análisis estadístico factorial determinando así los niveles de remediación de hierro.

3.3.3. Acciones y actividades para el cumplimiento del tercer objetivo específico:

“Estimar el grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro) y las diferentes proporciones de tratamientos con plumas de pollo de engorde”.

3.3.3.1. Estrategia de estudio

Se realizó la comparación de los tratamientos y el grado de asociación de los mismos utilizando los datos del Excel y la formula respecto al grado de remediación de todas las muestras respecto a los procedimientos anteriores.

3.3.3.2. Método de recolección de datos

Se realizó viajes para la toma de muestra de agua de los 5 puntos de muestreo de los humedales de Ite por 3 repeticiones.

3.3.3.3. Análisis de datos

Se aplicó el software Stata 15, para el análisis estadístico donde se aplicó la prueba de normalidad y la prueba estadística de CORRELACIÓN Rho de Spearman.

3.4. Materiales e instrumentos

3.4.1. Material biológico

Plumas de aves (pollo de engorde Cobb 500), se realizó la recolección de un centro de faenamiento en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, guardando los protocolos adecuados de limpieza, luego del beneficio de las aves.

3.4.2. Materiales

- Se utilizó un termómetro ambiental digital interior/exterior de Marca Hakusa para registrar la temperatura y humedad en toma de muestra de los humedales de Ite.
- Se utilizó envases de plásticos de 5 litros limpios y esterilizados para la toma de muestras de agua de los humedales de Ite.
- Se utilizó sacos de polietileno de 25 kg color blanco, con la finalidad de transportar las plumas de aves de engorde desde el centro de faenamiento hasta el laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG.
- Se utilizó un molino para triturar las plumas de pollo de engorde, es decir molino de martillos, molino eléctrico modelo Dual 3HP para lograr la granulometría de 300 μm .
- Se utilizó Rótulos autoadhesivos para definir y caracterizar cada uno de los tratamientos del estudio realizado.
- Se utilizó frascos de polietileno de 60 ml de capacidad para el envío de muestras del estudio al laboratorio acreditado SGS Perú para su análisis respectivo.
- Se utilizó envases de plástico de 5 L de capacidad para la toma de muestra de agua en los humedales del distrito de Ite.

- Se utilizó envases de plástico de 2 L para el armado de los bloques y tratamientos en la experimentación.
- Se utilizó una balanza analítica de microgramos para el pesado de la pluma en cada tratamiento del experimento.
- Se utilizó equipos de vidrio para medición como son: pipeta y bombilla, con fines de absorber la muestra y pasarlo a los frascos de polietileno. También se utilizó el agitador de vidrio, para mezclar cada muestra, antes de la experimentación.
- También se empleó una cámara fotográfica SANSUM de última generación, para tomar fotografías de la toma de muestra en los humedales del distrito de Ite.
- Se utilizó un GPS digital para tomar el exacto de la toma de muestra de los humedales del distrito de Ite.
- Se utilizó vestuario adecuado (mandil blanco de laboratorio) y mascarillas descartables para protección.
- Se utilizó guantes de látex estériles talla S color verde para el trabajo de campo y de laboratorio.
- Otros materiales de laboratorio del laboratorio de Salud Pública y Saneamiento Ambiental de la Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNJBG.

3.4.3. Materiales de escritorio

- Se utilizó una laptop HP versión 3.5 para el trabajo en gabinete y análisis de datos del estudio descrito.
- Se utilizó una impresora Canon modelo 1310 para el trabajo en gabinete y donde realizó las impresiones.
- Se utilizó marcador de tinta indeleble para los rótulos de los diferentes tratamientos establecidos dentro del estudio.
- Se utilizó 1 millar de hojas A4 de 80 gramos se utilizarán en la tabulación de datos e impresiones del estudio.
- Se utilizó cinta masking de una pulgada de grosor para rotular los envases de los tratamientos establecidos por el estudio.
- Se utilizó cuaderno de campo para las anotaciones relacionadas a la experimentación y la toma de muestra.

- Y finalmente, se utilizó lapicero color azul Pailott 3.0 y regla de 20 cm y tijera para las anotaciones del estudio.

3.5. Tratamiento de los datos (análisis estadísticos)

3.5.1. Variables analizadas

Para el objetivo 1:

- Las variables independientes = Tratamientos en base a pluma de pollos de engorde a diferentes proporciones (4 gramos, 8 gramos) y un tratamiento control.
- Las variables dependientes = Disminución de las concentraciones de Cobre.

Para el objetivo 2:

- Las variables independientes = Tratamientos en base a pluma de pollos de engorde a diferentes proporciones (4 gramos, 8 gramos) y un tratamiento control.
- Las variables dependientes = Disminución de las concentraciones de Hierro.

Para el objetivo 3:

- Las variables independientes = Grado de asociación del tratamiento con plumas de pollo de engorde a diferentes proporciones de plumas de ave de engorde.
- Las variables dependientes = Disminución de cobre y hierro.

3.5.2. Prueba estadística

Para el cumplimiento del objetivo 1 y 2, se aplicó la prueba estadística de ANOVA con un $\alpha = 0,05$ y la prueba de Tukey HSD, utilizando el programa estadístico STATA 15.

Para el objetivo 3, se aplicó la prueba estadística de normalidad y la prueba estadística de CORRELACIÓN Rho de Spearman utilizando el programa estadístico STATA 15.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Efecto de las plumas de pollos de engorde en la remoción de cobre (Cu)

Tabla 6

Porcentaje de biorremediación de Cu

Plumas de pollo de engorde	T1 (4 gramos/litro)	T2 (8 gramos/litro)
Total	69,46%	56,94%

Nota. En la tabla muestra el porcentaje de remoción del cobre

Interpretación

La Tabla 6 evidencia un mayor porcentaje de remediación en el tratamiento 1 (de 4 gramos de pluma de pollo de engorde/litro de agua) en un 69,46% lo que indica una remediación moderada.

Tabla 7

Estimación del análisis de varianza para la concentración de Cu

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamientos	0,00110678	2	0,000553389	8,18	0,0015
B: Bloques	0,00105132	4	0,000262831	3,88	0,0117
INTERACCIONES					
AB	0,000202254	8	0,0000252818	0,37	0,9263
RESIDUOS	0,0020302	30	0,0000676733		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00439055	44			

Nota. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Interpretación

La Tabla 7 evidencia que existe una influencia de los tratamientos y de los bloques sobre la concentración de cobre ($p < 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza, sin embargo, no existió una interacción entre los tratamientos y los bloques ($p > 0,05$) sobre la concentración de cobre.

Tabla 8

Prueba de Tukey HSD a un 95 % de confianza para concentración de Cu por tratamientos

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T1: 4 g de plumas	15	0,00947267	0,00212404	A
T2: 8 g de plumas	15	0,011652	0,00212404	A
Control	15	0,020912	0,00212404	B

Nota. La tabla muestra la prueba de Tukey respecto a las concentraciones de cobre a diferentes tratamientos de plumas

Interpretación

La Tabla 8 evidencia la existencia de diferencias entre las concentraciones de cobre del tratamiento 1 y el tratamiento 2 respecto al grupo de control en cuanto a la concentración de cobre estimada. Sin embargo, no existieron diferencias entre las concentraciones de cobre de los tratamientos 1 y 2.

