



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Disminución de la concentración de metales pesados Pb^{2+} , Cd^{2+} ,
 Hg^{2+} en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de
microalgas *Chlorella Vulgaris*, *Scenedesmus Quadricauda*

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Yauricasa Sanchez, Alder Augusto Grimaldo (orcid.org/0000-0002-2730-5598)

ASESORA:

Dra. Cortez Caillahua, Mariella (orcid.org/0000-0002-0993-0242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2024



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CORTEZ CAILLAHUA MARIELLA, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Disminución de la concentración de metales pesados Pb²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺ en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas Chlorella Vulgaris, Scenedesmus Quadricauda", cuyo autor es YAURICASA SANCHEZ ALDER AUGUSTO GRIMALDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 16 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CORTEZ CAILLAHUA MARIELLA DNI: 09741618 ORCID: 0000-0002-0993-0242	Firmado electrónicamente por: MCORTEZC el 01- 08-2024 12:04:10

Código documento Trilce: TRI - 0816863



**Declaratoria de Originalidad del
Autor**

Yo, YAURICASA SANCHEZ ALDER AUGUSTO GRIMALDO estudiante de la de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Disminución de la concentración de metales pesados Pb²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺ en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas Chlorella Vulgaris, Scenedesmus Quadricauda", es de mi autoría, por lo tanto, declaro quela Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda citatextual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro gradoacadémico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, nicopiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
YAURICASA SANCHEZ ALDER AUGUSTO GRIMALDO DNI: 72965767 ORCID: 0000-0002-2730-5598	Firmado electrónicamente por: AYAURICASAS el 17- 07-2024 22:08:37

Código documento Trilce: INV - 1719855

DEDICATORIA:

A mi abuelo, Grimaldo Sánchez Cardenas, fuente inagotable de amor y apoyo, gracias por brindarme un hogar donde encontrar refugio y siempre tener un plato en la mesa. Tu generosidad y calidez han sido mi mayor inspiración.

A mi madre, Lourdes Sánchez Flores, mi primera maestra y guía en la vida. A pesar de los desafíos, has forjado mi carácter y me has enseñado la importancia de la perseverancia. Tu amor y dedicación son mi mayor tesoro.

A mi padre, Alder Washintong Yauricasa Verástegui, aunque nuestras vidas tomaron caminos separados, agradezco tu apoyo emocional. Tus palabras alentadoras y tu respaldo han sido faros que iluminaron mi camino, incluso a la distancia.

A todos ustedes les dedico este logro. Cada paso que he dado en este viaje académico ha sido posible gracias a su amor, apoyo y sacrificios. Este logro no solo es mío, sino también de quienes han estado a mi lado a lo largo de esta travesía.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco al Ing. Victor Carhuapoma de la Cruz y al Dr. Nicasio Valencia Mamani por haberme permitido realizar mi trabajo de investigación en el Laboratorio de Salud Animal – Zootecnia – Universidad Nacional de Huancavelica para así poder obtener mi título profesional.

A mis demás familiares, al grupo de investigación científica a cargo del Ing. Carhuapoma, que me guiaron y ayudaron en el laboratorio.

A mi pareja y a su madre que fueron apoyo fundamental brindándome todas las comodidades posibles dándome fuerzas, y motivándome a salir adelante en el trayecto y proceso de esta tesis.

Índice de contenidos

CARÁTULA.....	i
Dedclaratoria de autenticidad del Asesor	ii
Declaratoria de autenticidad del Autor	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.	viii
Índice de anexos	ix
Resumen	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA.....	14
III. RESULTADOS.....	43
IV.DISCUSIÓN	62
V. CONCLUSIONES.....	65
VI. RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS	74

Índice de Tablas

Tabla N ° 1 Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente. .	44
Tabla N ° 2 Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente. .	46
Tabla N ° 3 Interpretación de los valores ANOVA .	47
Tabla N ° 4 Remoción de capas en función al tiempo.	49
Tabla N ° 5 Parámetros de los metales.	51
Tabla N ° 6 Resultados del crecimiento y adaptabilidad de las microalgas .	53
Tabla N ° 7 Prueba estadística de la normalidad.	54
Tabla N ° 8 Prueba de homogeneidad de varianzas .	56
Tabla N ° 9 Prueba estadística ANOVA .	56
Tabla N ° 10 Pruebas de comparaciones múltiples.	57
Tabla N ° 11 Pruebas de normalidad.	58
Tabla N ° 12 Pruebas de homogeneidad de varianzas.	59
Tabla N ° 13 ANOVA.	59
Tabla N ° 14 Comparaciones múltiples.	60

Índice de figuras

Figura N°1 mapeo de la extracción de muestras de Santa Bárbara	25
Figura N°2 Extracción de muestras de la zona 3	26
Figura N°3 Recolección de Muestras para inoculación.....	26
Figura N°4 Primera fase de del proceso de inoculación	27
Figura N°5 Segunda fase de inoculación	30
Figura N°6 Última fase de inoculación	31
Figura N°7 envases para las microalgas.....	31
Figura N°8 aplicación de la inoculación de microalgas	33
Figura N°9 adaptabilidad completada de las microalgas	33
Figura N°10 análisis microscópico después de los nutrientes	34
Figura N°11 Análisis microscópico para la cuantificación de la biomasa	35
Figura N°12 Análisis microscópico y proliferación completa de la inoculación final	36
Figura N°13 adaptabilidad completada de las microalgas SQ	36
Figura N°14 Adaptabilidad de las microalgas SQ a los primeros días	37
Figura N°15 Preparativos para la caracterización de la SQ	37
Figura N°16 Caracterización de las primeras muestras de SQ.....	38
Figura N°17 Caracterización y cuantificación de las SQ	39
Figura N°18 Cuantificación y caracterización de las SQ	39
Figura N°19 Cuantificación y caracterización de las SQ	40
Figura N°20 Cuantificación y caracterización de las SQ	40
Figura N°21 Aparición de micro parásitos en el estanque de SQ	41
Figura N°22 Pruebas pre ensayos en portaobjetos con el medicamento	41
Figura N°23 micro parásitos estáticos sin vitalidad y la aparición de microalgas carroñeras.....	42
Figura N°24 Disminución de la proliferación de las SQ	43
Figura N°25 Análisis final de la adaptabilidad completada de la CV.....	43

Figura N°26	Pretest en tubos de ensayo para remoción de metales pesados	44
Figura N°27	Resultados de remoción del Pretest en tubos de ensayo	45
Figura N°28	Análisis microscópico de los resultados del Pretest en tubos de ensayo después del tratamiento	45
Figura N°29	Medición de la biomasa a colocar en los filtros de remoción	46
Figura N°30	Aplicación de la biomasa en los pomos de filtro para la remoción...	47
Figura N°31	Aplicación de la concentración de metales pesados en los pomos de filtro para la remoción	47
Figura N°32	Resultados de la sedimentación y remoción de metales pesados...	48
Figura N°33	Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados luego de la remoción	49
Figura N°34	Análisis microscópico de las muestras de metales pesados	49
Figura N°35	Medición de la biomasa a colocar en los filtros de remoción	49
Figura N°36	Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados	51
Figura N°37	Análisis microscópico de cadmio en fase de disolución química	51
Figura N°38	Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados luego de la remoción	52
Figura N°39	Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados luego de la remoción	53
Figura N°40	Resultados de la sedimentación y remoción de metales pesados...	56
Figura N°41	Análisis microscópico después del tratamiento.....	59

RESUMEN

La investigación de la tesis tiene ODS de reducir la contaminación ambiental de las aguas residuales es así que se plantea la remoción de metales pesados en aguas contaminadas mediante el uso de microalgas en los Andes peruanos teniendo como objetivo el demostrar la eficacia de la tecnología de filtración de microalgas para la eliminación de plomo, cadmio y mercurio en aguas contaminadas de origen industrial , con el uso de la metodología cuantitativa aplicada en una población de aguas industriales contaminadas con metales pesados, se obtuvo como resultado una reducción del 98.5% en la concentración de plomo, del 96.5% en cadmio, y del 98.4% en mercurio, evidenciando la eficacia del proceso en la disminución significativa de estos metales en el agua. En conclusión, la técnica de filtración con microalgas se tiene una alta eficacia en la limpieza de los metales pesados de las aguas residuales industriales.

Palabras Clave: Metales pesados, aguas contaminadas, microalgas, tecnología de filtración.

ABSTRACT

The thesis research focused on the removal of heavy metals in contaminated waters through the use of microalgae in the Peruvian Andes, with the objective of demonstrating the effectiveness of microalgae filtration technology for the elimination of lead, cadmium and mercury in waters. contaminated of industrial origin, with the use of the quantitative methodology applied in a population of industrial waters contaminated with heavy metals, the result was a reduction of 98.5% in the concentration of lead, 96.5% in cadmium, and 98.4% in mercury, evidencing the effectiveness of the process in the significant reduction of these metals in the water. In conclusion, the filtration technique with microalgae is highly effective in cleaning heavy metals from industrial wastewater.

Keywords: Heavy metals, contaminated waters, microalgae, filtration technology.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un recurso esencial para la vida y el bienestar de las comunidades en todo el mundo. Sin embargo, en las últimas décadas, ha surgido un problema crítico que amenaza la disponibilidad de agua segura y saludable, especialmente en las zonas rurales de los Andes peruanos. La industrialización y la explotación minera desempeñan un papel significativo en la contaminación de los ríos, lo que ha provocado una crisis ambiental y de salud pública en esa región montañosa (World, 2017).

En los Andes peruanos, la actividad minera experimenta un rápido crecimiento, con un enfoque en la extracción de minerales valiosos como el oro, la plata y el cobre. Si bien esta industria genera beneficios económicos a nivel nacional, también deja una huella devastadora en el medio ambiente y en las comunidades que dependen de los ríos para el abastecimiento de agua. La liberación de metales pesados tóxicos, como el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg), en las aguas de los ríos andinos ha generado una crisis de contaminación que amenaza la salud de las personas y los ecosistemas (Sosa, 2010).

La exposición crónica a metales pesados ha tenido consecuencias graves para la salud humana, incluyendo enfermedades neurológicas, daño renal y trastornos del desarrollo en niños. Además, la contaminación de los ríos afecta la vida acuática y la biodiversidad de la región, poniendo en peligro la sostenibilidad a largo plazo. Entre los metales pesados más preocupantes se encuentran el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg), debido a su persistencia, toxicidad y tendencia a bioacumularse en la cadena alimentaria (Ferrer, 2023).

La unidad minera Santa Bárbara, ubicado en la ciudad de Huancavelica, ex mina de polímeros de zinc, plomo y plata cuenta con varios canales de aguas ácidas que contienen metales pesados dichas aguas fluyen hasta vertirse en las cuencas hidrográficas aledañas.

En este contexto, la búsqueda de soluciones sostenibles para mitigar la contaminación por metales pesados en aguas industriales ha dado lugar a una creciente atención

hacia las microalgas, en particular, *Chlorella Vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda*. Estas microalgas poseen la capacidad de adsorber y acumular metales pesados de manera eficiente, lo que las convierte en candidatas prometedoras en sistemas de filtración y remoción de contaminantes en aguas contaminadas.

A medida que avanzamos en la comprensión y la búsqueda de soluciones para la contaminación del agua, la contribución de esta investigación se vuelve esencial en la búsqueda de estrategias eficaces y amigables con el medio ambiente para abordar el desafío de los metales pesados en aguas industriales contaminadas.

Problemática General: ¿En qué medida un filtro de microalgas es viable para la remoción efectiva de metales pesados Pb^{2+} , Cd^{2+} y Hg^{2+} en aguas contaminadas? La eficiencia de remoción de metales pesados por microalgas varía entre especies y depende de factores como el pH, la concentración inicial de metales Pb^{2+} , Cd^{2+} y Hg^{2+} , la biomasa algas y la presencia de otros contaminantes.

Problemática 1: ¿Cuáles son los principales problemas asociados con la contaminación del agua por metales pesados y por qué es crucial su remoción efectiva? La contaminación del agua con metales pesados, como plomo, cadmio y mercurio, que son tóxicos y pueden tener graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente. La remoción efectiva de estos metales pesados es esencial para garantizar la disponibilidad de agua segura y saludable para las comunidades afectadas.

Problemática 2: ¿Por qué es importante evaluar la adaptabilidad y el crecimiento de las microalgas en las condiciones de las zonas andinas para la efectividad del sistema de filtración y la sostenibilidad de la tecnología en esta región? La adaptabilidad y el crecimiento de las microalgas en condiciones de zonas andinas, que pueden ser diferentes a su hábitat natural. La evaluación de la adaptabilidad y el crecimiento de las microalgas es importante para garantizar la efectividad del sistema de filtración y la sostenibilidad de la tecnología en la región andina.

Objetivo General: Disminución de la concentración de metales pesados Pb^{2+} , Cd^{2+} y Hg^{2+} en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas *Chlorella*

Vulgaris, *Scenedesmus Quadricauda*.

Objetivos Específicos 1: Evaluar la concentración de Pb^{2+} , Cd^{2+} y Hg^{2+} en las aguas industriales contaminadas antes y después del tratamiento.

Objetivos Específicos 2: Analizar el desarrollo de las microalgas fuera de su hábitat natural para la adaptabilidad en zonas andinas en función al tiempo.

Hipótesis general el uso de un filtro de microalgas es efectivo para la remoción de metales pesados Pb^{2+} , Cd^{2+} y Hg^{2+} en aguas contaminadas industriales, reduciendo significativamente la concentración de metales pesados y cumpliendo con los estándares de calidad del agua establecidos.

Hipótesis del Objetivo Específico 1: La concentración de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en aguas industriales contaminadas disminuirá significativamente después del tratamiento con el filtro de microalgas.

Hipótesis del Objetivo Específico 2: Las microalgas *Chlorella Vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda* tienen la capacidad de adaptación y crecimiento en condiciones propias de zonas andinas, considerando factores como la temperatura, altitud y disponibilidad de nutrientes. Busca confirmar que estas microalgas pueden prosperar en este entorno específico, respaldando su uso efectivo en sistemas de filtración en estas regiones.

El artículo titulado “Determinación de metales pesados por métodos analíticos en residuos de Sulfato de Zinc producidos en un laboratorio de química” aborda la importancia de cuantificar y analizar metales pesados presentes en residuos generados a partir de reacciones de Zinc con Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado. El estudio se realizó en el Laboratorio de Química Básica de las Universidades Pontificia Bolivariana, sede Medellín y de La Habana. Los métodos utilizados incluyeron la Espectrometría UV-Visible y la Microscopía Electrónica de Barrido. Se encontró que el plomo (Pb) fue el principal metal pesado presente en todas las muestras de residuos de sulfatos de Zinc, lo que representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, se recomienda no verter estos residuos al alcantarillado (Lucia

y Dolores Torres Pérez.2019).

El libro “Microscopía Química Clásica: Aplicaciones en la Determinación de Metales y Minerales” aborda la identificación y caracterización de metales pesados, incluyendo plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), utilizando técnicas microquímicas y microscopía óptica. A través de métodos sencillos y probados, el autor proporciona una guía para determinar la presencia de estos elementos en muestras sólidas. La obra destaca la utilidad educativa y analítica de la microscopía química clásica, especialmente en el estudio de minerales y su aplicación en la geología y la química (Menor Salvan.2012).

La “*Symbiosis of microalgae and bacteria consortium for heavy metal remediation in wastewater*” explora la aplicación conjunta de microalgas y bacterias en la remediación de metales pesados en aguas residuales. La combinación de microalgas y bacterias como biosorbentes es ideal para tratar grandes volúmenes de aguas residuales con baja concentración de metales pesados. Además, se puede lograr la reutilización de la biomasa biológica de algas y bacterias. Este enfoque tiene un gran potencial en la industria para la sostenibilidad ambiental (Zhao et al. 2023).

El Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga *Bentónica Didymosphenia geminata* proporciona una metodología específica para la identificación y cuantificación de Didymo en muestras de agua y sedimentos. La técnica se basa en protocolos de la Directiva Marco de Agua, DARES, NIWA y publicaciones de expertos, adaptada para los ríos chilenos. El proceso incluye la toma de muestras, preparación, análisis y medidas de bioseguridad para evitar la dispersión del alga nociva durante los muestreos (Subpesca, 2016).

“*La biorremediación con microalgas (Spirulina máxima, Spirulina platensis y Chlorella vulgaris) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia*” explora la aplicación de microalgas como una alternativa para tratar la eutrofización en la laguna de Ubaque, Colombia. Las cepas de microalgas utilizadas incluyen *Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*. El objetivo es reducir los niveles de nutrientes (nitratos, nitritos y fosfatos) en la laguna y evaluar la

capacidad depuradora de las microalgas. Este enfoque ofrece una solución viable para abordar la eutrofización y mejorar la calidad del agua en la laguna (Ortíz, Romero y Daniela 2018).

“*Bioremediation of Wastewater Using Microalgae*” explora la aplicación de microalgas en la biorremediación de aguas residuales. A través de la utilización de cepas de microalgas como *Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*, se busca reducir los niveles de nutrientes (nitratos, nitritos y fosfatos) en las aguas residuales. Estos microorganismos tienen una alta capacidad para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua. La biorremediación con microalgas ofrece una alternativa sostenible y eficiente para tratar las aguas residuales y mitigar los impactos ambientales (Saikumar, 2014).

Según Wang et al. (2023), los investigadores se enfocaron en estudiar la biosorción de iones metálicos utilizando desechos de biomasa de algas, hongos y bacterias. Realizaron una serie de experimentos en lote para evaluar la capacidad de biosorción de diferentes tipos de biomasa residual frente a varios metales pesados, como plomo, cadmio, cobre y zinc. Analizaron el efecto del pH y la concentración inicial de metal en el proceso de biosorción. Sus resultados demostraron que la biomasa de algas y hongos presentó una alta capacidad de biosorción de metales pesados, principalmente en condiciones de pH ácido. Observaron que la biomasa fúngica exhibió una mayor afinidad por los iones metálicos en comparación con las algas y las bacterias. Los autores concluyeron que la biosorción en desechos de biomasa es una técnica prometedora y económica para la remoción de metales pesados de efluentes contaminados, ya que aprovecha residuos que de otra manera serían desechados.

Según Priti (2023) se centró en evaluar la biorremediación de metales pesados presentes en efluentes de fábricas de papel utilizando la microalga *Scenedesmus quadricauda*. Llevaron a cabo experimentos tanto en lote como en modo continuo, utilizando efluentes reales de la industria papelera. Analizaron la remoción de metales pesados como plomo, cadmio, cromo, níquel y cobre, así como también monitorearon

parámetros fisicoquímicos clave, como el pH, la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO). Sus resultados demostraron que *S. quadricauda* mostró una alta eficiencia en la remoción de estos metales pesados presentes en los efluentes, alcanzando porcentajes de eliminación superiores al 90% en algunos casos. Además, observaron una mejora significativa en los parámetros de calidad del agua tratada. Los autores concluyeron que *S. quadricauda* es un biosorbente prometedor para la biorremediación de metales pesados en efluentes industriales, gracias a su alta capacidad de bioacumulación y tolerancia a condiciones adversas.

Según Rosales et al. (2020), investigaron la biorremediación simultánea de nitrógeno y metales de aguas residuales mediante el escalamiento de biopelículas de microalgas. Cultivaron consorcios de microalgas inmovilizadas en lechos empacados y analizaron su capacidad para remover nitrógeno y metales como zinc, cobre y plomo. Los resultados demostraron una alta eficiencia de eliminación, con remociones de hasta el 98% para el nitrógeno y superiores al 90% para los metales pesados evaluados. Concluyeron que este enfoque es factible y prometedor para el tratamiento integral de aguas residuales contaminadas.

Zeraatkar et al. (2016) realizaron una revisión crítica sobre el potencial uso de algas para la biorremediación de metales pesados. Analizaron estudios previos enfocados en diversas especies de microalgas y sus mecanismos de biosorción, bioacumulación y biotransformación de metales tóxicos. Discutieron las ventajas y desafíos de esta tecnología, así como los factores que influyen en su eficiencia. Concluyeron que las algas representan una opción viable y prometedora para la biorremediación de metales pesados, siendo una alternativa sostenible y económica en comparación con los métodos convencionales.

Rosangela et al. (2021) estudiaron la biorremediación de metales pesados basada en microalgas, evaluando la producción de biomasa y la eficacia de biosorción. Realizaron experimentos con diferentes especies de microalgas expuestas a soluciones de diversos metales. Analizaron parámetros como la concentración inicial

de metal, el pH y el tiempo de contacto. Sus resultados demostraron que ciertas cepas de microalgas exhibieron una alta capacidad de biosorción y tolerancia a los metales pesados. Además, observaron un aumento en la productividad de biomasa en presencia de algunos metales. Concluyeron que esta técnica es efectiva y prometedora para el tratamiento de aguas contaminadas.

En el trabajo de M. Gopi et al. (2018), investigaron la remoción de metales pesados de soluciones acuosas mediante partículas de hierro cero-valente nanoscálaras estabilizadas con alginato, un polímero extraído de algas. Evaluaron la eficiencia de estas nanopartículas en la eliminación de cadmio, plomo, cobre y zinc. Los resultados mostraron una alta capacidad de adsorción y remoción de estos metales, con un mejor desempeño en comparación con las nanopartículas sin estabilizar. Concluyeron que este enfoque es prometedor para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados.

Silva et al. (2019), en su antecedente, exploraron la biorremediación simultánea de cadmio y zinc utilizando pellets de la microalga *Chlorella vulgaris*. Realizaron experimentos en lote y evaluaron el efecto de factores como el pH, la concentración inicial de metales y la dosis de biomasa. Sus resultados demostraron una alta eficiencia de remoción, con capacidades máximas de biosorción de 117 mg/g para cadmio y 92 mg/g para zinc. Además, observaron que la presencia de ambos metales no afectó significativamente la biosorción. Concluyeron que los pellets de *C. vulgaris* son un biosorbente prometedor para la remediación de aguas contaminadas con estos metales pesados.

El antecedente de Yu et al. (2021) se enfocó en investigar la biosorción de cadmio mediante el uso de la microalga *Scenedesmus obliquus* inmovilizada y acoplada a un biorreactor de membrana aeróbica. Realizaron experimentos en modo continuo, evaluando el efecto de diferentes condiciones operativas como el tiempo de retención hidráulico, la concentración inicial de cadmio y el pH. Los resultados demostraron una alta eficiencia de remoción de cadmio, alcanzando tasas superiores al 90% en determinadas condiciones. Además, observaron que la inmovilización de las

microalgas mejoró su capacidad de biosorción en comparación con los sistemas de células suspendidas.

En el antecedente de Shamaa et al. (2019), evaluaron la capacidad de la cianobacteria *Calothrix scytonemica* para remover metales pesados de aguas residuales sintéticas. Realizaron experimentos en lote utilizando soluciones con diferentes concentraciones de cadmio, plomo, cobre y zinc. Los resultados demostraron que esta cianobacteria fue capaz de remover eficientemente estos metales, con tasas de remoción superiores al 70% para cadmio y plomo. Además, observaron que la presencia de otros cationes no afectó significativamente la biosorción de los metales pesados.

El antecedente de G. Sibi (2019) se centró en comparar los mecanismos de remoción de metales pesados en sistemas de microalgas suspendidas y granulares. Realizaron experimentos con diferentes especies de microalgas expuestas a soluciones de cadmio, plomo y zinc. Sus resultados demostraron que los sistemas granulares exhibieron una mayor eficiencia de remoción en comparación con las células suspendidas, especialmente a altas concentraciones de metales. Concluyeron que la formación de gránulos de microalgas mejora la capacidad de biosorción y bioacumulación de metales pesados.

Ahmadzadeh et al. (2021) investigaron la biosorción de cobre y plomo por la biomasa viva y muerta de las microalgas verdes *Chlorella vulgaris*. Realizaron experimentos en lote y aplicaron modelos de isotermas, cinéticas y estudios termodinámicos. Sus resultados mostraron que ambas especies exhibieron una alta capacidad de biosorción para estos metales, con una mayor eficiencia en la biomasa muerta. Además, observaron que el proceso de biosorción fue espontáneo y endotérmico, ajustándose adecuadamente a los modelos de isoterma de Langmuir y cinética de pseudo-segundo orden.

En el trabajo de Pourbabaee et al. (2018), los autores realizaron una revisión sobre la biorremediación de metales pesados mediante el uso de biomasa de microalgas. Analizaron los mecanismos involucrados, como la biosorción, bioacumulación y

biotransformación, así como los factores que influyen en estos procesos. Discutieron las ventajas y limitaciones de utilizar diferentes especies de microalgas, destacando su potencial para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados.

Cano-Casas et al. (2018) evaluaron la biosorción de la microalga *Chlorella vulgaris* para remover plomo y cadmio de efluentes acuosos. Realizaron experimentos en lote utilizando soluciones sintéticas y aguas residuales reales de una planta de tratamiento. Analizaron el efecto de factores como el pH, la concentración inicial de metales y la dosis de biomasa en la capacidad de biosorción. Los resultados demostraron una alta eficiencia de remoción, con porcentajes superiores al 90% para plomo y cadmio en determinadas condiciones óptimas. Además, observaron que la biomasa de *C. vulgaris* exhibió una mayor afinidad por el plomo en comparación con el cadmio.

Goswami et al. (2022), en su antecedente, realizaron una revisión sobre las perspectivas actuales y futuras de la biorremediación de metales pesados por microalgas. Analizaron los mecanismos de biosorción, bioacumulación y biotransformación involucrados, así como los factores que influyen en su eficiencia. Discutieron las ventajas y desafíos de utilizar microalgas para este propósito, resaltando su potencial como una alternativa sostenible y económica frente a los métodos convencionales. Además, exploraron las posibles aplicaciones y direcciones futuras en este campo.

Ullah et al. (2022) realizaron una revisión sobre el uso de biomasa de algas para el tratamiento de aguas residuales industriales. Analizaron los mecanismos de remoción de contaminantes, incluyendo metales pesados, por parte de diferentes especies de algas. Discutieron las ventajas y desafíos de esta tecnología, así como los factores que influyen en su eficiencia. Además, destacaron el potencial de integrar el cultivo de algas con el tratamiento de aguas residuales para la producción de biocombustibles y otros productos de valor agregado.

En el antecedente de Wan Mahari et al. (2021), los investigadores exploraron la tecnología de inmovilización de microalgas para el tratamiento de aguas residuales y

la remoción de metales pesados. Realizaron una revisión de diferentes técnicas de inmovilización, como el atrapamiento en matrices poliméricas, la adhesión a superficies sólidas y la formación de biopelículas. Analizaron las ventajas y limitaciones de cada enfoque, así como su impacto en la eficiencia de remoción de contaminantes. Concluyeron que la inmovilización de microalgas es una estrategia prometedora para mejorar el rendimiento y la viabilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Tang et al. (2021) estudiaron el desempeño y los mecanismos de biosorción de metales pesados por la microalga *Scenedesmus obliquus*. Realizaron experimentos en lote utilizando soluciones de cadmio, plomo, cobre y zinc, evaluando el efecto de factores como el pH, la concentración inicial de metal y la dosis de biomasa. Sus resultados demostraron una alta capacidad de biosorción para estos metales, con una mayor afinidad hacia el cadmio y el plomo. Además, observaron que la biosorción fue un proceso rápido y espontáneo, ajustándose a los modelos de isoterma de Langmuir y cinética de pseudo-segundo orden.

El antecedente de Dumisane et al. (2024) se centró en analizar los factores que afectan la remoción de metales pesados del agua por bioadsorción en la biomasa de la microalga *Chlorella vulgaris*. Realizaron experimentos en lote con soluciones de cadmio, plomo, cobre y zinc, evaluando el efecto de variables como el pH, la concentración inicial de metal, la dosis de biomasa y la presencia de otros iones. Sus resultados indicaron que la biosorción fue más eficiente en condiciones ácidas y con altas concentraciones de biomasa, mientras que la presencia de otros cationes disminuyó la capacidad de biosorción debido a la competencia por los sitios de unión.

Torres et al. (2019) investigaron la biosorción de cobre y zinc por la biomasa de la microalga *Scenedesmus obliquus*. Realizaron una caracterización exhaustiva del proceso, analizando el efecto de diversos factores como el pH, la concentración inicial de metales, la dosis de biomasa y la presencia de otros iones. Aplicaron modelos cinéticos y de equilibrio para describir y predecir el comportamiento de biosorción. Sus resultados demostraron una alta capacidad de remoción para ambos metales, con una

mayor afinidad hacia el cobre. Además, observaron que la biosorción fue un proceso espontáneo y endotérmico, ajustándose adecuadamente a los modelos de isoterma de Langmuir y cinética de pseudo-segundo orden.

En el trabajo de Handojo et al. (2016), los autores realizaron una revisión detallada sobre la biosorción de metales pesados por biomasa de algas. Analizaron los mecanismos involucrados, como la adsorción en la pared celular, la precipitación y la complejación, así como los factores que influyen en la eficiencia del proceso. Discutieron las ventajas y limitaciones de utilizar diferentes especies de algas como biosorbentes, resaltando su potencial para el tratamiento de aguas contaminadas. Además, exploraron las aplicaciones potenciales de esta tecnología en varios sectores industriales.

Al-Homaidan et al. (2017) realizaron una revisión sobre el uso de microalgas para el tratamiento de aguas residuales. Analizaron los diversos mecanismos involucrados, como la biosorción, la bioacumulación y la biodegradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo metales pesados. Destacaron las ventajas de utilizar microalgas, como su alta eficiencia de remoción, la posibilidad de recuperar nutrientes y la generación de biomasa con valor agregado. Además, discutieron los desafíos y las perspectivas futuras en este campo.

En el antecedente de Badifu (2011), se investigó el biotratamiento de efluentes químicos de industrias utilizando algas. Se realizaron experimentos con diferentes especies de algas expuestas a efluentes reales de diversas industrias, evaluando su capacidad para remover contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y nutrientes. Los resultados demostraron la efectividad de las algas en la remoción de estos contaminantes, destacando su potencial como una tecnología sostenible y económica para el tratamiento de aguas residuales industriales.

El antecedente de Yang et al. (2021) se centró en estudiar la biorremediación de metales pesados en aguas residuales mediante el uso de microalgas verdes. Realizaron experimentos con diferentes especies de microalgas expuestas a soluciones de cadmio, plomo, cobre y zinc, evaluando su capacidad de biosorción y

bioacumulación. Sus resultados demostraron que ciertas cepas de microalgas exhibieron una alta eficiencia de remoción para estos metales, superando el 90% en algunos casos. Además, observaron que factores como el pH y la concentración inicial de metal influyeron significativamente en el proceso de biorremediación.

Existen diversos métodos para tratar las aguas residuales industriales contaminadas, como la oxidación química, la filtración, la adsorción y la precipitación. Sin embargo, estos métodos suelen ser costosos y no siempre resultan efectivos para eliminar los metales pesados presentes en las aguas residuales (Syner Tech SAS., 2022).

En los últimos años, se ha observado un incremento en la aplicación de sistemas de filtración basados en micro algas como una alternativa más eficaz y económica para la eliminación de metales pesados en aguas residuales de origen industrial. Las micro algas son organismos unicelulares fotosintéticos que poseen la capacidad de crecer rápidamente y absorber una amplia gama de contaminantes, incluyendo los metales pesados (Candela, 2016).

En la selección de microalgas para su implementación en sistemas de filtración, se buscaba identificar aquellas especies que sean capaces de tolerar la presencia de metales pesados y que exhiban una alta tasa de crecimiento y capacidad de absorción de estos elementos. Dos especies de microalgas ampliamente utilizadas en la remoción de metales pesados en aguas residuales son *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda* (Culebro, 2020) .

Las microalgas pueden eliminar los metales pesados mediante diversos mecanismos, como la adsorción, absorción y precipitación. Durante el proceso de fotosíntesis, las micro algas tienen la capacidad de absorber los metales pesados presentes en el agua y transformarlos en formas menos tóxicas, lo que conlleva a una reducción en la concentración de metales pesados en el agua tratada, la eficacia de los sistemas de filtración basados en micro algas para la eliminación de metales pesados en aguas residuales puede verse influenciada por diversos factores, como la concentración inicial de metales pesados en el agua, el tipo de micro alga utilizada, la tasa de crecimiento de la micro alga y el tiempo de retención hidráulica, el uso de sistemas de filtración basados en micro algas para la eliminación de metales pesados en aguas

residuales presenta múltiples beneficios, entre ellos una mayor eficiencia y un menor costo en comparación con otros métodos de tratamiento convencionales (Ortiz-Villota, M. T, 2018).

Además, las microalgas pueden ser aprovechadas como una valiosa fuente de biomasa para la producción de biocombustibles y otros productos de utilidad, lo que contribuye a un enfoque más sostenible y aprovechamiento integral de los recursos.

II. METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación: El enfoque de esta investigación es principalmente cuantitativo, ya que se basa en la medición y cuantificación de la concentración de metales pesados en las muestras de agua antes y después del tratamiento con el filtro de microalgas. Además, se utilizó un cálculo matemático para la cuantificación y concentración de los metales pesados en las muestras. También se realizó un análisis microscópico de las muestras de metales pesados para cuantificar la cantidad de metales presentes en la muestra.

El tipo de investigación es aplicada para lo cual se realizaron pruebas y análisis de laboratorio con el microscopio en vistas x40 y x100 para evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados por parte de las microalgas *Chlorella Vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda* en aguas contaminadas industrialmente.

El diseño fue experimental y se llevó a cabo siguiendo un diseño de grupos de tratamiento. Las muestras de agua contaminada se dividirán en diferentes grupos, donde cada grupo será tratado con un filtro de microalgas utilizando *Chlorella Vulgaris* o *Scenedesmus Quadricauda*. Se establecieron grupos de control para comparar la eficiencia de remoción de metales pesados de las microalgas con las condiciones iniciales de las muestras sin tratamiento.

VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN: En el estudio, se investigaron dos variables clave: la variable independiente fue el tipo de microalga utilizado (específicamente *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda*), mientras que la variable dependiente fue la concentración de metales pesados (plomo, cadmio y mercurio) en el agua tratada. Estas variables son fundamentales para comprender el impacto de las microalgas en la eliminación de metales pesados.

Definición conceptual: El uso de microalgas como filtro biológico permite la eliminación de contaminantes en el agua mediante procesos de adsorción, absorción y bioacumulación. Estas microalgas, organismos fotosintéticos unicelulares, tienen la capacidad de crecer rápidamente y absorber nutrientes, metales pesados y otros compuestos presentes en el agua (García-Morales, 2019).

Definición operacional: Se define operacionalmente como la implementación de un

sistema de filtración que involucra el cultivo y utilización de microalgas para la remoción de contaminantes presentes en el agua.

Indicadores: para los indicadores de la variable independiente se va tener en cuenta lo siguiente: Remoción de metales pesados (Pb, Cd, Hg), Biomasa de microalgas, Variación de pH del agua tratada, Temperatura del agua tratada, Capacidad de remoción de metales pesados.