Tabla 9

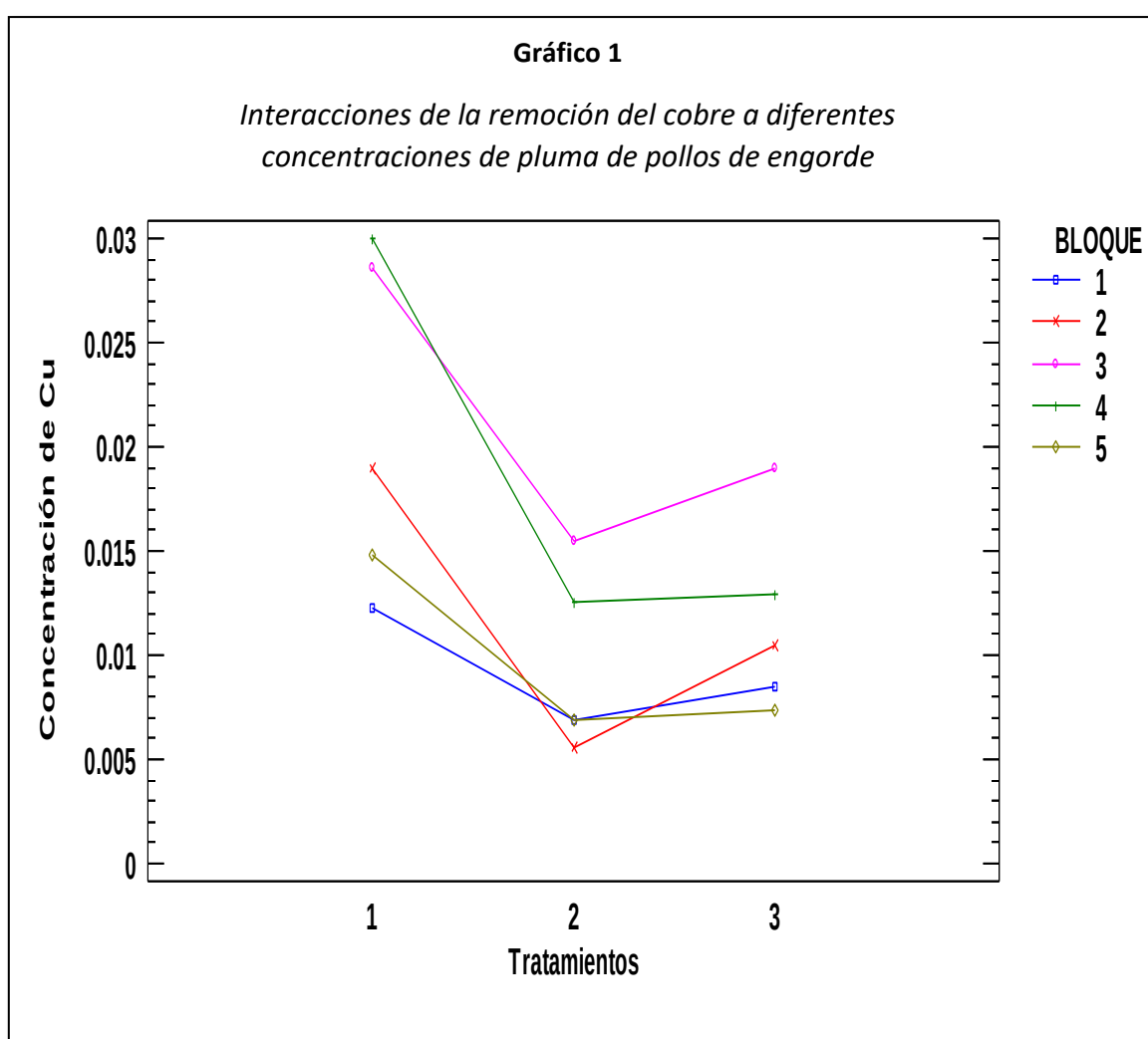
Prueba de Tukey HSD a un 95 % de confianza para concentración de Cu por bloques

BLOQUE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	9	0,00921778	0,00274213	A
5	9	0,00967333	0,00274213	A
2	9	0,0116444	0,00274213	AB
4	9	0,0184867	0,00274213	AB
3	9	0,0210389	0,00274213	B

Nota. En la tabla muestra la prueba de Tukey respecto a las concentraciones de Cobre por bloques

Interpretación

La Tabla 9 evidencia la existencia de diferencias en las concentraciones de cobre entre los bloques 1 y 5 respecto al bloque 3 en cuanto a la concentración de cobre estimada. Además, no existieron diferencias en las concentraciones de cobre entre los bloques 1, 3 y 5 respecto al bloque 2 y 4.



En el gráfico N°1, se evidencia que las concentraciones de cobre en el grupo (control) disminuyen más con el tratamiento 1 (4 g /L), que al emplear el tratamiento 2 (8 g/L).

4.2. Efecto de las plumas de pollos de engorde en la remoción de hierro (Fe)

Tabla 10

Porcentaje de biorremediación de Fe

Plumas de pollo de engorde	T1 (4 gramos/litro)	T2 (8 gramos/litro)
Total	93,19%	86,02%

Nota. En la tabla muestra el porcentaje de remoción del hierro

Interpretación

La tabla 10 evidencia un mayor porcentaje de remediación en el tratamiento 1 (de 4 gramos de pluma de pollo de engorde/litro de agua) en un 93,19% lo que indica una remediación alta.

Tabla 11

Estimación del análisis de varianza para la concentración de Fe

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamientos	193,291	2	96,6454	31,10	0,0000
B: Bloques	50,7442	4	12,6861	4,08	0,0093
INTERACCIONES					
AB	58,2337	8	7,27921	2,34	0,0435
RESIDUOS	93,2201	30	3,10734		
TOTAL (CORREGIDO)	395,489	44			

Nota. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Interpretación

La Tabla 11 evidencia que existe una influencia de los tratamientos y de los bloques sobre la concentración de hierro ($p < 0,05$), pudiendo afirmar ello con un 95 % de

confianza, asimismo, existió una interacción entre los tratamientos y los bloques ($p < 0,05$) sobre la concentración de hierro.

Tabla 12

Prueba de Tukey HSD a un 95 % de confianza para concentración de Fe por tratamientos

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T1: 4 g de plumas	15	0,33346	0,455144	A
T2: 8 g de plumas	15	0,684073	0,455144	A
Control	15	4,89475	0,455144	B

Nota. La tabla muestra la prueba Tukey para la concentración de hierro a diferentes tratamientos de plumas

Interpretación

La Tabla 12 evidencia la existencia de diferencias entre las concentraciones de hierro del tratamiento 1 y el tratamiento 2 respecto al grupo de control en cuanto a la concentración de hierro estimada. Sin embargo, no existieron diferencias entre las concentraciones de hierro de los tratamientos 1 y 2.

Tabla 13

Prueba de Tukey HSD a un 95 % de confianza para concentración de Fe por bloques

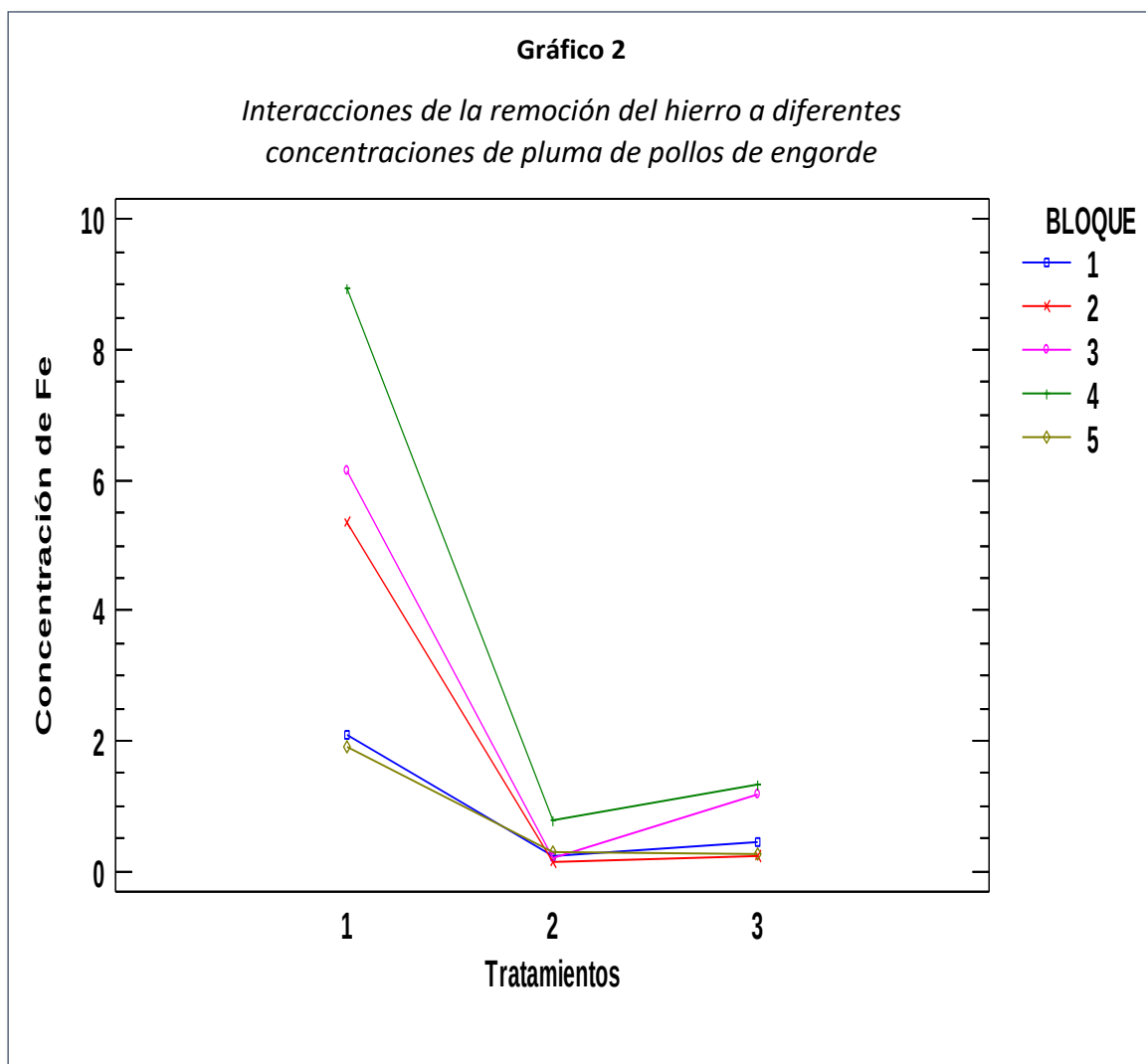
BLOQUE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5	9	0,823656	0,587588	A
1	9	0,9244	0,587588	A
2	9	1,91589	0,587588	AB
3	9	2,5046	0,587588	AB
4	9	3,68527	0,587588	B