Escala de medición: Porcentaje (%), gramos (g), potencial de hidrógeno (pH), Grados centígrados (°C), miligramos por litro (mg/L).

Población, muestra y muestreo

Población: La población representativa son las filtraciones acuosas del pozo de lavado con un caudal de 0.5 l/seg con metales pesados, específicamente plomo, cadmio y mercurio del centro turístico abandonado de la mina santa bárbara - Huancavelica.

Esta población puede ser representativa de las aguas residuales generadas por los relaves y lluvias que se acumularon en escorrentía en los pozos de lavado de metales pesados de diferentes sectores, como la minería, la metalurgia, entre otras que fueron activas o inactivas.

Muestra: 6 muestras de agua recolectadas con un volumen de 500 mililitros del centro turístico abandonado de la mina Santa Bárbara - Huancavelica.

Debido a la complejidad y variabilidad de las aguas contaminadas industriales, se seleccionó una muestra representativa de 6 puntos del pozo en donde se encontraba la concentración de metales pesados que una vez fue explotada y activamente en contaminación al ambiente en estas aguas. La muestra consistió en 6 muestras de agua recolectadas de la Mina Santa Bárbara teniendo en cuenta la diversidad de actividades industriales y las concentraciones de metales pesados esperadas.

Muestreo La técnica del muestreo fue puntual que consiste en seleccionar una única unidad de muestreo en cada ocasión de muestreo, ya que, se realizó de acuerdo con un diseño sistemático y aleatorio para garantizar la representatividad de la muestra. El proceso de muestreo comprendió los siguientes pasos:

:

- Identificación de las fuentes de aguas contaminadas industriales: Se identificaron las industrias existen 3 minas aledañas a Huancavelica y de fuentes de aguas residuales que contenían concentraciones significativas de plomo, cadmio y mercurio
- Selección aleatoria de las industrias a muestrear: Se utilizó un método de selección aleatoria para determinar las industrias específicas que fueron incluidas en la muestra.
- Recolección de muestras de agua: Se recolectaron muestras de agua directamente de las fuentes contaminadas del centro turístico abandonado de la mina de Santa Bárbara. Se siguieron protocolos de muestreo establecidos para garantizar la integridad y representatividad de las muestras.
- Registro de datos de las muestras: Se registraron datos relevantes asociados con cada muestra de agua y suelo, como la fuente industrial, la fecha de recolección, la ubicación y cualquier otro parámetro específico necesario para el análisis.

Muestreo en la zona minera:

Para la obtención de las muestras de los metales pesados se contactó a las empresas mineras que se encontraban alrededor de Huancavelica, las cuales se negaron en aceptar el muestreo respectivo de sus residuos industriales a pesar de que se les informo el motivo, en ese caso entonces se optó por realizar el muestreo en la mina abandonada Santa Bárbara que está ubicada a unos 15 minutos de la ciudad de Huancavelica la mina colonial fue explotada en la extracción de mercurio y plomo.

Se sabe que siempre existen desfogues y escorrentías de manera natural en todo tipo de mina ya sea por manipulación del hombre creando sequias o de manera natural se generan pequeñas cuencas en donde se filtran estos metales por las lluvias. Entonces se tomó en cuenta 3 zonas para ver qué zona tenía más concentración de contaminantes con los metales a tratar.



Figura N°1 mapeo de la extracción de muestras de Santa Bárbara

La zona 1 es la puerta principal de la mina colonial Santa Bárbara en donde tiene un canal en el que se filtran los residuos líquidos como lluvias o desbordes de agua hacia el interior de la mina.

En dicha zona se extrajo pequeñas muestras de roca y se observó que tenían alto contenido de hierro y unas cuantas fisuras que tenían cadmio las cuales gracias a la identificación de metales en diferentes libretos y manuales de caracterización se pudo identificar fácilmente dichos metales.

La zona 2 es el lugar en donde se encontraba la parte de escorrentía en donde se sacaban los metales pesados con un teleférico y que eran dirigidos a la zona de lavado y fundición en la zona se encontró residuos de plomo que habían sido sedimentados con el pasar del tiempo

Para la última zona 3 es el lugar en donde antiguamente lavaban y hacían la separación de los metales pesados utilizando diferentes químicos y adicionalmente el uso excesivo del mercurio.



Figura N°2 Extracción de muestras de la zona 3

La extracción se realizó meticulosamente del área de donde siempre desfoga sus líquidos en esa pequeña piscina de lavados, la cual a simple vista se denota una alta concentración de óxido por los metales que contiene y ácidos incluidos que quedaron sedimentados a lo largo de los años.



Figura N°3 Rotulación y envase de las muestras obtenidas de la zona 3

Una vez envasado y recolectado el contenido corrosivo fue reservado para su pronta experimentación y estudio de identificación de metales a encontrar.

Muestreo de microalgas en zona nativa: La obtención y selección de las cepas de *Chlorella Vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda* primeramente se tuvo que indagar en que posibles aguas dulces se podrían encontrar en Perú para así poder obtener cultivos puros de micro algas para así poder tenerlas en condiciones controladas de iluminación, temperatura y agitación.

De acuerdo a lo mencionado por Culebro que, en la selección de microalgas para su implementación en sistemas de filtración, se buscaba identificar aquellas especies que sean capaces de tolerar la presencia de metales pesados y que exhiban una alta tasa de crecimiento y capacidad de absorción de estos elementos. Dos especies de microalgas ampliamente utilizadas en la remoción de metales pesados en aguas residuales son *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda* (Díaz, 2012 - Culebro, 2020). Se eligió Huanta debido a su clima tropical, ideal para las microalgas. Se recolectaron muestras del lago Pampachacra, cerca de la ciudad. Allí se comenzó a cultivar las microalgas en un balde de aceite de 18 litros, marcando el inicio de la inoculación.



Figura N°4 Recolección de Muestras para inoculación

Técnicas e instrumentos de recolección de datos: para la obtención de datos sobre la concentración de metales pesados se optó por utilizar la microscopia química clásica, lo cual nos permite visualizar los metales pesados mediante el microscopio a vistas x100 y x40 mediante una reacción química o simplemente visualizarlas y caracterizarlas sin la necesidad de algún reactivo ya que se componen de estructuras claras y bien formadas los metales pesados (Salvan, 2010).

Y para la técnica de cuantificación se optó por realizar el cálculo matemático de la densidad de los metales pesados en las muestras, se registró la cantidad de metales

pesados encontrados en el portaobjetos, una vez cuantificada la muestra se realiza la operación matemática que es:

Concentración (MP en milímetros cúbicos) = (N° de metales observados en la muestra) / (Volumen muestreado en milímetros cúbicos)

Con esta fórmula matemática conjuntamente a la técnica de cuantificación del manual para el monitoreo e identificación de las microalgas bentónicas se obtendrá la concentración de metales pesados en la muestra del portaobjetos y luego de eso se multiplica a la escala del envase con los metales pesados. La ficha desarrollada se encuentra en anexo N°3 con su respectiva validación.

Una vez obtenido el promedio de milímetros cuadrados por muestra del metal pesado se resta al porcentaje total del envase del muestreo para deducir cual es la concentración exacta del metal dentro del envase de muestreo.

Recolección de datos sobre parámetros del agua y condiciones de cultivo:

- Medida de pH: se utilizaron medidores de pH calibrados para medir y registrar el pH del agua durante el tratamiento con microalgas.
- Medidas de temperaturas: Se utilizaron termómetros precisos para medir y registrar la temperatura del agua durante el tratamiento
- Medición de biomasa: Se emplearon técnicas como la determinación de la clorofila o la medición de la densidad óptica para estimar la biomasa de microalgas presente en las muestras de agua tratada de manera cotidiana.

Según el Manual para el monitoreo e identificación de la microalga bentónica *Didymosphenia geminata* (página 72, punto 5.1.3) se recomienda utilizar la técnica de cuantificación precisa de las microalgas para realizar un cálculo matemático y hallar la densidad bentónica de las microalgas ya sea de la *Chlorella Vulgaris* o la *Scenedesmus Quadricauda* Según la fórmula (Diaz, 2012).:

Densidad (organismos por milímetro cúbico) = (Número de organismos por muestra) / (Volumen muestreado en milímetros cúbicos)

Esta fórmula nos permite saber la densidad final de las microalgas que se encuentran en los pozos in vitro que están reservados en el laboratorio de

zootecnia de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Se anotó los resultados obtenidos para cada muestra analizada conjuntamente con la hora y fecha, en la columna del pH del agua, registra los valores medidos. En la columna de temperatura del agua, anota los valores en grados Celsius. En la columna de biomasa de micro algas, especifica la unidad de medida utilizada para cuantificar la biomasa La ficha desarrollada se encuentra en anexo N°3 con su respectiva validación.

Se realizó un registro de observaciones utilizando Cámaras o dispositivos de fotografía: Para documentar visualmente el crecimiento, remoción, adaptación, cuantificación, coloración de la clorofila y demás análisis visuales que me permitieron tener una evidencia bastante contundente del crecimiento de las microalgas y el poder de adaptabilidad con una cámara de celular a pesar de estar en Huancavelica que está a más de 3600 m.s.n.m. a unos 450 Km de la ciudad de Lima.

Técnica de preparación para el medio de cultivo óptimo para la inoculación:

Según Richmond, A. (2004) y Becker, E. W. (1994) proporcionaron una guía básica para la preparación del medio de cultivo óptimo para las micro algas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda*, aquí presento la metodología que se utilizó en el procedimiento de la preparación del medio de cultivo, recordando que la primera fase de las muestras fue en un balde de aceite de 18 litros en la provincia de Huanta.

- Ingredientes del medio de cultivo:

- Agua: se utilizó agua destilada para evitar la presencia de impurezas.
- Sales inorgánicas: Se utilizó una mezcla de sales inorgánicas que proporciono los nutrientes necesarios para el crecimiento de las micro algas. Se utilizó el nitrato de amonio ya que tiene mucha mejor sinergia al desarrollo de las microalgas.
- Fuentes de carbono: Para *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda*, el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico disuelto en el agua es suficiente como fuente de carbono. Sin embargo, se agregó una fuente de carbono adicional, bicarbonato de sodio (NaHCO₃).

- Preparación del inculo:

Para la preparación del cultivo como mencionado antes la base del crecimiento fue realizado en un balde de 18 litros para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

Paso 1: Para 14 litros de agua se disolvió 200 gramos de nitrato de amonio en 400ml de agua destilada.

Paso 2: Se colocó el de igual medida 200 gramos de bicarbonato de sodio en 400ml de agua destilada para agregarle una fuente extra de carbono. La concentración puede variar dependiendo de tus requerimientos y del pH deseado del medio de cultivo.

Paso 3: Se añadió adicionalmente una fuente de nutrientes, como los oligoelementos y las vitaminas, zinc, magnesio y potasio.



Figura N°5 Primera fase de del proceso de inoculación

En la figura N°5 se visualiza el cambio de pigmentación una vez aumentado la fuente de nutriente adicional del potasio, zinc y magnesio.

Paso 4: Se ajustó el pH del medio de cultivo a un rango adecuado para el crecimiento de las microalgas. Para *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus Quadricauda*, un pH entre 7 y 8.5, para el pre cultivo de microalgas se tenía 7.8 de pH.



Figura N°6 Segunda fase de inoculación

En esta figura N°6 se puede visualizar como sedimentó las muestras de las microalgas y la pigmentación de los nutrientes es bastante amarillenta.

Paso 5: Se colocaron las 2 cepas de microalgas obtenidas en los 3 lagos que se encontraban en Pampachacra.

En el transcurso de 3 semanas con un constante movimiento y que la radiación solar haga su trabajo con la fotosíntesis de las microalgas se obtuvo una proliferación de las microalgas:



Figura N°7 Última fase de inoculación

En la Figura N°7 representa la tercera semana de incubación para la proliferación de las

microalgas la pigmentación es bastante notoria dando un mensaje visual positivo para la presencia de microalgas.

El proceso experimental se inició con la culturización in vitro de microalgas utilizando métodos básicos. Posteriormente, en busca de una eficiencia de remoción más precisa, se empleó un microscopio para la identificación específica de las microalgas proliferadas, centrándose en la *Chlorella Vulgaris* o la *Scenedesmus Quadricauda*.

La tercera fase consistió en la solicitud formal a la Universidad Nacional de Huancavelica, específicamente al laboratorio de zootecnia de salud animal, dirigida al Jefe de Laboratorio de Salud Animal y al Vicepresidente del Centro de Investigación Científica Multidisciplinaria. La aprobación de esta solicitud resultó en una carta de aceptación de la universidad, que se adjunta en el **anexo N°4** como parte integral de la presente tesis.

En el cuarto paso, ya en la provincia de Huancavelica, se procedió al cultivo de microalgas a una altitud superior a 3600 msnm. La proximidad de la mina de Santa Bárbara facilitó la obtención de muestras de metales pesados para su posterior remoción. Es relevante destacar que también se consideraron otras minas activas en las proximidades de Huancavelica.

Técnica de cultivo de microalgas in vitro laboratorio de zootecnia UNH:

Para el cultivo de las microalgas se consideró algunos pasos del protocolo que al inicio de la preparación del medio de cultivo optimo y siguiendo los parámetros dichos por Richmond, A. (2004) y Lee, Y. K. (2001) se realizó lo siguiente:

- **Para el cultivo de la Chlorella Vulgaris:**

Se preparó una tina transparente para que la iluminación sea adecuada y rectangular para que tenga el espacio de circular oxígeno naturalmente.



Figura N°8 envases para las microalgas

Se preparó el cultivo madre de la *Chlorella Vulgaris* que es nuestro inóculo traído desde Huanta el primer balde de 12 litros de contenido líquido y se trasladó a las 2 tinas la cual la primera tina con luz violeta es donde se encuentra la *Chlorella Vulgaris*.



Figura N°9 aplicación de la inoculación de microalgas

Teóricamente la *Chlorella Vulgaris* tiende a sedimentarse con mucha facilidad y generar biomasa visible en la profundidad del balde en cuanto a la *Scenedesmus Quadricauda* le gusta estar en la superficie acuática y solo se sedimentan a cambios climáticos bruscos.

- Condiciones de cultivo:

Se colocaron las tinas en un lugar sumamente controlado con una luz adecuada y temperatura ambiente para la aclimatación de las microalgas, la temperatura adecuada para la *Chlorella Vulgaris* es de 25-30°C, ya que son termófilas, pero por el clima la temperatura estándar de la sala era de unos 12-17°C.

Se proporcionó una iluminación continua con una intensidad de alrededor de 2000-

5000 lux utilizando luces LED de color rojo y azul asimilando el violeta para una fotosíntesis adecuada de la microalga.

Se agitó suavemente los cultivos de forma continua e intermitente para proporcionar una mezcla adecuada y evitar la sedimentación.



Figura N°10 adaptabilidad completada de las microalgas

- **Monitoreo y mantenimiento:**

Se llevó a cabo una medición estándar del nivel de pH, observándose que no fue necesario realizar ajustes, dado que las microalgas se encontraban dentro de un rango pH establecido entre 7.5 y 8.5.

Se mantuvo la conductividad estandarizada de entre 4200 a 6400us/cm y la temperatura de entre 10-19°C.

Se dio los nutrientes a la *Chlorella Vulgaris* periódicamente con las dosis adecuadas de acuerdo a la cantidad de líquido contenido en la tina, en la tina "CV" se encontraban 10 litros de agua con microalgas la cual se puso una concentración de 15ml de bicarbonato de sodio para su fuente de carbono y 30ml de nitrato de amonio para su nutriente mineral.

Para verificar la densidad celular se utilizó un microscopio con vistas x40 y x100 para monitorear diariamente el crecimiento de la microalga *Chlorella Vulgaris*, la cual inicialmente antes de colocar los nutrientes se pudo visualizar el estado de las microalgas luego del viaje de 6 horas desde Huanta hacia Huancavelica:

Las bases iniciales antes de colocar los aditivos fue bastante conmovedor poder encontrar 4 células de *Chlorella Vulgaris*, ya que en este viaje muchos factores

corrieron en riesgo a que se echara a perder el único inoculo, la coloración era bastante pálida.

Luego de colocar los aditivos y esperar a la mañana siguiente se realizó otro análisis para ver cómo habían reaccionado las microalgas ante el tratamiento dado.

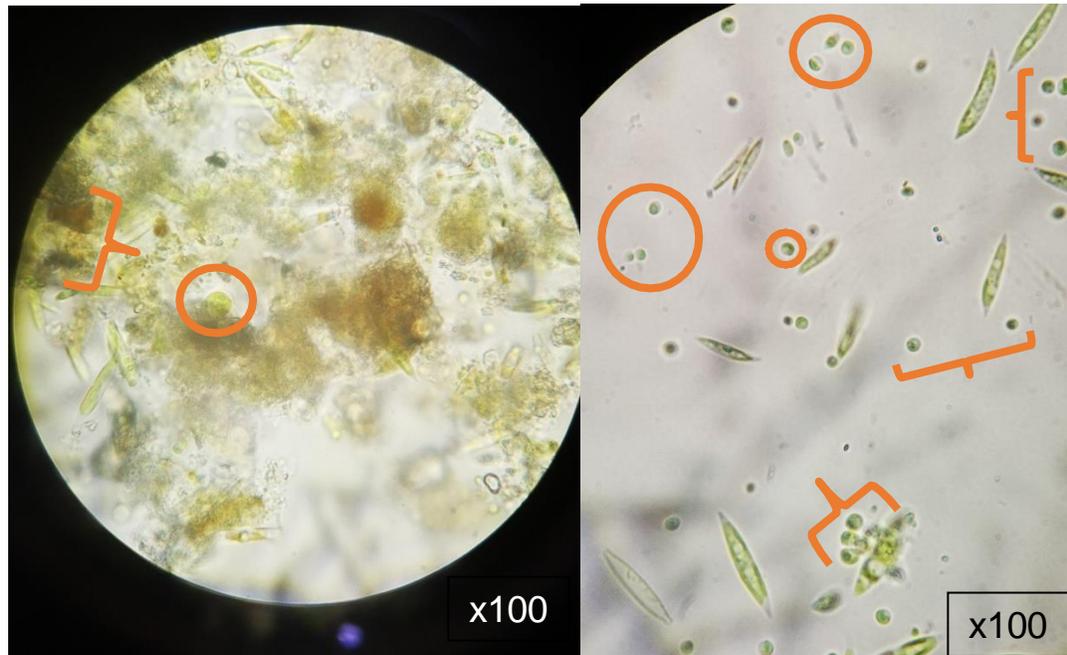


Figura N°11 análisis microscópico después de los nutrientes

Los aditivos fueron colocados todos los días desde su llegada desde el 25 de septiembre del 2023 hasta el 13 de octubre del 2023 con una constante supervisión de 8 horas continuas de lunes a viernes fotografiando cada avance y proliferación de la *Chlorella Vulgaris*.

Día 3 del desarrollo de las microalgas "C.V."



Figura N°12 Análisis microscópico para la cuantificación de la biomasa
Estas imágenes muestran la biomasa sedimentada y con una coloración estupenda

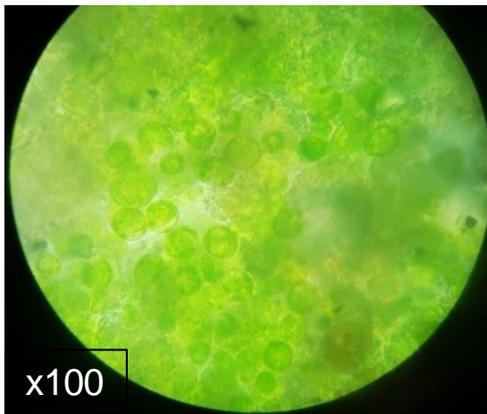


Figura N°13 Análisis microscópico y proliferación completa de la inoculación final

Y es así como se obtuvo una muy buena densidad para empezar con los tratamientos de remoción de metales pesados con la *Chlorella Vulgaris*, luego de hacer los cálculos de densidad y registros anotados en la **Tabla N°2** del desarrollo que estuvo manteniéndose hasta llegar a una etapa de madurez de las microalgas para su remoción precisa.

Para el cultivo de Scenedesmus Quadricauda:

Se utilizó el mismo medio de cultivo que la *Chlorella Vulgaris* una vez traída las muestras de Huanta se colocó solo el líquido superficial de la inoculación como se muestra en la imagen.



Figura N°14 adaptabilidad completada de las microalgas SQ

Condiciones de cultivo:

Se colocó la tina en un lugar sumamente controlado con una luz adecuada y temperatura ambiente para la aclimatación de las microalgas, la temperatura adecuada para la *Scenedesmus Quadricauda* es de 20-25°C, pero por el clima la temperatura estándar de la sala era de unos 12-17°C.

Se proporcionó una iluminación continua con una intensidad de alrededor de 2000-5000 lux utilizando luces LED de color rojo y azul asimilando el violeta para una fotosíntesis adecuada de la microalga.

Se agitó suavemente el cultivo de forma continua o intermitente para proporcionar una mezcla adecuada y evitar la sedimentación como muestra la imagen.

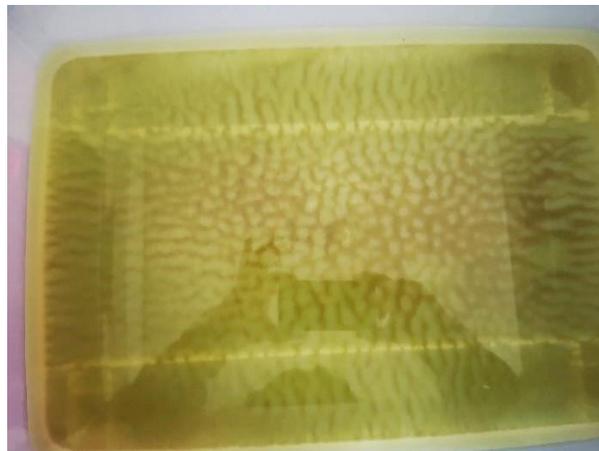


Figura N°15 Adaptabilidad de las microalgas SQ a los primeros días

Monitoreo y mantenimiento:

Se verifico el pH en un estándar de acuerdo a los parámetros utilizados de entre 6.5 a 8.5 como tuvo un control continuo se determinó un pH inicial intermedio 7,74.

También manteniendo la conductividad estandarizada de entre 2800 a 6400us/cm y la temperatura de entre 10-20°C.

Se le aplico de igual forma los nutrientes a la *Scenedesmus Quadricauda* periódicamente con las dosis adecuadas de acuerdo a la cantidad de líquido contenido en la tina, en la tina "SQ" se encontraban 4 litros de agua con microalgas la cual se puso una concentración de 5ml de bicarbonato de sodio para su fuente de carbono y 15ml de nitrato de amonio para su nutriente mineral.

Para verificar la densidad celular se utilizó un microscopio con vistas x40 y x100 para monitorear diariamente el crecimiento de la microalga *Scenedesmus Quadricauda*:

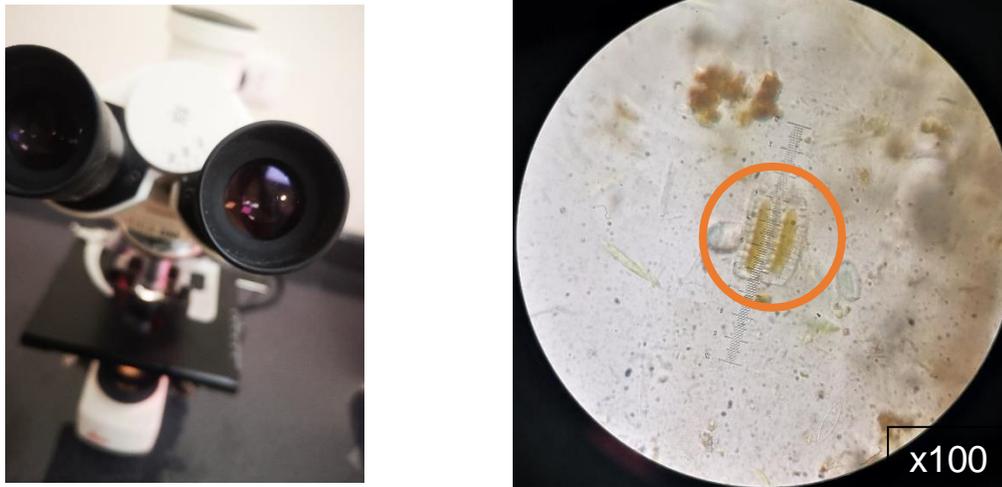


Figura N°16 Preparativos para la caracterización de la SQ

En la figura N°16 se observó una especie de microalga pertenecientes a la familia de *Stephanodiscaceae* que nos daba indicios que estaba en las mínimas condiciones de adaptabilidad para la futura aparición de la *Scenedesmus Quadricauda*, queda aclarar que estas muestras son antes de aplicar los nutrientes y demás aditivos.

Luego de colocar los aditivos y esperar a la mañana siguiente se realizó otro análisis para ver cómo habían reaccionado las microalgas ante el tratamiento dado.

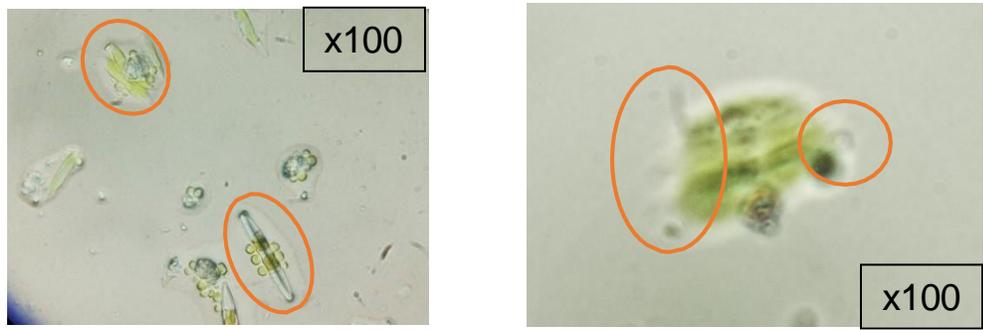


Figura N°27 Caracterización de las primeras muestras de SQ

En la figura N°17 de la izquierda se puede visualizar como es que la clase *Bacillariophyta* tuvo una adaptabilidad inmediata y proliferación amplia, mientras que para la imagen de la derecha se tuvo que tomar unas 4 muestras para encontrar la primera formación de con sus extremidades características de la *Scenedesmus Quadricauda*.

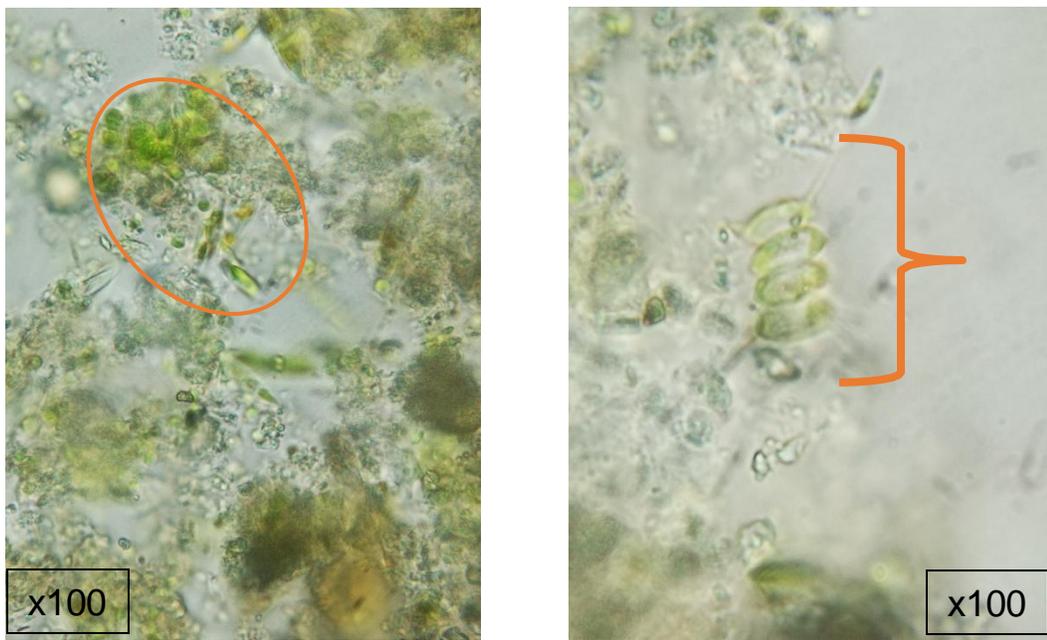


Figura N°18 Caracterización y cuantificación de las SQ

Al transcurrir al tercer día en la figura n°18 se pudo observar como la familia *Scenedesmaceae* intentaba sobresalir para que puedan formarse los cuerpos oblicuos característicos de la *Scenedesmus Quadricauda* y en la imagen de la derecha se encontró una *Scenedesmus Quadricauda* en todo su desarrollo culminado pero con la pigmentación opaca por falta de luz natural para su fotosíntesis es por ello que se le dio un poco más de tiempo de iluminación a la tina con el contenido de las *Scenedesmus Quadricauda*.

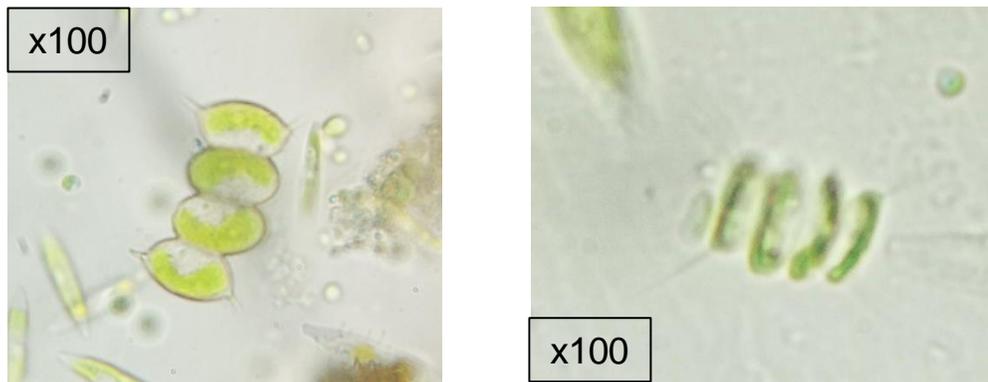


Figura N°19 Cuantificación y caracterización de las SQ

Analizando la figura n°19 del cuarto día se observó que en cada muestra tomada en el porta objetos se encontraba 1 o 2 *Scenedesmus Quadricauda* por muestra eso era un índice de que la proliferación de las SQ era demasiado lenta, ya que como se puede visualizar en las imágenes la *Chlorella Vulgaris* también se propago adecuadamente en el medio de cultivo de las SQ.

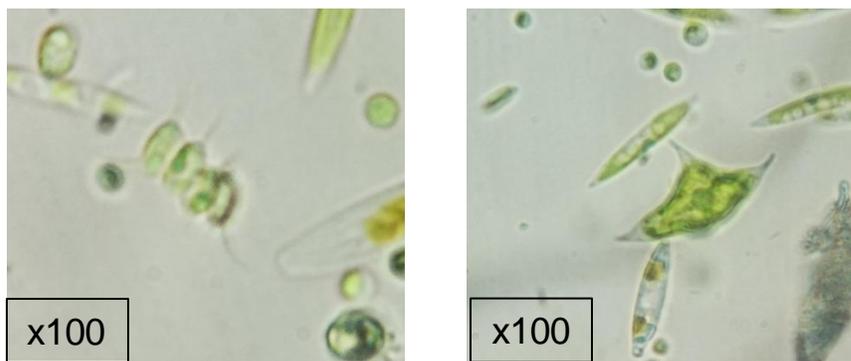


Figura N°20 Cuantificación y caracterización de las SQ

Al quinto día Pude visualizar que las SQ estaban tardando a su adaptabilidad y proliferación con un clima tan bajo como es el de Huancavelica, se encontró un estudio de caracterización de microalgas realizado en el Río Ichu en el año 2005 en donde las

microalgas *Scenedesmus Quadricauda*, solo se propagan y aumenta su biomasa en las fechas de verano y que en los meses de septiembre hasta enero su supervivencia es casi nula por las temporadas de heladas andinas.

Con esa información obtenida se priorizó a darle una mejor calefacción y mayor iluminación a la tina con el contenido de la *Scenedesmus Quadricauda*.

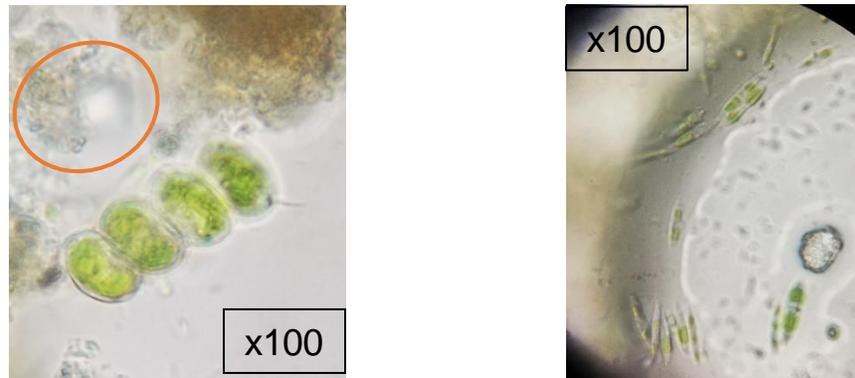


Figura N°21 Cuantificación y caracterización de las SQ

En la figura n°21 se pudo apreciar cómo es que las microalgas se juntan para digerir sus nutrientes en la izquierda se ve una micropartícula de NaHCO_3 y la derecha NH_4NO_3 .



Figura N°22 Aparición de micro parásitos en el estanque de SQ

En la figura n°22 se pudo visualizar la aparición de micro parásitos pequeños gusanos

que se movían muy rápido como para poder tener una imagen clara de dichos microorganismos, a su vez afectaban el desarrollo de crecimiento de la *Chlorella Vulgaris* y la *Scenedesmus Quadricauda*, por ende, se realizó una consulta con el profesional a cargo del área de parasitología en el laboratorio de zootecnia de salud animal, quien proporcionó el medicamento albendazol, un fármaco antiparasitario, para su estudio. Se procedió a aplicar una cantidad medida de albendazol en un portaobjetos que contenía una muestra abundante de parásitos asociados con las microalgas. El objetivo era analizar la reacción de las microalgas frente a este fármaco y observar el comportamiento de los micro parásitos al ser expuestos al mismo.