Nota. La tabla muestra la prueba Tukey para la concentración de hierro por bloques

Interpretación

La Tabla 13 evidencia la existencia de diferencias entre las concentraciones de hierro en los bloques 1 y 5 respecto al bloque 4 en cuanto a la concentración de hierro

estimada. Además, no existieron diferencias en las concentraciones de hierro entre los bloques 1, 4 y 5 respecto al bloque 2 y 3.



En el gráfico N° 2, se evidencia que las concentraciones de hierro en el grupo (control) disminuyen más con el tratamiento 1 (4 g/L), que al emplear el tratamiento 2 (8 g/L).

4.3. Grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro) con plumas de pollo de engorde

Tabla 14

Estimación de la prueba de normalidad

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	GL.	Sig.	Estadístico	GL.	Sig.
Remoción de Fe con 4 g de plumas	0,200	15	0,110	0,878	15	0,044
Remoción de Fe con 8 g de plumas	0,221	15	0,046	0,858	15	0,023
Remoción de Cu con 4 g de plumas	0,236	15	0,024	0,820	15	0,007
Remoción de Cu con 8 g de plumas	0,222	15	0,046	0,866	15	0,030

Nota. La tabla muestra la prueba de normalidad a diferentes tratamientos de plumas

Interpretación

La tabla 14 evidencia que las remociones de hierro y cobre empleando 4 y 8 gramos de plumas de pollo de engorde no siguen una distribución normal con un 95 % de confianza ($p < 0,05$), por lo que corresponde el uso de una estadística no paramétrica de correlación, es decir Rho de Spearman.

Tabla 15

Estimación de la correlación entre el porcentaje de remoción de Fe y Cu utilizando el tratamiento 2 (4 g /L)

			T2_Cu
Rho de Spearman	T2_Fe	Coefficiente de correlación	0,450
		Sig. (bilateral)	0,092
		N	15

Nota. La tabla muestra la correlación entre la remoción de hierro y cobre utilizando el tratamiento 2

Interpretación

La Tabla 15 evidencia la no existencia de una correlación entre los niveles de remoción de hierro y cobre, en un 95 % de confianza, utilizando el tratamiento de 4 gramos de plumas de ave/litro de agua. ($p>0,05$).

Tabla 16

Estimación de la correlación entre el porcentaje de remoción de Fe y Cu utilizando el tratamiento 3 (8 g /L)

			T3_Cu
Rho de Spearman	T3_Fe	Coeficiente de correlación	0,225
		Sig. (bilateral)	0,420
		N	15

Nota. La tabla muestra la correlación entre la remoción de hierro y cobre utilizando el tratamiento 3

Interpretación

La Tabla 16 evidencia la no existencia de una correlación entre los niveles de remoción de hierro y cobre, en un 95 % de confianza, utilizando el tratamiento de 8 gramos de plumas de ave/litro de agua. ($p>0,05$).

DISCUSIONES

1. Efecto de las plumas de pollos de engorde en la remoción de cobre (Cu)

Respecto al efecto de las plumas de pollo de engorde en la remoción de Cu, podemos indicar en la Tabla 6 y 7, se evidencia que existe una influencia de los tratamientos ($p=0,0015$) y de los bloques ($p=0,0117$) sobre la concentración de cobre. Respecto a los tratamientos observamos que el tratamiento 1 (4 g/L) es el que presenta una mayor remediación de Cu con un 69,4 % a diferencia del tratamiento 2 (8 g/L) con un 56,9 % respectivamente.

Respecto a los límites máximos permisibles de cobre no supera los límites establecidos por la OMS (2,5 mg/L), además de la legislación peruana del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM (2017) y el Decreto Supremo N°031-2010-SA (2010). Siendo la dosis máxima de 0,036 mg/L y la dosis mínima de 0,005 mg/L en el presente estudio. (MINAM-PERÚ, 2017), (MINAN-PERÚ, 2010).

Nuestros resultados presentan similitud con los hallazgos de Machuca Loja (2016), quien en forma experimental obtuvo las queratinas de las plumas de ave con hidrólisis enzimática utilizando *Bacillus subtilis* con un ($p<0,05$) al cabo de 24 h. de retención hidráulica. También se encuentra similitud con los resultados encontrados por Polo et al (2023). Donde indica que las plumas de pollo retienen los metales, hasta 20 filtraciones, obteniéndose una remoción final de 93,3 % de cobre. (Rosario Polo Salazar et al., 2023). Luego Chakraborty y sus colaboradores (2020) modificaron las plumas de pollo utilizando etilendiamina para la eliminación de iones de cobre en agua contaminada con metales hasta una concentración de 20 mg/L, con una remoción de 98,9 %. (Chakraborty et al., 2020). Asimismo, (Kai & Misra 2020) (Zubair, 2023), sostuvo que la pluma de pollo alcalina tratada ultrasónicamente logro una remediación de Cu de 3,25 mg. (Rahmani-Sani et al., 2020b). Luego, Al-Asheh (2020), obtuvo partículas de pluma de pollo tratadas con NaOH y dodecil sulfato con una remoción de Cu del 100 %. Así también, la eliminación de Cu en aguas residuales utilizando polímeros derivados de

queratina alcanzó un 73 % de remoción. (Zahara et al., 2021). A su vez, los nanoquitosano pueden producir interacciones electrostáticas con redes poliméricas que realizan una eficiente remoción de Cu en aguas contaminadas, hasta en un 80 a 85 % de eficiencia en la remoción. (Zahara et al., 2021). Luego, en la región central de China, los resultados indicaron que la garza real, que se alimenta de peces pequeños y camarones en el río Shan Pui y Gei Wai estaban expuesto a un riesgo potencial para la salud por Cu y Pb para el andarríos bastardo se debió a la alta concentración de Cu en sus presas, que contribuyeron con el 84,9 % de remediación. (Man et al., 2021). Por otro lado, en Corea se describe concentraciones altas de Cu en las plumas puede ir variando según su posición, se encontró una concentración de 0,21 ppm en plumas primarias, 0,15 ppm en plumas secundarias, de 0,13 ppm en plumas terciarias, de 0,22 ppm en plumas de la cola y 0,20 ppm en plumas de contorno respectivamente. Lo cual indica que la remoción de Cu por plumas de aves es eficiente. (Sheikh et al., 2023). Finalmente, la queratina que envuelve las plumas de las aves a un PH bajo de 3 a 6 resulta eficiente para la eliminación de aniones metálicos en solución (Saha et al., 2019).

Sin embargo, nuestros resultados muestran discordancia con los hallazgos de Rahmani-Sani (2020), quien indica en una malla a base de pluma de pato la remoción del Cu solo alcanzó un 41 %. Asimismo, los patrones de acumulación y dispersión de metales en especies aviares constituyen información útil obtenida del análisis de las concentraciones de metales en diversos tipos de plumas (Sheikh et al., 2023).