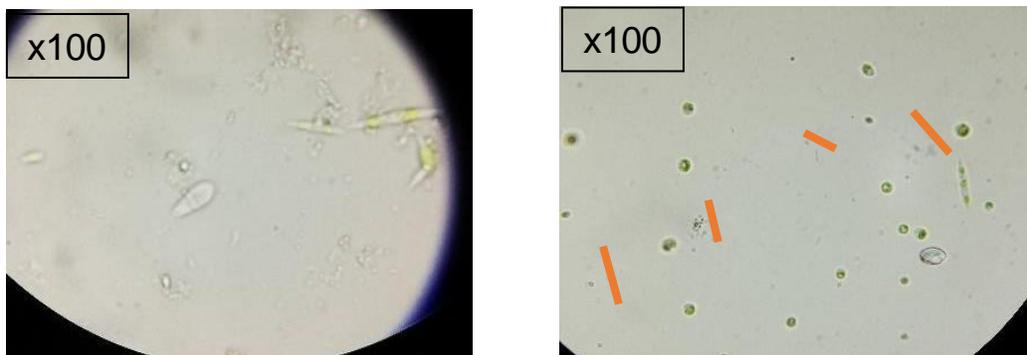


Figura N°23 Pruebas pre ensayos en portaobjetos con el medicamento

En la figura n°23 se pudo observar que luego de aplicar directamente al portaobjetos con el medicamento albendazol tuvo una reacción casi inmediata ya que las microalgas se encontraban en un buen estado pero los Microparásitos se quedaron absolutamente inmóviles y algunos se habían encogido o enroscado viéndose así efectivo el medicamento, es cuando en ese entonces se colocó medidas específicas a las tinas para empezar a remediar las microalgas con el contenido de *Scenedesmus Quadricauda* y a la *Chlorella Vulgaris*.

De acuerdo a la información se aplicó 10ml de albendazol para 4 litros de agua a tratar en la “SQ” en un solo tratamiento.

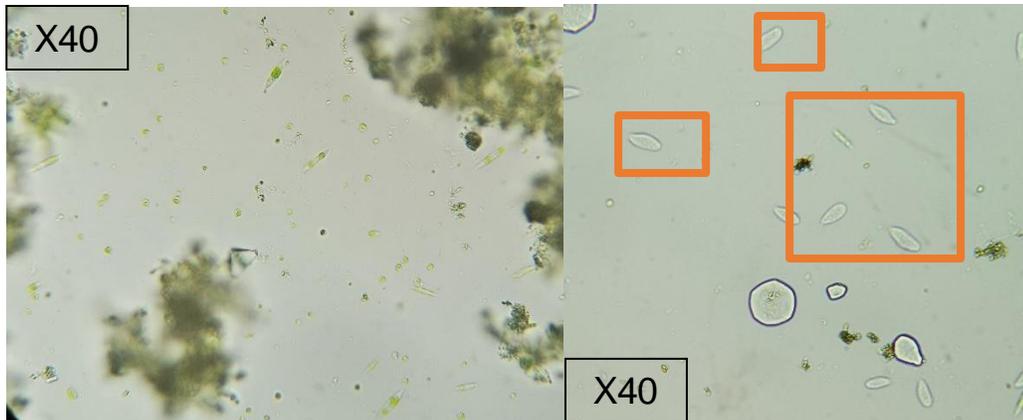


Figura N°24 micro parásitos estáticos sin vitalidad y la aparición de microalgas carroñeras

Para el día siguiente en la figura n°34 se vio un gran desarrollo del medicamento siendo 100% efectivo, para lo cual en la imagen de la derecha se generó una nueva microalga muy bien conocida como *Euglenoides* la cual se encargaron de alimentarse con su flagelo principal de los Microparásitos que se encontraban flotando sin vida y a su vez limpiando los restos que habían quedado.

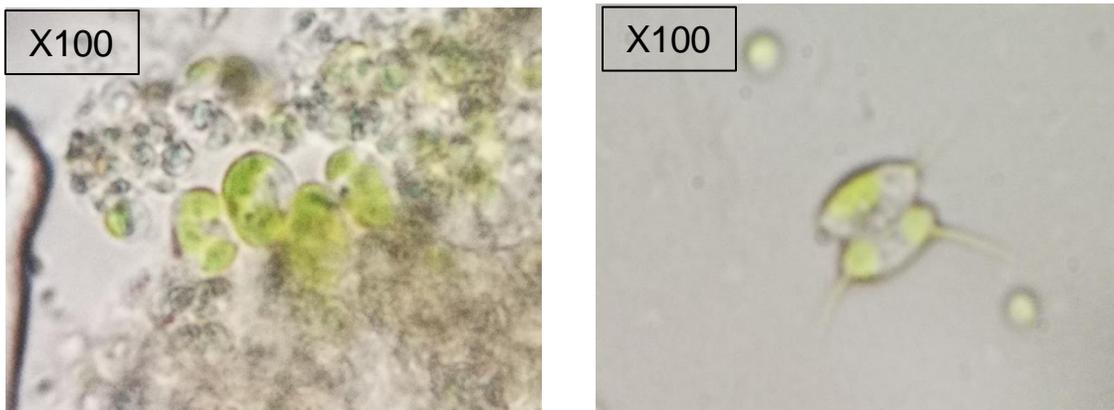


Figura N°25 Disminución de la proliferación de las SQ

En estas muestras en la fecha del 13 de octubre se pudo visualizar a las ultimas *Scenedesmus Quadricauda*, se veían claramente que no estaban adaptadas al clima y por las fechas no era temporada de proliferación de la *Scenedesmus Quadricauda* se hizo lo que se pudo para poder tener un buen cultivo in vitro pero el clima fue un gran obstáculo para la investigación de estas microalgas y en la cual no se pudo rescatar ni una sola muestra de dichas microalgas ya que las temperaturas andinas fueron fatales para su desarrollo y adaptabilidad optima.

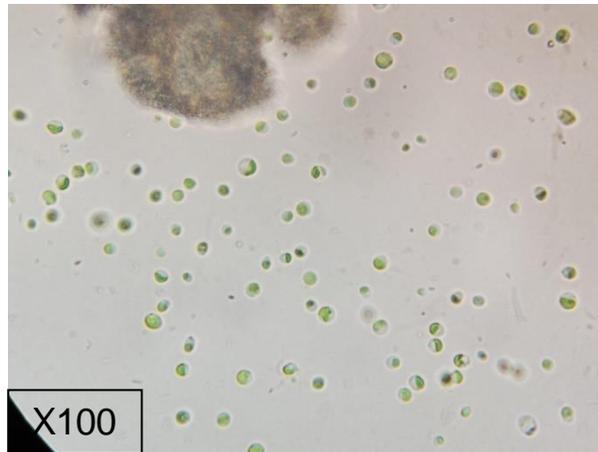


Figura N°26 Análisis final de la adaptabilidad completada de la CV

En cuanto a estas muestras de la tina de *Chlorella Vulgaris* del 5 de octubre se vio que estaban en perfecto estado teniendo una adaptabilidad perfecta y con un desarrollo listo para empezar las muestras de remoción in vitro.

Tratamiento de las aguas contaminadas con microalgas

- Paso de las aguas contaminadas a través del filtro

Para el filtro de microalgas se pensó en el diseño de estanques de reservorio en donde serian a gran escala como unas piscinas semiolímpicas, la cual también se podría agregar al proceso PETAR que convencionalmente todos conocemos de que su función es para el tratamiento de aguas residuales, es por ello que el diseño in vitro fue a través de unos contenedores cilíndricos transparentes que nos permitió visualizar las capas de sedimentación de los metales pesados conjuntamente a las microalgas cultivadas.

Antes de empezar con las pruebas definitivas se realizó unas pruebas preliminares con tubos de ensayo de 192 hrs de remoción de metales pesados.



Figura N°27 Pretest en tubos de ensayo para remoción de metales pesados

En la figura n°27 de la izquierda se colocó 8ml de biomasa con 0.5ml de Metales Pesados teniendo una concentración de 80% de metales pesados (Pb, Cd y Hg) y a la derecha 4.5ml de biomasa con 1.5ml de Metales pesados (Pb, Cd y Hg), las muestras se dejaron en reposo vertical durante 192 Hrs.



Figura N°28 Resultados de remoción del Pretest en tubos de ensayo

En la figura n°28 de la izquierda luego de un análisis óptico luego de 192 Hrs de remoción de la microalga *Chlorella Vulgaris* sedimentó de manera eficiente y en la imagen de la derecha de igual forma también hizo una buena remoción de los metales

pesados con el análisis óptico, también se le hizo el análisis microscópico y de pH para verificar el estado en el que se encontraban las microalgas con los metales pesados removidos.

Se observó luego de un análisis de pH que se encuentran entre 8.25 y 8.17, lo cual se encuentran dentro del rango establecido por la ECA que como limites en categoría 3 están entre 6.5 y 8.5.

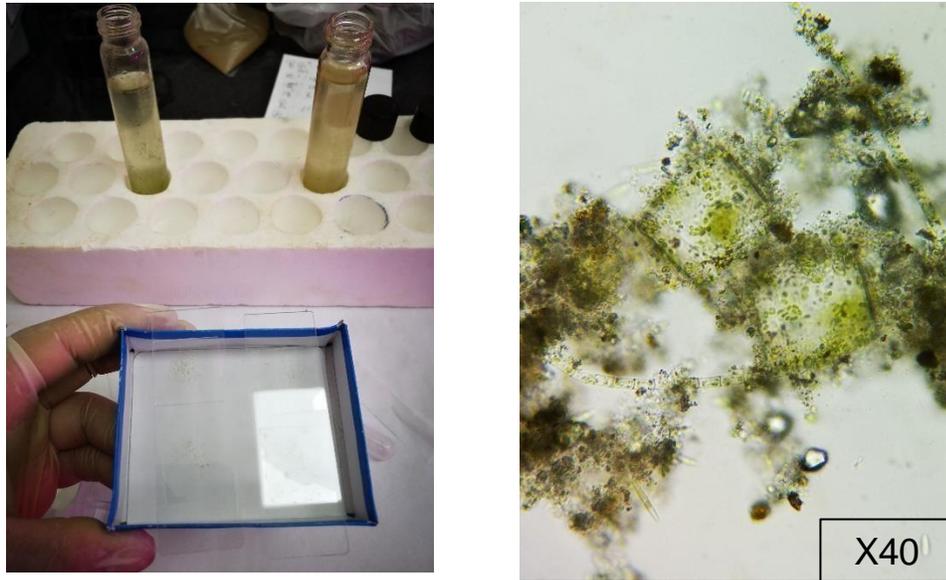


Figura N°29 Análisis microscópico de los resultados del Pretest en tubos de ensayo después del tratamiento

En la figura n°29 se pueden observar cómo es que las microalgas son atraídas como un imán hacia los metales pesados en la imagen de la derecha podemos observar una de las estructuras de cadmio en estado cúbico que está siendo invadida con las microalgas *Chlorella Vulgaris* se tomó muchas muestras, pero no se logró observar otros metales pesados, lo que nos daba como resultado un 99% aproximado de remoción de los metales que se encontraban inducidos en la muestra preliminar. Con lo mostrado se procedió a realizar las pruebas finales con medidas más exactas.



Figura N°30 Medición de la biomasa a colocar en los filtros de remoción

Primero se pesó la biomasa concentrada de la *Chlorella Vulgaris* para empezar con los tratamientos de remoción se hizo en 2 porciones una de 10.0212g y la otra en 15.0085g.

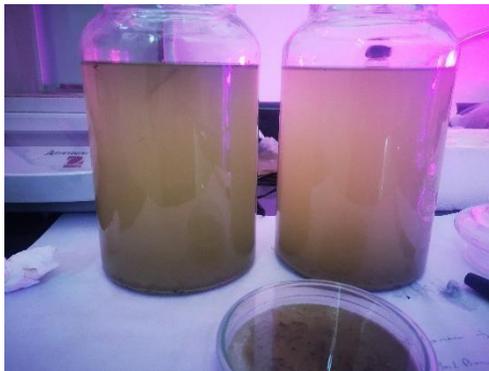


Figura N°31 Aplicación de la biomasa en los pomos de filtro para la remoción

Se optó por colocar 2 muestras de 10g y 15g de biomasa, se adquirió 2 bikers largos de 2 litros de contenido neto, respectivamente se colocó la biomasa pesada y se llenó de líquido del mismo estanque de reservorio para completar los 2 litros de agua.



Figura N°32 Aplicación de la concentración de metales pesados en los pomos de filtro para la remoción

En la figura n°32 se suministró los metales pesados del envase de muestras, al de la izquierda 10g de biomasa de microalgas con 10 ml de metales pesados en concentración de 90% del envase de muestreo y en la imagen derecha 15g de biomasa de microalgas con 32 ml de metales pesados en concentración de 90% del mismo envase de muestreo.

- Monitoreo regular de parámetros del agua tratada

Para el monitoreo regular se utilizó un multímetro de la marca Hanna que nos permitió registrar el pH y para la concentración de metales pesados se utilizó el microscopio para su respectivo conteo luego de caracterizar visualmente registrándose en la **Tabla N°3**.

En la tabla se registró el tiempo que en se formaban las capas del pomo por la sedimentación y se midió el grosor de cada capa por cada 24 horas transcurridos para ver la eficiencia de remoción de cada pomo individualmente.

- Análisis periódico de muestras

Para el análisis periódico como se mencionó se hizo un registro diario el grosor de las capas de remoción y que a su vez se sacó muestras periódicamente para analizarlas mediante el microscopio.

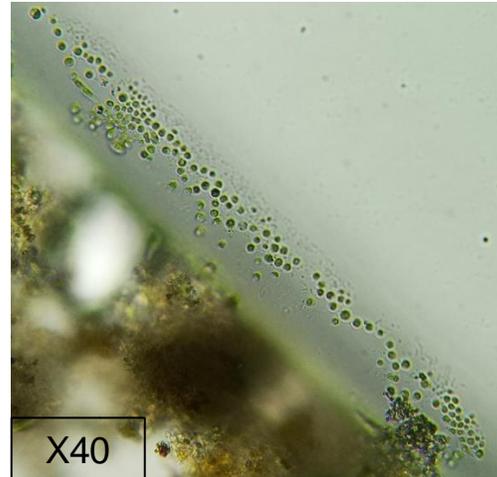


Figura N°33 Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados luego de la remoción

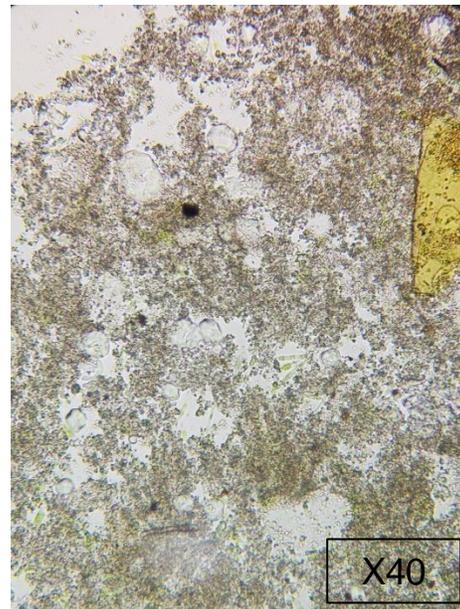
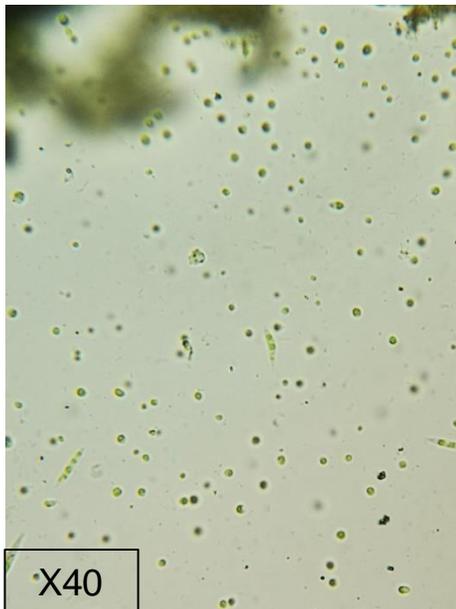


Figura N°34 Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados luego de la remoción de metales

Se hicieron más de 100 muestras microscópicas durante el tiempo transcurrido de remoción para lo cual se escogieron algunas imágenes donde se pudo apreciar algunos metales pesados sobrantes ante tal eficiente remoción de la *Chlorella Vulgaris*.

Método de análisis de datos: Debido a que la tesis fue de diseño experimental puro se realizó un análisis estadístico en pruebas de procesamiento de casos, pruebas de normalidad, gráficos Q-Q, ANOVA, Pruebas Post Hoc y comparaciones múltiples con

una interpretación de enfoque de comparaciones para dar a conocer la credibilidad de las tablas elaboradas y datos obtenidos que están registradas en Anexo 3 con su respectiva interpretación entre ambos resultados y discusión de algunas controversias del desarrollo de la *Scenedesmus Quadricauda*, cada tabla está especificada con un análisis de la concentración de metales pesados como muestra la Tabla N° 10 conjuntamente también está el análisis de parámetros del agua y biomasa de microalgas como muestra la Tabla N°12 y el análisis del monitoreo de agua contaminada como muestra la Tabla N°13.

Aspectos éticos: En la investigación, se aplicaron principios éticos de beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia. Se buscó el beneficio de la sociedad y el medio ambiente al contribuir a la remoción de metales pesados, minimizando al mismo tiempo cualquier daño potencial. Se obtuvo el consentimiento informado de los participantes, en caso de haberlos, asegurando que comprendieran los riesgos y beneficios, y se garantizó su derecho a retirarse sin consecuencias negativas.

Se cumplieron las regulaciones éticas nacionales e internacionales, y se obtuvo la aprobación de un comité de ética de la investigación, si fue necesario. La investigación se desarrolló en concordancia con las normativas éticas de Perú, con especial atención a las regulaciones de la Comisión Nacional de Ética en la Investigación (CONEI).

En resumen, esta investigación se llevó a cabo de acuerdo con los más altos estándares éticos para garantizar la integridad y el impacto positivo del estudio en la sociedad y el medio ambiente.

III. RESULTADOS

- Evaluar la cantidad de metales pesados en las aguas industriales contaminadas antes y después del tratamiento. Inicialmente, se detectó una concentración de aguas residuales mineras de 10ml en el primer estanque y de 32ml en el segundo estanque. Tras 11 días de tratamiento, los resultados, detallados en las tablas del anexo 3, mostraron niveles reducidos del 98.5% en la concentración de plomo, del 96.5% en cadmio y del 98.4% de mercurio. Las figuras correspondientes ilustran las concentraciones antes y después del proceso de remoción.



Figura N°35 Análisis microscópico de las muestras de metales pesados

En la primera muestra de la figura n°34 de la izquierda pudimos observar con gran claridad plomo en su estructura microscópica y al otro extremo de la derecha fragmentos de hierro con concentración alta,

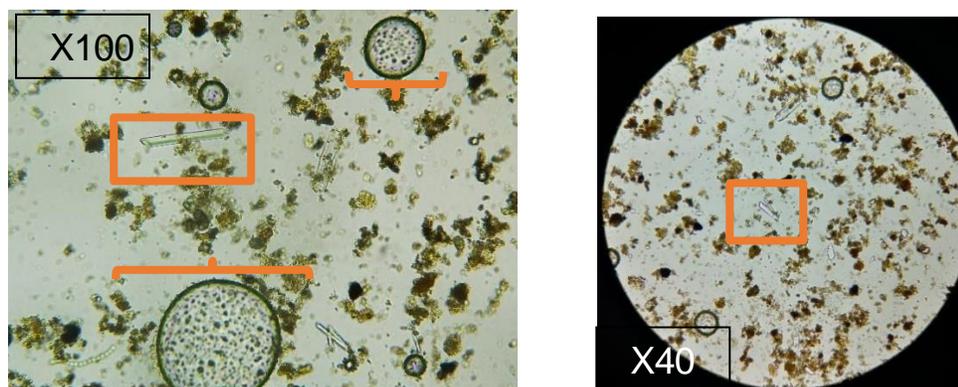


Figura N°36 Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados

En la figura n°35 se pudo visualizar de manera circular evidentemente el mercurio en su estado natural al igual que el cadmio de estructura prismática.

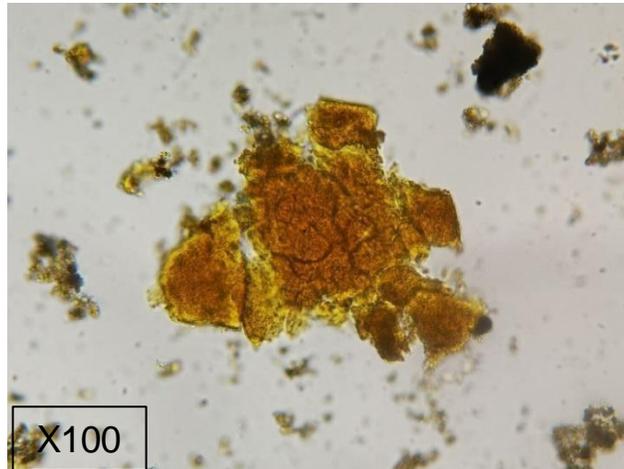


Figura N°37 Análisis microscópico de cadmio en fase de disolución química

En la **Tabla N°1** la concentración de metales pesados antes del tratamiento dichas concentraciones se obtuvieron a partir de conversiones de unidades mm^3 a mg .

Tabla N ° 1 Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente.

Muestra(antes)....	Concentración de Metales Pesados en agua		
	Plomo (Pb) (mg/l)	Cadmio (Cd) (mg/l)	Mercurio (Hg) (mg/l)
1	$D=(12)/(40)=0.3$	$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(4)/(40)=0.1$
2	$D=(11)/(40)=0.275$	$D=(11)/(40)=0.275$	$D=(9)/(40)=0.225$
3	$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(8)/(40)=0.2$
4	$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(7)/(40)=0.175$
5	$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(16)/(40)=0.4$	$D=(5)/(40)=0.125$
6	$D=(16)/(40)=0.4$	$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(8)/(40)=0.2$
7	$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(6)/(40)=0.15$
8	$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(5)/(40)=0.125$
9	$D=(12)/(40)=0.3$	$D=(17)/(40)=0.425$	$D=(4)/(40)=0.1$
10	$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(16)/(40)=0.4$	$D=(7)/(40)=0.175$
Promedio	0.335 mg/l	0.3625 mg/l	0.1575mg/l

El análisis sugiere que la concentración de mercurio difiere significativamente de la de cadmio, mientras que las diferencias entre plomo y los otros dos metales no son estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95%.

Por otro lado, los resultados del ANOVA indican que existe una diferencia significativa en la concentración de metales pesados entre los diferentes tipos de metales pesados, y que el tratamiento con el filtro de microalgas tiene un efecto significativo en la reducción de la concentración de metales pesados. Sin embargo, también existe una interacción significativa entre el tipo de metal pesado y el tratamiento, lo que sugiere que el efecto del filtro de microalgas puede variar dependiendo del tipo de metal pesado.

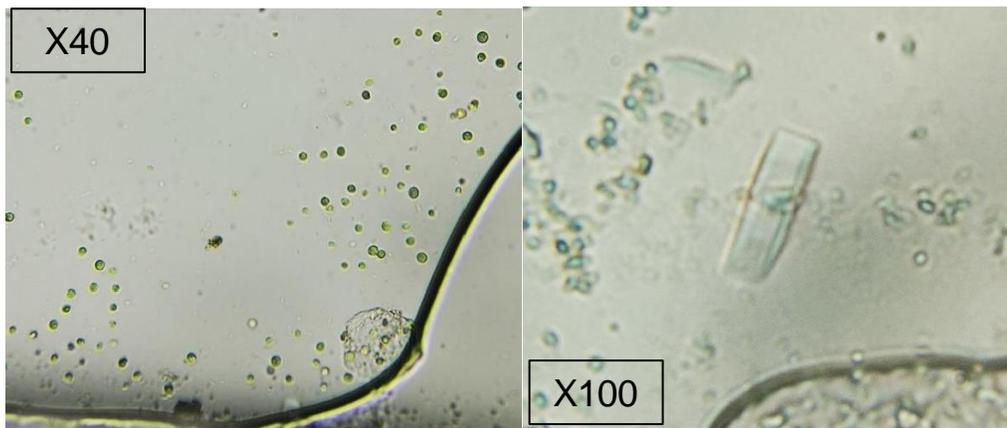


Figura N°38 Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados luego de la remoción

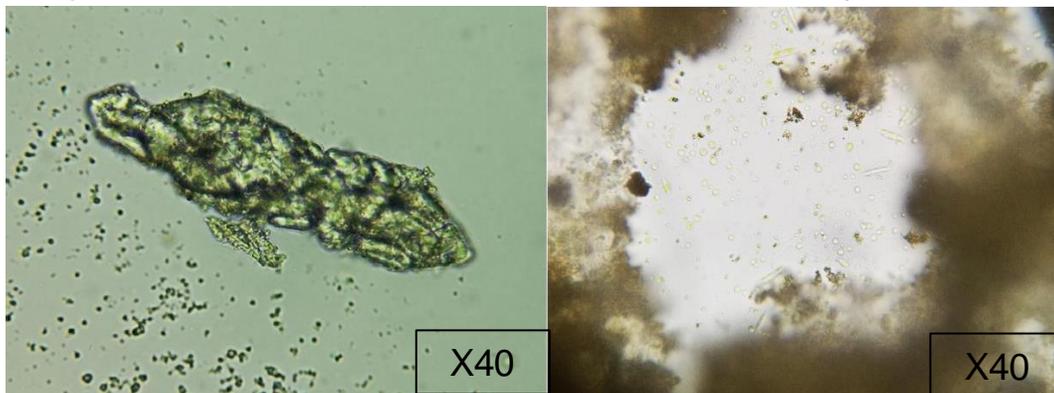


Figura N°39 Análisis microscópico y cuantificación de metales pesados luego de la remoción

Se puede visualizar en la parte superior derecha de la segunda imagen de la figura n°37 se ve un solo cadmio en su estructura base prismática rodeada de varias moléculas de plomo desintegrado, en la tercera imagen de la figura n°38 podemos

visualizar que la *Chlorella vulgaris* invadió por completo toda una masa de plomo y la sedimento con facilidad y en la última figura, fue muestreada de la parte inferior del pomo para ver cómo se encontraban las microalgas ante tal magnitud de concentración de metales pesados. También se vio que están en completo desarrollo y proliferación de dichas microalgas.

Tabla N ° 2 Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente.

Muestra(Después)....	Concentración de Metales Pesados en agua		
	Plomo (Pb) (mg/l)	Cadmio (Cd) (mg/l)	Mercurio (Hg) (mg/l)
1	0	$D=(1)/(40)=0.025$	0
2	$D=(1)/(40)=0.025$	0	0
3	0	0	0
4	0	$D=(2)/(40)=0.05$	0
5	0	0	0
6	0	$D=(1)/(40)=0.025$	0
7	$D=(1)/(40)=0.025$	0	$D=(1)/(40)=0.025$
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	$D=(1)/(40)=0.025$	0
Promedio	0.005 mg/l	0.0125 mg/l	0.0025 mg/l

La interpretación entre ambas fichas de recolección de datos (antes – después), para interpretar el segundo cuadro y compararlo como se observa en la tabla N ° 3 con el primero utilizando un diseño ANOVA, debemos seguir un enfoque similar al anterior, con la adición de comparar los cambios en las concentraciones de metales pesados antes y después.

Tabla N ° 3 Interpretación de los valores ANOVA .

Mineral	Antes	Después	Interpretación
Plomo (Pb)	Valores entre 0,275 y 0,4.	Valores entre 0 y 0.025.	Si el ANOVA muestra diferencias significativas, se concluye que la concentración de plomo ha disminuido significativamente después del tratamiento.
Cadmio (Cd)	Valores entre 0,275 y 0,4.	Valores entre 0 y 0.05.	Si el ANOVA muestra diferencias significativas, se concluye que la concentración de cadmio ha disminuido significativamente después del tratamiento.
Mercurio (Hg)	Valores entre 0,1 y 0,225.	Todos los valores son 0.	Si el ANOVA muestra diferencias significativas, se concluye que la concentración de mercurio ha disminuido significativamente después del tratamiento.

Realizando un ANOVA, podemos determinar si hay diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados entre las muestras y entre los tiempos. Si los p-valores son menores que el nivel de significancia (0.05), podemos concluir que las concentraciones de metales han cambiado significativamente, indicando la efectividad del tratamiento o intervención aplicada entre los "antes" y el "después".

El ANOVA muestra que hay un efecto significativo del tratamiento sobre la concentración de metales pesados ($F = 11.42$, $p = 0.004$). Esto significa que las concentraciones de metales pesados fueron significativamente menores después del tratamiento con el filtro de microalgas que antes del tratamiento. Las pruebas post hoc de Tukey confirman que las diferencias de medias entre las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento son significativas para los tres metales: plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg).

- La remoción de metales pesados mediante el filtro de microalgas se evaluó en 2 bickers con muestras de 1 litro para ver en cuanto los metales pesados eran con su respectiva sedimentación, para también así registrar la generación de las capas de sedimentación por las microalgas y así demostrar la remoción efectiva.



Figura N°40 Resultados de la sedimentación y remoción de metales pesados

Luego de 216 hrs con sus respectivos registros diarios de los diferentes avances que ha tenido la remoción se realizaron los análisis visuales anotando el tamaño de las capas de sedimentación y del pH, se pudo deducir que fue una remoción de metales. Debidamente se le realizó una pequeña agitación y la medida del pH a cada pomo, se registró que se encontraba dentro de la categoría 3 para recreación agrícola y el consumo de animales según la ECA.

Tabla N ° 4 Remoción de capas en función al tiempo.

Registro de remoción de metales pesados y sedimentación con el filtro de microalgas													
N° de Capa concentración de Micro Algas Chlorella Vulgaris 10 ml Metales pesados 10mg de biomasa	24Hr s (cm)	48hr s (cm)	72hr s (cm)	96hr s (cm)	120hr s (cm)	144hr s (cm)	168Hr s (cm)	192Hr s (cm)	216Hrs (cm)	pH		Concentración de Metales Pesados (mg/L)	
										inicia l	fin al	antes	después
Capa N°1	1	1,5	1,5	2,2	2,5	2,8	3	0	0	6.46	8.1 2	Pb (0.335) Cd (0.3625) Hg (0.1575)	Pb (0.005) Cd (0.0125) Hg (0.0025)
Capa N°2	9,5	9,5	10	8,8	8,7	8,2	8,5	11,7	11,7	6.46	8.1 7	Pb (0.335) Cd (0.3625) Hg (0.1575)	Pb (0.005) Cd (0.0125) Hg (0.0025)
Capa N°3	2,5	2	1,5	2	1,8	2	1,5	1,3	1,3	6.46	8.1 9	Pb (0.335) Cd (0.3625) Hg (0.1575)	Pb (0.005) Cd (0.0125) Hg (0.0025)

Al transcurrir los 11 días (216 Hrs) se generaron 3 capas que se registraron en la **Tabla N°4 anexo 3 ficha n°6**, el cual nos indica que la remoción fue exitosa, la capa N°1 muestra al pasar las 24 horas fue de 1.5 cm, en esa capa se formó una transparencia de líquido conteniendo un 1% de microalgas por muestra, la capa N°2 fue de 9.5 cm la cual contenía un porcentaje de turbidez debido a la actividad de movimiento de las microalgas conteniendo un 35% de concentración de microalgas y en la capa N°3 sedimentó 2 cm por la actividad constante y burbujeos existentes en el pomo el cual contenía el 64% de las microalgas sedimentadas con algunas cantidades de metales pesados sobrantes.

Para el onceavo día se registró que la primera capa de transparencia de agua era de 0 cm, esto nos indicaba que las microalgas habían sedimentado a su 100% y había poca actividad superficial, la segunda capa fue de 12 cm eso nos quería decir que habían proliferado de manera adecuada y que los contaminantes habían sido neutralizados al 100%. Para el pH se había hecho la respectiva medición antes del tratamiento que se encontraba alrededor de 6.30 a 6.50, y después del tratamiento se midió cada capa el nivel de pH pasando los 9 días, el cual nos arrojó los siguientes resultados.

Claramente hubo un incremento en el nivel del pH que para el ECA nos dice que el promedio para la categoría 3 en líquidos para riego y consumo animal es de 6.5 a 8.5 con estos resultados de 8.17 y 8.19 nos encontramos dentro de los parámetros establecidos siendo así conjuntamente con la cantidad de metales pesados, según la ECA se debe de tener un estándar menor a 0.05 mg/L en concentración a los metales pesados y de acuerdo a nuestros resultados nos encontramos dentro de los parámetros establecidos por la ECA como muestra la siguiente tabla.

Tabla N ° 5 Parámetros de los metales.

Metales	Resultados de laboratorio	Parámetros según la ECA
Plomo (Pb)	0.005 mg/L	0.05mg/L
Cadmio (Cd)	0.0125 mg/L	0.01mg/L
Mercurio (Hg)	0.0025 mg/L	0.001mg/L

Para el segundo pomo se utilizó una concentración de 15g de biomasa y se le aplicó 32 ml de metales pesados el cual nos arrojó resultados diferentes al primer estanque, pero con los mismos resultados finales dando a conocer una remoción bastante eficiente a pesar de que la concentración era más alta en metales pesados para la cantidad de biomasa aplicada, en esta prueba la sedimentación fue más variada ya que por las actividades del ácido se había generado un poco de efervescencia pero de igual forma al pasar los 11 días de remoción terminó dando una eficaz remoción de los metales dándonos como resultado un pH intermedio de 8.16 que para la ECA se encuentra dentro de los parámetros para la categoría 3 incluyendo también la concentración de los metales pesados que fueron de 0.001 mg/L luego de los análisis microscópicos como muestran en las siguientes imágenes.

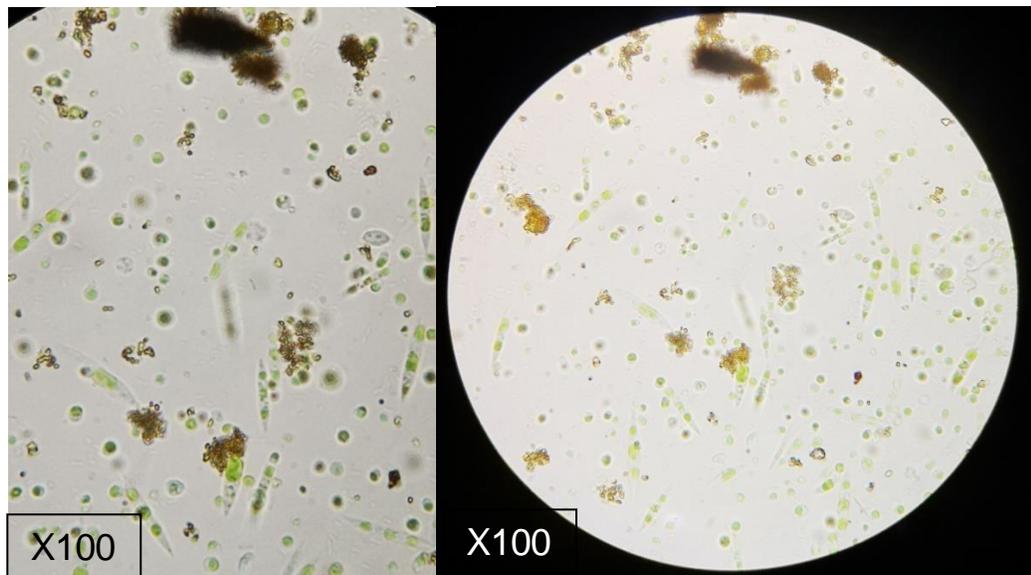


Figura N°41 Análisis microscópico después del tratamiento

Luego de los análisis y muestras tomadas de los pomos con el respectivo conteo de las microalgas cada 10 muestras se encontraban de 1 a 2 micropartículas de los metales caracterizados tanto como (Pb, Cd y Hg) en cuestión del mercurio se desintegro y evaporo con el pasar del tiempo de remoción es por ello que en las muestras tomadas no se encontró rastro alguno del metal pesado (Hg) en cuanto a los otros metales como mencionado antes solo se encontró muy pocas en un estado de desintegración completa.