Por otro lado, si tomamos en cuenta la remoción de cobre en relación a otros métodos de remediación, tenemos a (Liu et al., 2023) quien indica que los residuos agroindustriales lograron una remoción de cobre en agua del 89 %. Asimismo, otro tratamiento efectivo en aguas residuales con metales pesados es mediante el uso de nanoadsorbentes como una técnica de adsorción novedosa, no tóxica y rentable, con una remoción de cobre mayor al 90 % (Emenike et al., 2022) Luego, (Ab Hamid et al., 2022), indica otros métodos de remediación son la ultrafiltración puede remover iones de cobre en un 95 a 98 % a diferencia de la nanofiltración que alcanza una remoción de 98 a 99 % respectivamente. Por otro lado, la optimización de la electrocoagulación en la remoción

de cobre puede alcanzar un 80,22 % de eficiencia. (S & B, 2023). Todos estos resultados son superiores a los hallados en el presente estudio.

2. Efecto de las plumas de pollos de engorde en la remoción de hierro (Fe)

Respecto al efecto de las plumas de pollo de engorde en la remoción de Fe, podemos indicar en la Tabla 10 y 11, se evidencia que existe una influencia de los tratamientos ($p=0,0000$) y de los bloques ($p=0,0093$) sobre la concentración de hierro. Respecto a los tratamientos observamos que el tratamiento 1 (4 g/L) es el que presenta una mayor remediación de Fe con un 93,2 % a diferencia del tratamiento 2 (8 g/ L) con un 86 % respectivamente.

Respecto a los límites máximos permisibles de hierro si supera los límites establecidos por la OMS (0,30 mg/L), además de la legislación peruana del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM (2017) y el Decreto Supremo N°031-2010-SA (2010). Siendo la dosis máxima de 11.8 mg/L y la dosis mínima de 0.87 mg/L en el presente estudio (MINAM-PERÚ, 2017). (MINAN-PERÚ, 2010). Asimismo, nuestros resultados luego de la aplicación de los tratamientos a base de plumas muestran una eficiente remoción del hierro, por debajo de los LMP en ambos tratamientos de la experimentación. Por lo cual, se puede indicar que la pluma es un excelente remediador de iones de hierro.

Nuestros resultados tienen similitud con los hallazgos reportados por (Chakraborty et al., 2020), quien indica una capacidad máxima de adsorción de 43,5 mg/g. con una remoción de 98.7 % de hierro. También con los hallazgos de (Rosario Polo Salazar et al., 2023), donde indica que las plumas de pollo retienen los metales, hasta 14 filtraciones, obteniéndose una remoción final de 97.8 % de hierro. Además, (Masoumi et al., 2022), indica que, las plumas de pollo se componen de un 80 % a un 90 % de β -queratina, una proteína fibrosa, por lo cual la remediación del hierro es eficiente. Asimismo, (Johandra Raquel Guillen rivas et al., 2021) indica que las nuevas tecnologías presentan resultados atrayentes y pueden ser de gran beneficio según el medio donde se pretende desarrollar el proceso de remoción.

Sin embargo, nuestros resultados muestran discordancias con los hallazgos (Sayen et al. 2005), (Zubair, 2023), quien indica la filtración con una partícula de aminoácido de queratina sílice inmovilizada alcanza una remoción de 72 a 94 % de hierro. También, (Cárdenas y Flores, 2022) indican a la cáscara de plátano transformada en carbón activado reduce 0.79 mg/L. de hierro, con una remoción de 72 %, respectivamente. Por otro lado, (Olano-Arévalo et al., 2023) reporta hallazgos de remoción de 0.16 mg/L., utilizando sulfato de aluminio al 1 % como dosis óptima. Por otro lado, (Olano-Arévalo et al., 2023) indica que la Montmorillonite proveniente de la arcilla procesada termina siendo un buen removedor de hierro en un 80% de las soluciones acuosas al 80 %. Además, (Carrasco et al., 2022) indica hallazgos de remoción de iones de hierro usando granos de trigo en desecho de cervecería alcanzado una doble eficiencia en la adsorción de 0.2 mg/L., en comparación con otros como son los iones de manganeso, cadmio y níquel respectivamente. Luego, (Wang et al., 2022) reportó hallazgos de remoción de iones de hierro en una tasa máxima de 54.13 % luego del uso de microalgas de la especie *Microcystis aeruginosa* al cuarto día de tratamiento. Todos estos porcentajes de remediación de hierro se encuentran por debajo de los porcentajes reportados en el presente estudio.

3. Grado de asociación entre la remoción de iones metálicos (cobre y hierro) con plumas de pollo de engorde

En la Tabla 15 y 16, se evidencia la no existencia de una correlación entre los niveles de remoción de hierro y cobre, en un 95 % de confianza, utilizando el tratamiento de 4 g /L y el tratamiento de 8 g /L respectivamente. ($p>0,05$). Lo cual indica que la adsorción de cobre y hierro no están correlacionado, y por tanto cada ion metálico pasa por proceso de remediación de manera independiente de manera eficiente.

Referido a otros estudios, (Sheikh et al., 2023), indica que existe correlación entre los distintos atributos de las plumas: Primarias, Secundarias, Terciarias, Rectrices y Contorno. El atributo Primarias muestra una fuerte correlación positiva (aprox. 0,999)

con las Secundarias, lo que indica un alto grado de similitud entre estas dos características. Las Terciarias presentan correlaciones positivas sustanciales con las Primarias (aprox. 0,976) y las Secundarias (aprox. 0,967), lo que indica asociaciones significativas entre las Terciarias y estos atributos próximos. Las Rectrices presentan correlaciones positivas pronunciadas con las Primarias (aprox. 0,998), las Secundarias (aprox. 0,994) y las Terciarias (aprox. 0,989), lo que subraya la robusta interrelación entre estas características. Contorno muestra correlaciones positivas apreciables con Primarias (aprox. 0,973), Secundarias (aprox. 0,981) y Rectrices (aprox. 0,954), lo que sugiere conexiones potenciales entre Contorno y estos atributos respectivos.

Por otro lado, los desechos de plumas de aves de corral también se pueden aplicar al sector de la remediación ambiental y la eliminación de la contaminación. (Zhang et al., 2023). Las observaciones realizadas con el carbón activado producido a partir de plumas de aves de corral actuaron como un adsorbente altamente eficaz, con una eficiencia de eliminación que aumentó con el aumento de la concentración del adsorbente llegando al 97% de remoción de metales pesados en aguas residuales del lago Chivero. (Chiramba et al., 2019). Además, (Masoumi et al., 2022) indica que el tiempo de contacto de equilibrio para el cobre y el hierro se determina en 60 y 40 minutos respectivamente. Por lo tanto, la separación de partículas metálicas por la pluma de pollo es rápida. En tal sentido, el área superficial genera los posibles sitios activos para atrapar las partículas, y los grupos funcionales más efectivos pueden formar complejos con más iones metálicos del agua contaminada. El mecanismo de adsorción se divide en cuatro categorías: 1) interacción electrostática; 2) llenado de poros; 3) precipitación en la superficie del adsorbente; y 4) conexión de cationes con los grupos funcionales de la pluma de pollo.

CONCLUSIONES

1. El tratamiento con una dosis de 4 gramos de plumas/litro de agua, presentó una mayor remoción de cobre en 69,4 % con un $P < 0,05$. Lo cual constituye, un efecto considerado biorremediación moderada.
2. Asimismo, el tratamiento con una dosis de 4 gramos de plumas/litro de agua, presentó una mayor remoción de hierro en un 93,1 %, con un $P < 0,05$. Lo cual constituye un efecto de biorremediación alto.
3. Luego, el grado de asociación entre la remoción de iones metálicos de cobre y hierro en base a plumas de pollo de engorde no es estadísticamente significativo. Con un $P > 0,05$. Esto debido a que la eficiencia de la remediación se presentó de manera independiente entre ambos metales pesados.
4. Es importante señalar, que las plumas de pollo son un adsorbente natural que demostró su eficiencia de eliminación deseada en la adsorción de materiales inorgánicos, con igual o mayor porcentaje de remediación que otros absorbentes comerciales.
5. Finalmente, es de suma importante señalar que los biomateriales en base a la queratina tienen un enorme potencial en la biorremediación usando un producto de desecho, como es la pluma de pollo de engorde.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los investigadores de la universidad realizar otros estudios que complementen la importancia de la pluma de pollo de engorde en la biorremediación de otros metales pesados en las zonas contaminadas.
2. Se recomienda a los estudiantes de la universidad realizar la elaboración de un prototipo en base a queratina extraída de plumas de pollos de engorde, con la finalidad de realizar estudios adicionales al porcentaje de remediación de metales pesados considerados peligrosos para la salud pública y al medio ambiente.
3. Se recomienda a la municipalidad de Ite realizar investigaciones en las aves transitorias y perennes que se encuentran nadando en los humedales de Ite, para analizar en su plumaje la presencia de metales pesados.
4. Finalmente, se recomienda a las autoridades municipales de Ite realizar estudios complementarios a los animales domésticos que se encuentran al pastoreo extensivo en la zona de los humedales de Ite, con el fin de determinar la presencia de metales pesados en carne y sus derivados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab Hamid, N. H., bin Mohd Tahir, M. I. H., Chowdhury, A., Nordin, A. H., Alshaikh, A. A., Suid, M. A., Nazaruddin, N. 'Izzah, Nozaizeli, N. D., Sharma, S., & Rushdan, A. I. (2022). The Current State-Of-Art of Copper Removal from Wastewater: A Review. In *Water* (Switzerland) (Vol. 14, Issue 19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w14193086>
- Abraham, W., & Ccosi, C. (2019). Historia de la contaminación de la bahía de Ite por la empresa minera Southern Perú History of the pollution in Ite bay by the mining company Southern. 6(2), 70–79.
- Alarcón-pulido, M. C., Velázquez, S. R. R., & Saw, J. (2018). Use of poultry by-products as a protein source in the preparation of ruminant diets. 8(August), 59–67.
- Bada, A. A., & Taiwo, C. O. (2019). Incidence of heavy metals in feathers of birds in a human - impacted forest, south - west Nigeria. 2(April), 1–5. <https://doi.org/10.1111/aje.12635>
- Cárdenas, E. M. L., & Flores T. G. M. L. (2022). Efecto del carbón activado de cáscara de plátano (musa paradisiaca variedad hartón) en la remoción de hierro total del agua del subsuelo de la Universidad Nacional de Ucayali. Ucayali, Perú.
- Carrasco, K. H., Höfgen, E. G., Brunner, D., Borchert, K. B. L., Reis, B., Steinbach, C., Mayer, M., Schwarz, S., Glas, K., & Schwarz, D. (2022). Removal of Iron, Manganese, Cadmium, and Nickel Ions Using Brewers' Spent Grain. *Polysaccharides*, 3(2), 356–379. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3020021>
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A. K., Yadav, S., Susan, M. A. B. H., & Carabineiro, S. A. C. (2020). Intensified elimination of aqueous heavy metal ions using chicken feathers chemically modified by a batch method. *Journal of Molecular Liquids*, 312. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113475>
- Chiramba, R., Charis, G., Fungura, N., Danha, G., & Mamvura, T. (2019). Production of activated carbon from poultry feathers for waste water treatment. *Water Science and Technology*, 80(8), 1407–1412. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.388>
- Contreras, L. (2019). La Contaminación por Hierro - Plomo y su afectación en parámetros de Calidad del Agua en el río Chillón, estación San Diego – Noviembre, 2018. Universidad Ricardo Palma.
- Covre, W. P., Ramos, S. J., Pereira, W. V. da S., Souza, E. S. de, Martins, G. C., Teixeira, O. M. M., Amarante, C. B. do, Días, Y. N., & Fernandes, A. R. (2022). Impact of copper mining wastes in the Amazon: Properties and risks to environment and human health. *Journal of Hazardous Materials*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126688>

- Emenike, E. C., Adeniyi, A. G., Omuku, P. E., Okwu, K. C., & Iwuzor, K. O. (2022). Recent advances in nano-adsorbents for the sequestration of copper from water. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102715. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2022.102715>
- Gil-jiménez, E., Mateo, R., Lucas, M. De, & Ferrer, M. (2020). Feathers and hair as tools for non-destructive pollution exposure assessment in a mining site of the Iberian Pyrite Belt. *Environmental Pollution*, 114523. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114523>
- Gómez-Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista Facultad de Medicina*, 66(1), 7–8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- González, D., Álvarez Bernal, D., Mora, M., Buelna-Osben, H. R., & Ruelas-Insunza, J. R. (2018). Biomonitorio de metales pesados en plumas de aves acuáticas residentes del Lago de Chapala, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(2), 215–224. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.03>
- Haziri, I., Latifi, F., Rama, A., & Zogaj, M. (2019). ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTION WITH METALS IN SOME INDUSTRIAL REGIONS OF KOSOVO USING CHICKEN (*Gallus gallus domesticus*) BREAST FEATHERS. October. <https://doi.org/10.26873/SVR-553-2019>
- Hermogenes, B. A., & Josec, C. (2019). Efectos Toxicos De Los Metales Pesados Sobre La Flora, Fauna Y La Salud Humana En El Perú Trabajo De Suficiencia Profesional Presentado Por. Universidad Nacional Del Altiplano Facultad De Ingeniería De Minas.
- Inoñán, H., & Ballvé, E. C. (2020). Boletín estadístico mensual de la producción y comercializados de productos avícolas 2020.
- Johandra Raquel Guillen rivas et al. (2021). Estudio de los Procesos de Remoción de Hierro y Manganeso (9, Trans.). *Dialnet*, 6, 1–24.
- Kelly-vargas, K., Cerro-lopez, M., Reyna-tellez, S., Bandala, E. R., & Sanchez-salas, J. L. (2012). Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex. *Physics and Chemistry of the Earth*, 37–39, 26–29. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.03.006>
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., & Han, W. (2019). A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques. *Soil and Sediment Contamination*, 28(4), 380–394. <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>
- Liu, Y., Wang, H., Cui, Y., & Chen, N. (2023). Removal of Copper Ions from Wastewater: A Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 20, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph20053885>

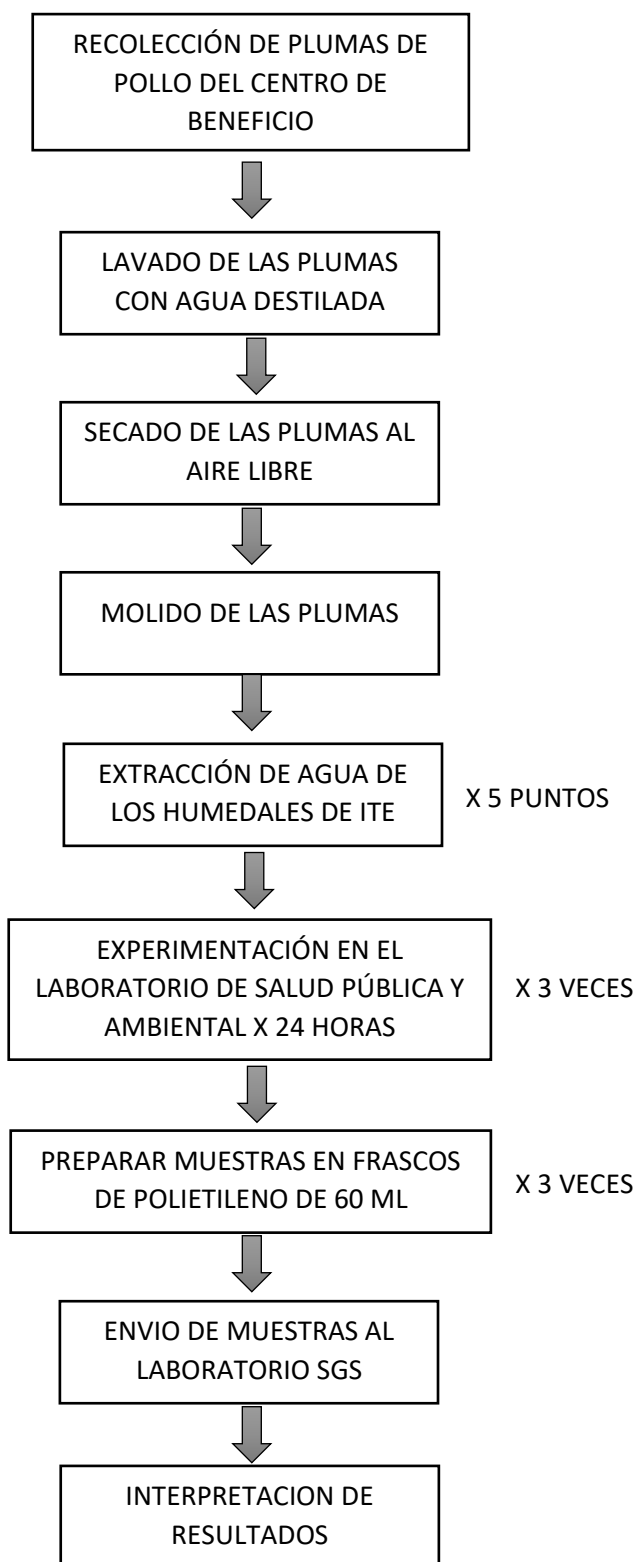
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Luis Emilio Cárdenas Mestas y Mery Laura Teresa Flores García. (2022). Efecto del carbón activado de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* variedad hartón) en la remoción de hierro total del agua del subsuelo de la Universidad Nacional de Ucayali, Perú.
- Machuca Loja, G., Madrid Celi, B. A., San Martín Galván, D., & Pérez Rodríguez, J. (2016). Queratina a partir de hidrólisis enzimática de harina de plumas de pollo, utilizando queratinasas producidas por *Bacillus subtilis* / Getting keratin from feather meal using keratinases produced by *Bacillus subtilis*. *Ciencia Unemi*, 9(20), 50–58. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp50-58p>
- Man, Y. B., Chow, K. L., Zhang, F., Lei, K. M., Leung, A. O. W., Mo, W. Y., & Wong, M. H. (2021). Protecting water birds of wetlands: Using toxicological tests and ecological risk assessment, based on metal/loid (s) of water, sediment and biota samples. *Science of the Total Environment*, 778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146317>
- Masoumi, H., Ghaemi, A., & Ghanadzadeh Gilani, H. (2022). Surveying the elimination of hazardous heavy metal from the multi-component systems using various sorbents: a review. In *Journal of Environmental Health Science and Engineering* (Vol. 20, Issue 2, pp. 1047–1087). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40201-022-00832-z>
- MINAM-PERÚ. (2017a). DS N°004-2017-MINAM: Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9.
- MINAM-PERÚ. (2017b). DS N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- MINAM-PERÚ. (2010a). Decreto Supremo N°010-2010-MINAM. Aprueban Limites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas. In *El Peruano* (p. 4).
- MINAM-PERÚ. (2010b). Decreto Supremo N°010-2010-MINAM. Aprueban Limites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas. In *El Peruano* (p. 4). http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf
- N. Florida Rofner. (2019). Plumas: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. *Revista De Investigaciones*, 21(3), 225–237.