- Analizar el desarrollo de las micro algas fuera de su hábitat natural para la adaptabilidad en zonas andinas. Originarias de Huanta, región con un clima tropical y temperaturas de 20° a 27° C, se trasladaron a Huancavelica, una zona andina a 3676 m.s.n.m. con temperaturas más frías de 6° a 16° C. Para promover el desarrollo de las *Chlorella Vulgaris* en este nuevo ambiente, se controlaron parámetros como el pH (8.30 a 8.50), se aseguró una oxigenación constante mediante agitación por 5 horas diarias y se utilizó nitrato de amonio y bicarbonato de sodio para estimular el crecimiento en biomasa, como se detalla en la ficha adjunta.

Tabla N ° 6 Resultados del crecimiento y adaptabilidad de las microalgas.

Ficha de registro N°1 del cultivo de la Chlorella Vulgaris			
N° de Muestra (fecha y hora)	pH del agua	Temperatura del agua (°C)	Biomasa de microalgas (mm^3).
N°1 26 septiembre (3pm)	8,56	10	$D = (15) / (40) = 0,375$
N°2 27 septiembre (3pm)	8,40	12	$D = (26) / (40) = 0,65$
N°3 28 septiembre (3pm)	8,40	17	$D = (80) / (40) = 2$
N°4 29 septiembre (3pm)	8,30	10	$D = (115) / (40) = 2,875$
N°5 02 octubre (3pm)	8,35	16	$D = (170) / (40) = 4,25$
N°6 03 octubre (3pm)	8,40	8	$D = (213) / (40) = 5,325$
N°7 04 octubre (3pm)	8,46	9	$D = (217) / (40) = 5,425$
N°8 05 octubre (3pm)	8,46	6	$D = (237) / (40) = 5,925$
N°9 06 octubre (3pm)	8,46	13	$D = (383) / (40) = 9,575$
N°10 09 octubre (3pm)	8,46	17	$D = (391) / (40) = 9,775$
N°11 10 octubre (3pm)	8,46	16	$D = (260) / (40) = 6,5$
N°12 11 octubre (3pm)	8,44	12	$D = (344) / (40) = 8,6$
N°13 12 octubre (3pm)	8,40	12	$D = (353) / (40) = 8,825$
N°14 13 octubre (3pm)	8,40	10	$D = (379) / (40) = 9,475$

En la tabla N°6 mostrada la temperatura en las fechas del 3 al 5 de octubre fueron críticas ya que no se había registrado antes en algún antecedente que esas microalgas podrían soportar tales temperaturas, para ello las microalgas formaron líneas en la base de los estanques para mantener su proliferación y así con los nutrientes de 10ml de promedio controlado tuvieron una exitosa adaptabilidad ya que para el día 13 de octubre su biomasa fue de $9.475 mm^3$ pero con la cuantificación y conversión a litros

se podría decir que se concentraba la biomasa en 9.47 mg/L.

La correlación estadística de los metales pesados con la micro algas como se observa en la siguiente tabla N°7.

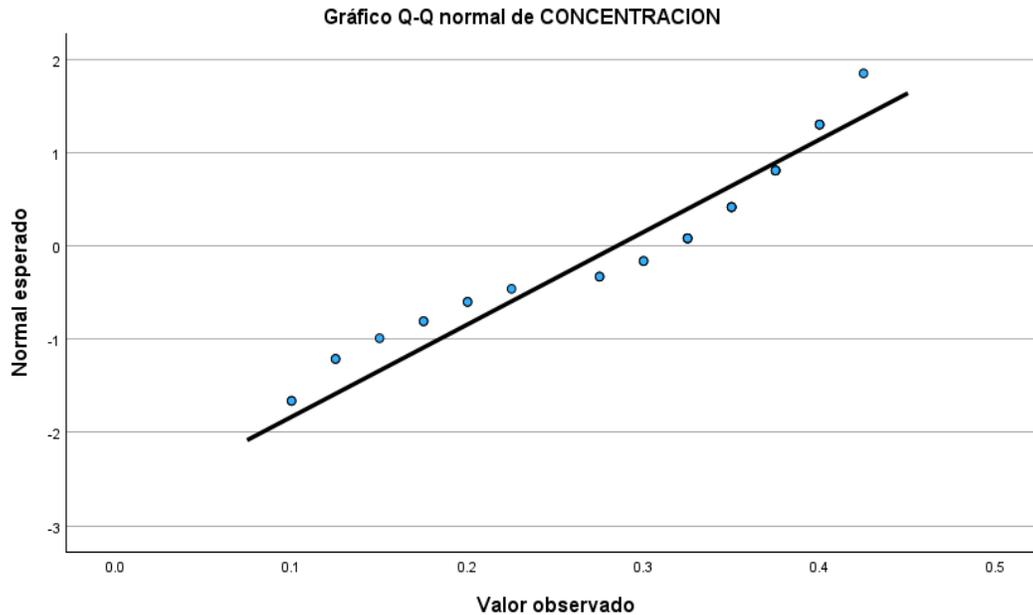
Tabla N ° 7 Prueba estadística de la normalidad.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CONCENTRACION	.187	30	.009	.903	30	0.01
N						

a. Corrección de significación de Lilliefors

Interpretación: Para el primer supuesto de normalidad, los datos en cuanto a la Concentración de Plomo, Cadmio, Mercurio se distribuyen de manera no normal la cual no cumple con el supuesto de normalidad, determinando que hay diferencias significativas entre las concentraciones de metales pesados en las distintas muestras, ya que el sig. (significancia) es menor a 0.05. la cual se rechaza Ho.

- La prueba de Shapiro-Wilk: El valor p es de 0,01 lo que indica que hay una evidencia para rechazar la hipótesis de normalidad.
- la variable concentración se distribuye aproximadamente normalmente. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones del tamaño de la muestra y la asimetría de la distribución.



El gráfico Q-Q normal proporciona evidencia adicional de que la distribución de la variable "CONCENTRACION DE METALES" es aproximadamente normal. Esto significa que la mayoría de los datos se encuentran cerca del valor medio de la variable, y que hay pocos datos en los extremos de la distribución.

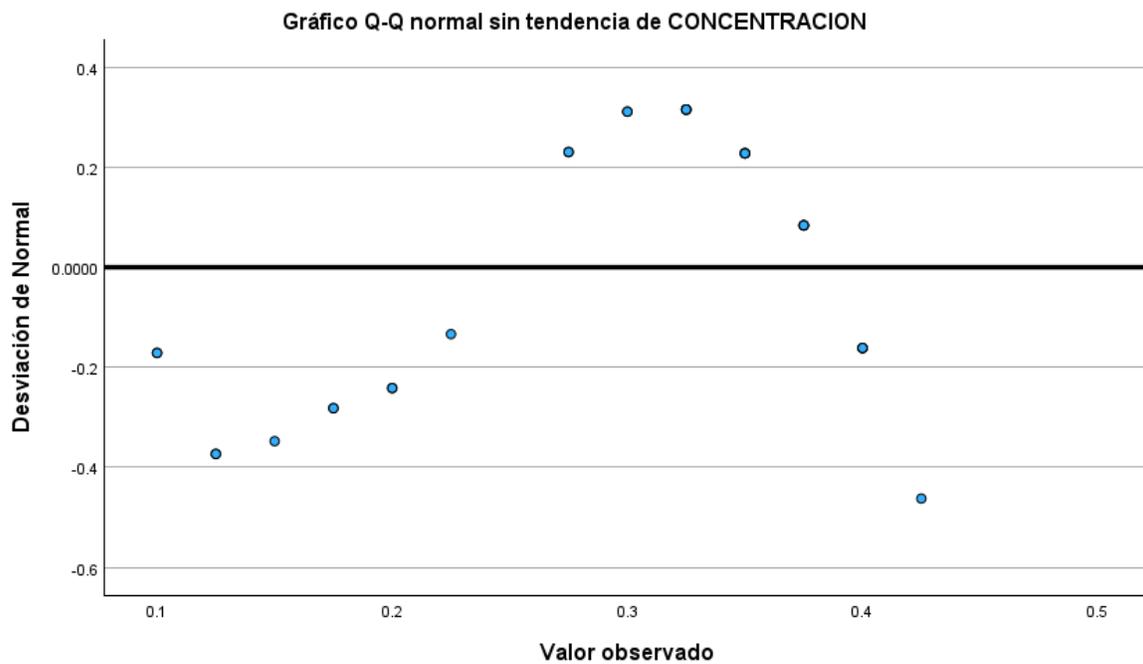


Tabla N ° 8 Prueba de homogeneidad de varianzas.

		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
CONCENTRACION	Se basa en la media	.307	2	27	.738
	Se basa en la mediana	.240	2	27	.788
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.240	2	22.711	.788
	Se basa en la media recortada	.298	2	27	.745

- Si el p-valor es mayor que el nivel de significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula, indicando que no hay diferencias significativas.
- Si el p-valor es menor que el nivel de significancia (generalmente 0.05), se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay diferencias significativas en las concentraciones del metal pesado entre las muestras.

Tabla N ° 9 Prueba estadística ANOVA.

CONCENTRACION

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.248	2	.124	69.464	<.001
Dentro de grupos	.048	27	.002		
Total	.296	29			

En el segundo supuesto; en base a los resultados del ANOVA, podemos concluir que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que las medias de los **3 grupos** son iguales, afirmando primer supuesto. Al menos una de las concentraciones de metales pesados difiere significativamente entre las muestras. Esto significa que; al menos una de las medias de los **3 grupos** es diferente a las

demás.

Tabla N ° 10 Pruebas de comparaciones múltiples.

(I)	(J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
METALES_PESADOS	METALES_PESADOS				Límite inferior	Límite superior
PLOMO(Pb)	CADMIO(Cd)	-.027500	.018881	.327	-.07431	.01931
	MERCURIO(Hg)	.177500*	.018881	<.001	.13069	.22431
CADMIO(Cd)	PLOMO(Pb)	.027500	.018881	.327	-.01931	.07431
	MERCURIO(Hg)	.205000*	.018881	<.001	.15819	.25181
MERCURIO(Hg)	PLOMO(Pb)	-.177500*	.018881	<.001	-.22431	-.13069
	CADMIO(Cd)	-.205000*	.018881	<.001	-.25181	-.15819

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Los resultados de las pruebas post hoc, muestra que existe una diferencia significativa entre las concentraciones medias de los tres metales pesados: PLOMO(Pb), CADMIO(Cd) y MERCURIO(Hg). La concentración media de PLOMO(Pb) es la más baja, seguida de la concentración media de CADMIO(Cd) y la concentración media de MERCURIO(Hg), que es la más alta.

- La concentración media de PLOMO(Pb) es significativamente más baja que la concentración media de CADMIO(Cd).
- La concentración media de PLOMO(Pb) es significativamente más baja que la concentración media de MERCURIO(Hg).
- La concentración media de CADMIO(Cd) es significativamente más baja que la concentración media de MERCURIO(Hg).

Se concluye que, el análisis sugiere que la concentración de mercurio difiere

significativamente de la de cadmio, mientras que las diferencias entre plomo y los otros dos metales no son estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95%.

Tabla N ° 11 Pruebas de normalidad.

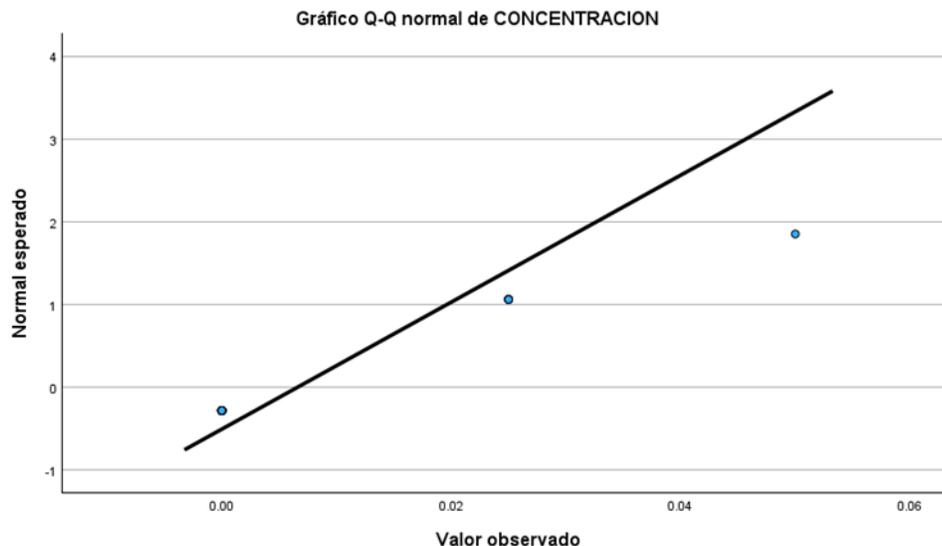
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CONCENTRACIÓN	.462	30	<.001	.559	30	<.001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Interpretación: Para el primer supuesto de normalidad, los datos en cuanto a la Concentración de Plomo, Cadmio, Mercurio se distribuyen de manera no normal la cual no cumple con el supuesto de normalidad, determinando que hay diferencias significativas entre las concentraciones de metales pesados en las distintas muestras, ya que el sig. (significancia) es menor a 0.05. la cual se rechaza Ho.

- La prueba de Shapiro-Wilk: El valor p es de 0,01 lo que indica que hay una evidencia para rechazar la hipótesis de normalidad.

la variable concentración se distribuye aproximadamente normalmente. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones del tamaño de la muestra y la asimetría de la distribución.



El gráfico Q-Q normal proporciona evidencia adicional de que la distribución de la

variable "CONCENTRACIÓN DE METALES" es aproximadamente normal. Esto

		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
CONCENTRACIÓN	Se basa en la media	6.018	2	27	.007
	Se basa en la mediana	1.671	2	27	.207
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.671	2	18.671	.215
	Se basa en la media recortada	5.526	2	27	.010

significa que la mayoría de los datos se encuentran cerca del valor medio de la variable, y que hay pocos datos en los extremos de la distribución.

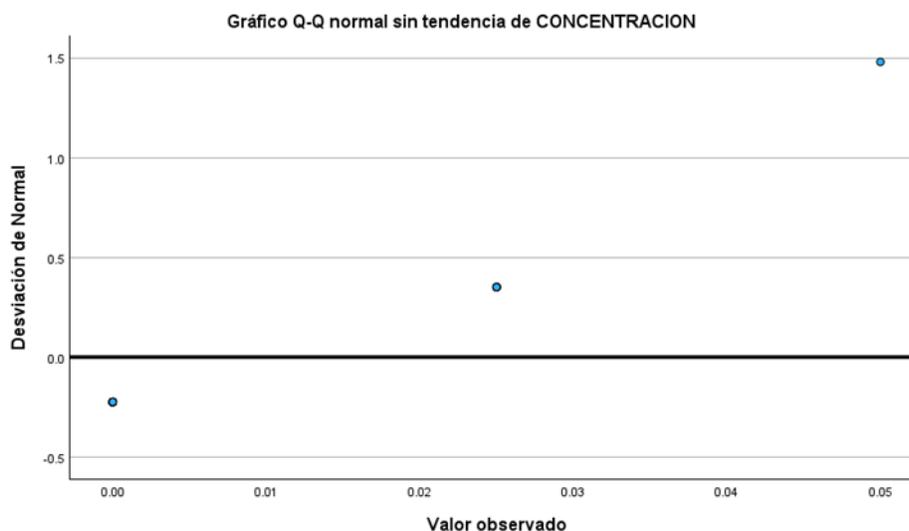


Tabla N ° 12 Pruebas de homogeneidad de varianzas.

- Si el p-valor es mayor que el nivel de significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula, indicando que no hay diferencias significativas.
- Si el p-valor es menor que el nivel de significancia (generalmente 0.05), se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay diferencias significativas en las concentraciones del metal pesado entre las muestras.

Tabla N ° 13 ANOVA.

CONCENTRACIÓN

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.001	2	.000	1.671	.207
Dentro de grupos	.004	27	.000		
Total	.005	29			

En el segundo supuesto; en base a los resultados del ANOVA, podemos concluir que:

- **No hay una diferencia estadísticamente significativa en la concentración entre los grupos ($p = 0.207 > 0.05$).** Esto significa que no podemos rechazar la hipótesis nula de que las medias de la concentración son iguales para los dos grupos.
- **La variabilidad de la concentración dentro de los grupos es mayor que la variabilidad entre los grupos.** Esto significa que las diferencias en la concentración entre los grupos son pequeñas en comparación con las diferencias dentro de cada grupo.

Los resultados del cuadro ANOVA sugieren que no hay una diferencia significativa en la concentración de la sustancia entre los dos grupos.

Tabla N ° 14 Comparaciones múltiples.