- Olano-Arévalo, Roydichan, Tuesta-Casique, Angel, & Belén, A.-A. (2023). Artículo original Coagulation effect-flocculation in removal of iron and manganese in aquifer. *Rev. Amaz. Cienc. Ambient. Ecol*, 2(1). <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e464>
- O. Ramírez, Abdeldayem, O. M., Pugazhendhi, A., & Rene, E. R. (2020). Current Updates and Perspectives of Biosorption Technology : an Alternative for the Removal of Heavy Metals from Wastewater. 8–27.
- Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Pandey, S. C., Pande, V., Sati, D., & Gangola, S. (2019). Microbial keratinase : a tool for bioremediation of feather waste (Issue September). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818307-6.00013-5>
- Pastor, F., Alzamora, A., Mendoza, G., Monteza, D., & Rosales, R. (2018). Diseño Del Proceso Productivo De Harina a Base De Plumas De Pollo En La Empresa Distribuidora Avícola El Galpón E.I.R.L. Universidad de Piura.
- Rahmani-Sani, A., Singh, P., Raizada, P., Claudio Lima, E., Anastopoulos, I., Giannakoudakis, D. A., Sivamani, S., Dontsova, T. A., & Hosseini-Bandegharai, A. (2020a). Use of chicken feather and eggshell to synthesize a novel magnetized activated carbon for sorption of heavy metal ions. *Bioresource Technology*, 297, 122452. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122452>
- Rahmani-Sani, A., Singh, P., Raizada, P., Claudio Lima, E., Anastopoulos, I., Giannakoudakis, D. A., Sivamani, S., Dontsova, T. A., & Hosseini-Bandegharai, A. (2020b). Use of chicken feather and eggshell to synthesize a novel magnetized activated carbon for sorption of heavy metal ions. *Bioresource Technology*, 297, 122452. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122452>
- Rehman, M., Liu, L., Wang, Q., Saleem, M. H., Bashir, S., Ullah, S., & Peng, D. (2019). Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18003–18016. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05073-6>
- Rodríguez Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12), 3372–3385.
- Rosario Polo Salazar, Myriam Figueroa Cruz, Mario Leyva Collas, & Bheny Tuya Cerna. (2023). USO DE PLUMAS DE POLLO COMO MEDIO FILTRANTE PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS ÁCIDAS. *Hatun Yachay Wasi*, 3(1), 77–85. <https://doi.org/10.57107/hyw.v3i1.59>

- Rossi, R., Lamb, J., Janssen, S., Satgé, Y., & Jodice, P. (2020). Mercury , cadmium , copper , arsenic , and selenium measurements in the feathers of adult eastern brown pelicans (*Pelecanus occidentalis carolinensis*) and chicks in multiple breeding grounds in the northern Gulf of Mexico.
- Saha, S., Zubair, M., Khosa, M. A., Song, S., & Ullah, A. (2019). Keratin and Chitosan Biosorbents for Wastewater Treatment: A Review. In *Journal of Polymers and the Environment* (Vol. 27, Issue 7, pp. 1389–1403). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01439-6>
- Sheikh, M. A., Abbasi, N. A., Mustafa, G., Zaman, M. H., Majid, M., & Ahmad, S. R. (2023a). NON-INVASIVE BIO-MONITORING INVESTIGATION OF TOXIC TRACE ELEMENTS IN REMIGES (FLIGHT), CONTOURS (BODY), AND RECTRICES (TAIL) FEATHERS IN BUBULCUS IBIS (CATTLE EGRETS). In *Pakistan Journal of Science* (Vol. 75, Issue 4).
- Sheikh, M. A., Abbasi, N. A., Mustafa, G., Zaman, M. H., Majid, M., & Ahmad, S. R. (2023b). NON-INVASIVE BIO-MONITORING INVESTIGATION OF TOXIC TRACE ELEMENTS IN REMIGES (FLIGHT), CONTOURS (BODY), AND RECTRICES (TAIL) FEATHERS IN BUBULCUS IBIS (CATTLE EGRETS). In *Pakistan Journal of Science* (Vol. 75, Issue 4).
- Squadrone, S., Brizio, P., Favaro, L., Todino, G., Florio, D., Da Rugna, C., & Abete, M. C. (2019). Humboldt penguins' feathers as bioindicators of metal exposure. *Science of the Total Environment*, 650, 1734–1739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.326>
- S, Y. N., & B, Y. K. (2023). Removal of copper and lead by electrocoagulation process: effects of experimental parameters and optimization with full factorial designs. *J. Mater. Environ. Sci*, 14(2), 173–183. <http://www.jmaterenvironsci.com>
- Torres, D. R. G. (2019). “UTILIZACIÓN DEL HÍGADO DE LA PALOMA DE CASTILLA (*Columba livia*) COMO BIOMONITOR DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE LIMA.” Universidad Agraria La Molina.
- Torres Ríos, W. C. (2019). Biorremediación del agua recirculante en el cultivo intensivo del camarón blanco, utilizando microbiota autóctona del ecosistema del mangle rojo TESIS Para optar el Grado Académico de Doctor en Universidad Nacional Mayor de San Marcos Unidad de Posgrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Viloria Sierra, L., Azabache Zarta, M. P., Agudelo Valencia, R. N., & Hernández Fernández, J. A. (2019). Evaluación de la Hidrólisis enzimática de plumas de pollo para la obtención de Queratina. *Revista Politécnica*, 15(30), 17–24. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a2>
- Walter, L., & Fernández, I. (2011). Estudio de la Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía de Ite, Tacna Study of Pollution by Metals Ecotoxic in Sediments in the Bay of Ite, Tacna. 28–35.

- Wang, M., Gui, H., Chen, J., Li, C., Wang, C., Chen, C., Zhao, C., & Li, Y. (2022). Experimental Study on Removal of Iron, Manganese and Copper from Water by Microalgae. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(2), 1847–1855. <https://doi.org/10.15244/pjoes/142483>
- Yadav, V. B., Gadi, R., & Kalra, S. (2019). Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review. *Journal of Environmental Management*, 232(November 2018), 803–817. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.120>
- Zahara, I., Arshad, M., Naeth, M. A., Siddique, T., & Ullah, A. (2021). Feather keratin derived sorbents for the treatment of wastewater produced during energy generation processes. *Chemosphere*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128545>
- Zhang, L., Ren, J., & Bai, W. (2023). A Review of Poultry Waste-to-Wealth: Technological Progress, Modeling and Simulation Studies, and Economic-Environmental and Social Sustainability. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su15075620>
- Zubair, M. (2023). Feather Keratin Derived Sustainable Biosorbents for Adsorption of Heavy Metal Ions from Water.

ANEXOS

ANEXO N°1. FLUJOGRAMA DE LA EXPERIMENTACIÓN

ANEXO N°2.
FICHA DE TOMA DE MUESTRAS

Lugar: Humedales del Distrito de Ite.

Coordenadas de Referencia: 17°53'33" S, 70°59'32" W

Persona encargada de tomar las muestras: Gilma L. Chambe Cáceres

Fecha	Punto de muestreo	Cantidad	Temperatura	PH
17/02/2025	1	3 litros de agua	20°C	6
	2	3 litros de agua	18°C	6
	3	3 litros de agua	19°C	6
	4	3 litros de agua	20°C	6
	5	3 litros de agua	19°C	6
18/02/2025	1	3 litros de agua	20°C	6
	2	3 litros de agua	18°C	6
	3	3 litros de agua	19°C	6
	4	3 litros de agua	20°C	6
	5	3 litros de agua	19°C	6
19/02/2025	1	3 litros de agua	20°C	6
	2	3 litros de agua	18°C	6
	3	3 litros de agua	19°C	6
	4	3 litros de agua	20°C	6
	5	3 litros de agua	19°C	6

ANEXO N°3.
FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE TESIS

Recolección de plumas de pollo de engorde del centro de beneficio en el distrito
Gregorio Albarracín Lanchipa



Lavado y secado de la pluma luego de ser lavada con agua potable



Moliendo la pluma con la Moledora Eléctrica con 3 HP



Pluma de pollo de engorde ya triturada



Filtrado de la pluma de pollo de engorde



Llegando al distrito de Ite y camino a los humedales



Toma de muestra de agua de los humedales del distrito de Ite

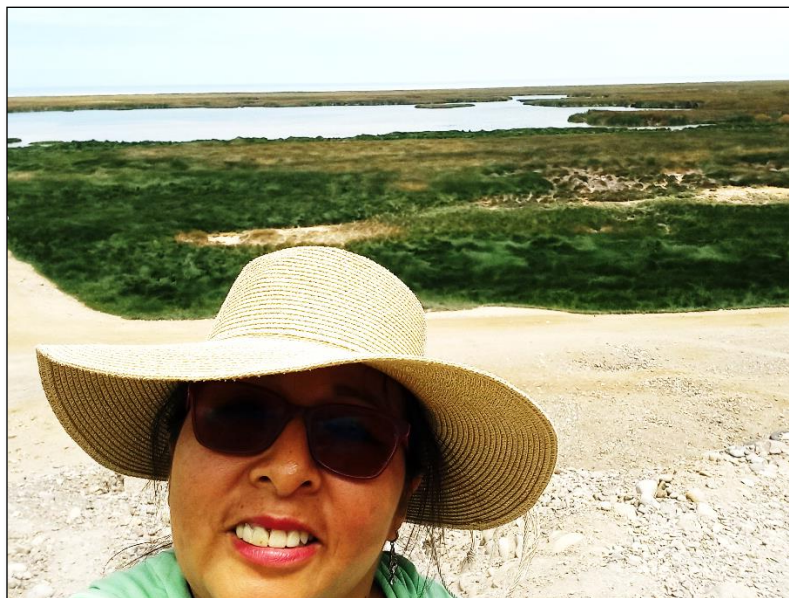


Muestreo: Punto 1**Muestreo: Punto 2**

Muestreo: Punto 3**Muestreo: Punto 4**

Muestreo: Punto 5

Se utilizó envases de plástico para la recolección de agua de los humedales



**Se realizó una caminata por la flora de los humedales de Ite,
para encontrar los puntos de recolección de agua**



**El agua de los humedales de Ite es llevada al laboratorio
de Salud Pública y Ambiental de la EMVZ - UNJBG**



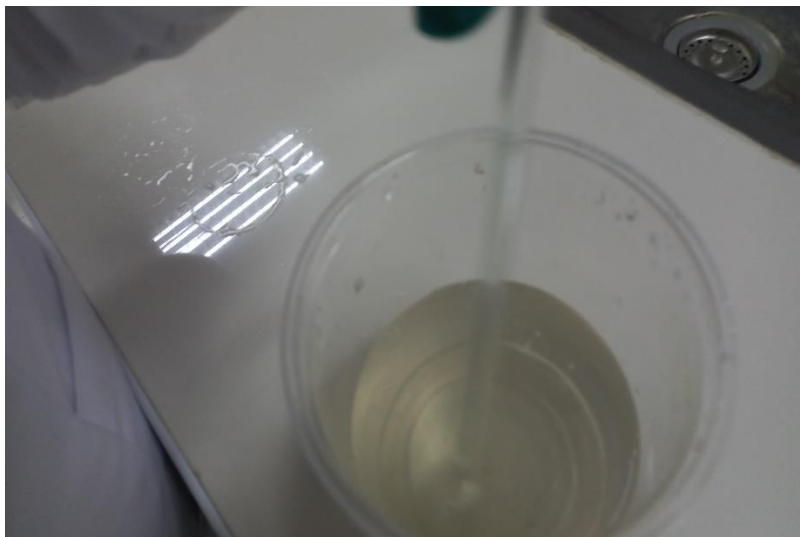
**Pesado de la pluma molida para la experimentación
(4 gramos de pluma/litro de agua)**



**Se procedió a mezclar las dosis pesadas
de acuerdo a la experimentación propuesta
en un lapso de 24 horas**



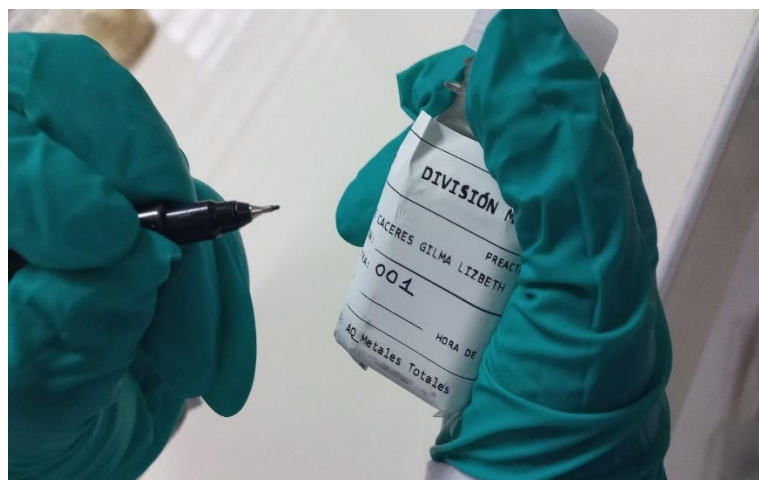
Se realizó el mezclado de cada muestra por un espacio de 5 minutos



Se realizó 3 repeticiones de la experimentación



Luego, se realizó el empaquetado de las muestras en frascos de polietileno de 60 ml para enviarlo al análisis en el laboratorio SGS de Arequipa



Se realizó cuidadosamente el rotulado de cada muestra



ANEXO N°4

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE REMEDIACIÓN DEL COBRE (Cu)

Para los parámetros seleccionados se calculó el porcentaje de remoción de la siguiente manera:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Dónde:

VPi: Valor Parámetro Inicial.

VPf: Valor Parámetro final.

Puntos de recolección	Número de Repeticiones	Unidad	Control	T2	T3	% REMEDIACIÓN T2	% REMEDIACIÓN T3
1	1	mg/L	0,01497	0,00566	0,00797	62,19	46,76
2	1	mg/L	0,00876	0,00478	0,00467	45,43	46,69
3	1	mg/L	0,02723	0,00471	0,02227	82,70	18,22
4	1	mg/L	0,03302	0,02935	0,02274	11,11	31,13
5	1	mg/L	0,02376	0,00527	0,00908	77,82	61,78
1	2	mg/L	0,01463	0,00412	0,00556	71,84	62,00
2	2	mg/L	0,01365	0,00544	0,01180	60,15	13,55
3	2	mg/L	0,02205	0,02948	0,02705	-33,70	-22,68
4	2	mg/L	0,02096	0,00446	0,00611	78,72	70,85
5	2	mg/L	0,01533	0,00866	0,00609	43,51	60,27
1	3	mg/L	0,00716	0,01093	0,01196	-52,65	-67,04
2	3	mg/L	0,03435	0,00636	0,01499	81,48	56,36
3	3	mg/L	0,03661	0,01233	0,00762	66,32	79,19
4	3	mg/L	0,03591	0,00380	0,01003	89,42	72,07
5	3	mg/L	0,00529	0,00674	0,00684	-27,41	-29,30
TOTAL			0.018510	0,005660	0.007970	69,42	56,94

ANEXO N°5

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE REMEDIACIÓN DEL HIERRO (Fe)

Para los parámetros seleccionados se calculó el porcentaje de remoción de la siguiente manera:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Dónde:

VPi: Valor Parámetro Inicial.

VPf: Valor Parámetro final.

Puntos de recolección	Número de Repeticiones	Unidad	Control	T2	T3	% REMEDIACIÓN T2	% REMEDIACIÓN T3
1	1	ml/L	0,8666	0,2548	0,3480	70,60	59,84
2	1	ml/L	2,3050	0,1995	0,0733	91,34	96,82
3	1	ml/L	6,8789	0,1329	0,3614	98,07	94,75
4	1	ml/L	11,2851	0,5916	0,6911	94,76	93,88
5	1	ml/L	1,3123	0,0859	0,1323	93,45	89,92
1	2	ml/L	3,4370	0,1415	0,2781	95,88	91,91
2	2	ml/L	2,0217	0,1279	0,2611	93,67	87,09
3	2	ml/L	4,7556	0,3252	2,4083	93,16	49,36
4	2	ml/L	5,3681	0,7785	1,0548	85,50	80,35
5	2	ml/L	3,0009	0,4576	0,2375	84,75	92,09
1	3	ml/L	1,9706	0,3129	0,7101	84,12	63,97
2	3	ml/L	11,7503	0,1238	0,3804	98,95	96,76
3	3	ml/L	6,8055	0,1495	0,7241	97,80	89,36
4	3	ml/L	10,2162	0,9644	2,2176	90,56	78,29
5	3	ml/L	1,4475	0,3559	0,3830	75,41	73,54
TOTAL			4,8947	0,33346	0,68407	93,19	86,02

ANEXO N°6
RESULTADOS DE LABORATORIO



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

CHAMBE CACERES GILMA LIZBETH

ENV / LB-356031-003

PROCEDENCIA : HUMEDALES DE ITE

Fecha de Recepción SGS : 21-02-2025

Fecha de Ejecución : Del 21-02-2025 al 28-02-2025

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
Estación 1
Estación 2
Estación 3
Estación 5
Estación 6

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 28/02/2025

**Carmen R. Guerrero Cantorin
C.Q.P.1198
Coordinador de Calidad**

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 1 de 12



SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao
Arequipa
Cajamarca

t (511) 517 1900
t (054) 213 506
t (076) 366 092
www.sgs.pe
e Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

Estación de Muestreo
Estación 4
Estación 7
Estación 9
Estación 8
Estación 10
Estación 11
Estación 12
Estación 13
Estación 14
Estación 15
Estación 16
Estación 17
Estación 18
Estación 19
Estación 20
Estación 21
Estación 22
Estación 23
Estación 24
Estación 25
Estación 26
Estación 27

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 2 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
e Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

Estación de Muestreo
Estación 28
Estación 29
Estación 30
Estación 31
Estación 32
Estación 33
Estación 34
Estación 35
Estación 36
Estación 37
Estación 38
Estación 39
Estación 40
Estación 41
Estación 42
Estación 43
Estación 44
Estación 45

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 3 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
e Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 1	Estación 2
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.01497 ± 0.00053	0.00566 ± 0.00021
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.8666 ± 0.039	0.2548 ± 0.012

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 3	Estación 5
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00797 ± 0.00029	0.00478 ± 0.00018
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.3480 ± 0.016	0.1995 ± 0.0093

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 6	Estación 4
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00467 ± 0.00018	0.00876 ± 0.00032
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.0733 ± 0.0036	2.3050 ± 0.10

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 7	Estación 9
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.02723 ± 0.00095	0.02227 ± 0.00078
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	6.8789 ± 0.28	0.3614 ± 0.017

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 8	Estación 10
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00471 ± 0.00018	0.03302 ± 0.0012

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 4 de 12



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 8	Estación 10
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.1329 ± 0.0063	11.2851 ± 0.49

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 11	Estación 12
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					10:00:00	10:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.02935 ± 0.0010	0.02274 ± 0.00080
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.5916 ± 0.027	0.6911 ± 0.031

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 13	Estación 14
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					10:00:00	10:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.02376 ± 0.00083	0.00527 ± 0.00020
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	1.3123 ± 0.059	0.0859 ± 0.0042

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 15	Estación 16
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					10:00:00	10:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00908 ± 0.00033	0.01463 ± 0.00052
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.1323 ± 0.0063	3.4370 ± 0.15

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 17	Estación 18
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					10:00:00	10:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00412 ± 0.00016	0.00556 ± 0.00021
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.1415 ± 0.0067	0.2781 ± 0.013

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 5 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 19	Estación 20
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					10:00:00	10:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.01365 ± 0.00049	0.00544 ± 0.00021
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	2.0217 ± 0.090	0.1279 ± 0.0061

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 21	Estación 22
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:00:00	11:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.01180 ± 0.00042	0.02205 ± 0.00077
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.2611 ± 0.012	4.7556 ± 0.20

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 23	Estación 24
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:00:00	11:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.02948 ± 0.0010	0.02705 ± 0.00094
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.3252 ± 0.015	2.4083 ± 0.11

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 25	Estación 26
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:00:00	11:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.02096 ± 0.00074	0.00446 ± 0.00017
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	5.3681 ± 0.23	0.7785 ± 0.035

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 6 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 27	Estación 28
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:00:00	11:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00611 ± 0.00023	0.01533 ± 0.00054
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	1.0548 ± 0.048	3.0009 ± 0.13

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 29	Estación 30
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:00:00	11:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00866 ± 0.00032	0.00609 ± 0.00023
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.4576 ± 0.021	0.2375 ± 0.011

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 31	Estación 32
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:30:00	11:30:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00716 ± 0.00026	0.01093 ± 0.00039
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	1.9706 ± 0.087	0.3129 ± 0.014

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 33	Estación 34
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:30:00	11:30:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.01196 ± 0.00043	0.03435 ± 0.0012
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.7101 ± 0.032	11.7503 ± 0.51

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 7 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 35	Estación 36
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:30:00	11:30:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00636 ± 0.00024	0.01499 ± 0.00053
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.1238 ± 0.0059	0.3804 ± 0.018

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 37	Estación 38
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:30:00	11:30:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.03661 ± 0.0013	0.01233 ± 0.00044
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	6.8055 ± 0.28	0.1495 ± 0.0071

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 39	Estación 40
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					11:30:00	11:30:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00762 ± 0.00028	0.03591 ± 0.0013
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.7241 ± 0.033	10.2162 ± 0.45

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 41	Estación 42
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					12:00:00	12:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00380 ± 0.00015	0.01003 ± 0.00036
Hierro Total	EW EPA200 8 AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.9644 ± 0.044	2.2176 ± 0.098

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 8 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 43	Estación 44
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025	18/02/2025
HORA DE MUESTREO					12:00:00	12:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL	AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales						
Cobre Total	EW EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00529 ± 0.00020	0.00674 ± 0.00025
Hierro Total	EW EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	1.4475 ± 0.065	0.3559 ± 0.016

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Estación 45
FECHA DE MUESTREO					18/02/2025
HORA DE MUESTREO					12:00:00
CATEGORIA					AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
SUB CATEGORIA					AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
Metales Totales					
Cobre Total	EW EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00684 ± 0.00025
Hierro Total	EW EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.3830 ± 0.018

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 9 de 12



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Cobre Total	mg/L	0.00009	<0.00009	2 - 4%	97 - 98%	97%	1%
Hierro Total	mg/L	0.0013	<0.0013	3%	99 - 100%	93%	6%

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 10 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_EPA200_8_AQ	Arequipa	Metales Totales	EPA- Method 200.8 Rev. 5.4, 1994 (VALIDADO - Modificado). 2016. Determination of trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 11 de 12

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2506335-0**

NOTAS

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- La incertidumbre expandida de medición reportada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$, de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; 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. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 12 de 12