Variable dependiente: CONCENTRACION

HSD Tukey

(I)	(J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
METALES_PESA DOS	METALES_PESA DOS				Límite inferior	Límite superior
PLOMO(Pb)	CADMIO(Cd)	-.007500	.005693	.398	-.02161	.00661
	MERCURIO(Hg)	.002500	.005693	.900	-.01161	.01661
CADMIO(Cd)	PLOMO(Pb)	.007500	.005693	.398	-.00661	.02161
	MERCURIO(Hg)	.010000	.005693	.203	-.00411	.02411
MERCURIO(Hg)	PLOMO(Pb)	-.002500	.005693	.900	-.01661	.01161
	CADMIO(Cd)	-.010000	.005693	.203	-.02411	.00411

La tabla muestra las diferencias de medias entre cada par de metales pesados, junto con el error estándar, el valor p y el intervalo de confianza al 95%. Un valor p menor que 0,05 se considera estadísticamente significativo, lo que significa que hay una diferencia real entre las medias de los dos grupos que se comparan.

- **Plomo (Pb) vs. Cadmio (Cd):** La diferencia de medias entre el plomo y el cadmio es de -0,0075, con un error estándar de 0,005693 y un valor p de 0,398. Como el valor p es mayor que 0,05, no se puede concluir que haya una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de plomo y cadmio.
- **Plomo (Pb) vs. Mercurio (Hg):** La diferencia de medias entre el plomo y el mercurio es de -0,0025, con un error estándar de 0,005693 y un valor p de 0,900. Como el valor p es mayor que 0,05, no se puede concluir que haya una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de plomo y mercurio.
- **Cadmio (Cd) vs. Mercurio (Hg):** La diferencia de medias entre el cadmio y el mercurio es de 0,0100, con un error estándar de 0,005693 y un valor p de 0,203. Como el valor p es mayor que 0,05, no se puede concluir que haya una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cadmio y mercurio.

IV. DISCUSIÓN

La eficacia de la tecnología de filtración de microalgas se destacó en la investigación *biorremediación con microalgas* (Ortíz, Romero y Daniela 2018), logrando reducciones en la concentración de metales pesados del 98.5% para plomo, 96.5% para cadmio y 98.4% para mercurio. Comparativamente, en un estudio la biosorción con *Chlorella vulgaris* mostró también una alta eficiencia, con tasas de biosorción del 94,77% para Cd, 92,45% para Pb y 81,78% para Hg (Vitola, 2022). Estos resultados resaltan la potencialidad de *Chlorella vulgaris* como una alternativa viable en la biorremediación de aguas industriales contaminadas.

En el proceso de remoción demuestra la capacidad de las microalgas para formar capas de sedimentación diferenciadas y lograr una remoción efectiva de metales pesados en un período de 11 días , al observar la formación de una capa superior transparente y una segunda capa más densa, lo cual indica una sedimentación completa y una neutralización efectiva de los contaminantes. Este proceso de sedimentación por capas contrasta con los hallazgos de Mahlangu et al. (2024), quienes reportaron una remoción uniforme sin la formación de capas estratificadas. Además, el porcentaje acumulado de microalgas en las capas inferiores (100% entre las dos capas inferiores) sugiere una mayor concentración de biomasa activa en comparación con el 90% reportado por Mahlangu et al. La neutralización del pH tras el tratamiento es consistente con ambos estudios, reafirmando la eficacia de las microalgas como agentes biosorbentes y su potencial en la purificación de aguas residuales.

La capacidad de adaptación de las microalgas a condiciones como la baja temperatura que llega en invierno a un mínimo de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, alta presencia de nubes que disminuye la radiación solar y el exceso de CO_2 en el ambiente, como se evidencia en el estudio de la adaptabilidad y producción de biomasa de *Chlorella Vulgaris* en un ambiente andino más frío, resalta su potencial para la producción sostenible en climas variados. Según Smith et al. (2022), las microalgas demuestran una alta adaptabilidad a diversas condiciones de estrés y un crecimiento rápido, lo que las convierte en recursos valiosos para la producción de lípidos y biocombustibles. Este comportamiento adaptativo es

crucial para la proliferación de las microalgas en zonas con temperaturas más bajas, como se observó en Huancavelica, donde la formación de líneas en la base de los estanques podría ser una estrategia para maximizar la absorción de nutrientes y mantener la producción de biomasa.

Se evidenció una reducción significativa en la concentración de metales pesados (98.5% para plomo, 96.5% para cadmio y 98.4% para mercurio) antes y después del tratamiento. Por otro lado, el estudio de Cano-Casas et al. (2018) demostró que *Chlorella vulgaris* es altamente eficiente en la biosorción de plomo y cadmio, con porcentajes de remoción superiores al 90% en condiciones óptimas. Además, se observó que la biomasa de *C. vulgaris* mostró mayor afinidad por el plomo que por el cadmio. En conjunto, estos hallazgos respaldan la aplicación estratégica de microalgas en la eliminación efectiva de metales pesados en aguas residuales.

En la investigación se centró en la aplicación de la biosorción y la sedimentación de metales pesados en un filtro cilíndrico. Los resultados indicaron una notable eficacia en la remoción de plomo, cadmio y mercurio. La concentración de cadmio se redujo en un 96.5%. Estos hallazgos respaldan la utilidad del proceso para disminuir significativamente la presencia de estos metales en el agua. Por otro lado, el trabajo de YU et al. (2021) se enfocó en la biosorción de cadmio utilizando la microalga *Scenedesmus obliquus* inmovilizada en un biorreactor de membrana aeróbica. Mediante experimentos continuos, evaluaron diversas condiciones operativas, como el tiempo de retención hidráulico, la concentración inicial de cadmio y el pH. Los resultados demostraron una alta eficiencia de remoción de cadmio, superando el 90% en ciertas condiciones. Además, la inmovilización de las microalgas mejoró su capacidad de biosorción en comparación con los sistemas de células suspendidas.

Con el resultado favorable en reducción alta en cadmio la *Chlorella Vulgaris* se considera que es una microalga biosorbente ya que también lo menciona SILVA et al. (2019), Sus resultados demostraron una alta eficiencia de remoción, con capacidades máximas de biosorción de 117 mg/l para cadmio y 92 mg/l para zinc. Además, observaron que la presencia de ambos metales no afectó significativamente la biosorción. Concluyeron que los pellets de *C. vulgaris* son un biosorbente prometedor

para la remediación de aguas contaminadas con estos metales pesados.

V. CONCLUSIONES

Se dio a conocer la remoción de metales pesados mediante el filtro cilíndrico a base de la microalga *Chlorella Vulgaris* teniendo así visualmente las 3 capas de sedimentación dando así un resultado muy complaciente y efectivo considerando la cristalización y niveles de pH debido a la problemática también se pudo concretar que tiene la capacidad asertiva de remoción en metales pesados con mencionados filtros.

La remoción de metales pesados antes y después del tratamiento se pudo ver un gran nivel de remoción en los metales pesados registrados se logró una reducción del 98.5% en la concentración de plomo, del 96.5% en cadmio y del 98.4% en mercurio, evidenciando la eficacia del proceso en la disminución significativa de estos metales en el agua. Con estos resultados se pudo deducir una buena remoción del antes y después, y así mismo validando los parámetros que nos da la ECA para la categoría 3 en riego y consumo animal.

Se determinó que efectivamente la *Chlorella Vulgaris* tuvo una adaptabilidad formidable en zonas andinas como Huancavelica a pesar de las temperaturas obtenidas fue tratada con los parámetros adecuados para su pronta proliferación y en cuanto a la *Scenedesmus Quadricauda* no pudo proliferar por las temperaturas bajas que llegaron a darse en octubre.

VI. RECOMENDACIONES

- Para que el medio de cultivo sea mucho más eficiente en zonas andinas se debe de realizar en épocas de verano o cuando las temperaturas no bajen de 20°C.
- Utilizar la espectroscopia de absorción atómica para tener unos resultados más exactos.
- En caso de realizarlas en épocas de invierno utilizar un calefactor en línea para agua y mantener la supervisión constante de la temperatura.
- Realizar las pruebas in situ en una escala de 10 metros cuadrados para obtener resultados mucho más eficientes.

REFERENCIAS

ABDEL-RAOUF, N., et al. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by *Chlorella vulgaris* biomass: equilibrium, isotherm and kinetic studies. En: *Water, Air and Soil Pollution*. 2016, vol. 223, no. 1, pp. 369-376. DOI:[10.5601/jelem.2016.21.1.1040](https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.1.1040)

AHMADZADEH, H., et al. Optimization of Pb (II) biosorption by Harvested Microalgae (*Chlorella vulgaris*) using response Surface Analysis sp.: application of isotherms, kinetics, and thermodynamics studies. En: *Applied Biological Chemistry*. 2021, vol. 63, no. 1, pp. 1- 16. <https://themedicon.com/pdf/agricultureenvironmental/MCAES-21-004.pdf>

AL-HOMAIDAN, A.A., et al. Microalgae and wastewater treatment. En: *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2017, vol. 24, no. 4, pp. 789-795. <https://doi.org/10.3390/w13010027>

Available from:

https://www.researchgate.net/publication/321849070_Manual_para_el_Monitoreo_e_Identificacion_de_la_Microalga_Bentonica_Didymosphenia_geminata_Subsecretaria_de_Pesca_y_Acuicultura.

Bioremediation of wastewater using microalgae - ProQuest. Proquest.com [en línea], 2014. [consulta: 18 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.proquest.com/openview/f592a450e8a4b1ebf5ce2cc69c91c014/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>.

CULEBRO CAMACHO Jaime, 2020. *Cosechado de micro algas cultivadas en lagunas de alta carga para el tratamiento de aguas residuales: efecto del almidón sobre la floculación y la producción de biogás*. Core.ac.uk [en línea], [consulta: 12 julio 2023]. DOI: oai:upcommons.upc.edu:2117/76418. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/301205000>

DEIMER VITOLA ROMERO, ALEXANDER PÉREZ CORDERO y MONTES, E., 2022. UTILIZACIÓN DE MICROALGAS COMO ALTERNATIVA PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS. *Revista de Investigación Agraria y*

Ambiental [en línea], vol. 13, no. 1, [consulta: 17 junio 2024]. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1302674012/html/>.

DÍAZ, Carolina A, MOLINA, Ximena and MONTECINO, Vivian, 2016. *Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica Didymosphenia geminata*. Subsecretaría. Online. 2012.

DUMISANE MAHLANGU, KELETSO MPHABLELE, FRANCESCO DE PAOLA y NOMCEBO HAPPINESS MTHOMBENI, 2024. Microalgae-Mediated Biosorption for Effective Heavy Metals Removal from Wastewater: A Review. *Water* [en línea], vol. 16, no. 5, [consulta: 17 junio 2024]. DOI <https://doi.org/10.3390/w16050718>. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/5/718>.

EDRIS, G., ALHAMED, Y.A. y ABDULRAHIM AHMAD AL-ZAHRANI, 2013. Biosorption of Cadmium and Lead from Aqueous Solutions by *Chlorella vulgaris* Biomass: Equilibrium and... *ResearchGate* [en línea]. [consulta: 17 junio 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/271913386_Biosorption_of_Cadmium_and_Lead_from_Aqueous_Solutions_by_Chlorella_vulgaris_Biomass_Equilibrium_and_Kinetic_Study.

en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>

FERRER, A., 2023. *Intoxicación por metales. Anales del Sistema Sanitario de Navarra* [en línea], vol. 26, [consulta: 18 octubre 2023]. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008

G. SIBI, 2019. FACTORS INFLUENCING HEAVY METAL REMOVAL BY MICROALGAE-A REVIEW. *ResearchGate* [en línea]. [consulta: 17 junio 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/336979863_FACTORS_INFLUENCING_HEAVY_METAL_REMOVAL_BY_MICROALGAE-A_REVIEW.

GOSWAMI, R.K., AGRAWAL, K., SHAH, M.P. y VERMA, P., 2022. Bioremediation of heavy metals from wastewater: a current perspective on microalgae-based

future. *Letters in applied microbiology* [en línea], vol. 75, no. 4, [consulta: 17 junio 2024]. DOI <https://doi.org/10.1111/lam.13564>. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34562022/>.

GUPTA, V.K. y RASTOGI, A. Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: Kinetics and equilibrium studies. En: *Journal of Hazardous Materials*. 2008, vol. 152, no. 2, pp. 407-414. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.028>

HANDOJO DJATI UTOMO, DONOVAN, X., CHOONG, D. y ZHENG BANG LIM, 2016. Biosorption of Heavy Metal by Algae Biomass in Surface Water. *ResearchGate* [en línea]. [consulta: 17 junio 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309531700_Biosorption_of_Heavy_Metal_by_Algae_Biomass_in_Surface_Water.

Ingeniería , vol. 14, no. 27, Disponible

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI, 2008. Microalgas acuáticas: La otra escala de la biodiversidad en la Amazonia colombiana. Disponible en: URL del documento. <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Microalgas%20reloaded.pdf>

J. y NIETO, S., 2016. Editores: Emilia Cercenado y Rafael Cantón. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia37.pdf>

LUCIA, M. y DOLORES TORRES PÉREZ, 2019. Determinación de metales pesados por métodos analíticos en residuos de Sulfato de Zinc producidos en un laboratorio de química. *Entre Ciencia e Ingeniería*, no. 5, [consulta: 18 mayo 2024]. Disponible en: <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/765>.

M. GOPI KIRAN, KANNAN PAKSHIRAJAN y DAS, G., 2018. Heavy metal removal from aqueous solution using sodium alginate immobilized sulfate reducing bacteria: *ResearchGate* [en línea]. [consulta: 17 junio 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324897510_Heavy_metal_removal_from_aqueous_solution_using_sodium_alginate_immobilized_sulfate_reducing_bacteria_Mechanism_and_process_optimization.

MAHLANGU, Dumisane, et al. Microalgae-based Biosorption Techniques for Heavy Metals Wastewater Treatment. 2024 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: https://www.mdpi.com/2073-4441/16/5/718/review_report

MEHTA, S.K. y GAUR, J.P. Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: progress and prospects. En: *Critical Reviews in Biotechnology*. 2005, vol. 25, no. 3, pp.113-152. <https://doi.org/10.1080/07388550500248571>

MENOR SALVÁN, C. (2012). Microscopía Química Clásica: Aplicaciones en la determinación de metales y minerales [PDF]. Universidad de Oviedo.

https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/10916/1/TFM_CesarMenorSalvan.pdf.

MIRETZKY, P., et al. Utilización de microalgas para la remoción de metales pesados de efluentes líquidos. En: *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. 2008, no. 95, pp. 13-18.

MUNOZ, R. y GUIEYSSE, B. Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. En: *Water Research*. 2006, vol. 40, no. 15, pp. 2799-2815.

ORTÍZ, T., ROMERO, A. y DANIELA, L., 2018. La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación: RIDI* [en línea], vol. 9, no. 1, [consulta: 18 mayo 2024]. DOI <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6763329.pdf>.

POURBABAEE, A.A., et al. Heavy metal bio-removal by microalgae biomass. En:

Environmental Chemistry Letters. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 1067-1094.

PRITI Gupta. Bioremediation of heavy metals from paper mill effluent. En: Bioremediation for Environmental Pollutants, 2023, p. 65-96.
<https://doi.org/10.2174/9789815123494123010005>

RAJAMEHALA y SINGH, V., 2020. UTILIZATION OF ALGAL AND PLANT BASED BIOMASS FOR BIOFUEL PRODUCTION -A REVIEW. JETIR2012136 Journal of Emerging Technologies and Innovative Research [en línea], vol. 7, Disponible en: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2012136.pdf>.

RAJFUR, M., et al. Biosorption of different species of *Chlorella vulgaris* in single- and multi-metal systems. En: Desalination. 2010, vol. 269, no. 1-3, pp. 81-91.

ROSALES, E., et al. Simultaneous bioremoval of nitrogen and metals from wastewaters by up-scaling microalgae biofilms. En: Chemical Engineering Journal. 2020, vol. 392, p. 124827.

ROSANGELA RODRIGUES DIAS, MARIANY COSTA DEPRÁ, LEILA QUEIROZ ZEPKA y JACOB-LOPES, E., 2021. Microalgae-Based Bioremediation. *ResearchGate* [en línea]. [consulta: 17 junio 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/354124367_Microalgae-Based_Bioremediation.

SARI, A. y TUZEN, M. Biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution using green alga (*Ulva lactuca*) biomass. En: Journal of Hazardous Materials. 2008, vol. 152, no. 1, pp. 302-308.

SHAMAA BAHAA, ISRAA AL-BALDAWI, RASHEED, S. y SHEIKH, R., 2019. Biosorption of Heavy Metals from Synthetic Wastewater by Using Macro Algae Collected from Iraqi Marshlands. *Journal of Ecological Engineering* [en línea], vol. 20, no. 11, [consulta: 17 junio 2024]. DOI <https://doi.org/10.12911/22998993/113415>. Disponible en: <http://www.jeeng.net/Biosorption-of-Heavy-Metals-from-Synthetic-Wastewater-by-Using-Macro-Algae-Collected,113415,0,2.html>.

SILVA, G.M., et al. Simultaneous bioremediation of cadmium and zinc using *Chlorella vulgaris* pellets. En: *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019, vol. 19, p. 101165.

Smith, John. Adaptability of microalgae in cold climates: A case study with *Chlorella Vulgaris*. London: Algae Research, 2022. Disponible en: <https://www.algaeresearch.org/studies/chlorella-adaptability>. [Consultado el 17 Junio 2024].

SOSA, M. (2016). *La influencia de la gran minería en los Andes Peruanos; Un análisis de casos teniendo en cuenta la acumulación por despojo y los conflictos por el agua*. Obtenido de <https://edepot.wur.nl/161195>

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), 2016. Recuperación de Pesquerías: Análisis de Experiencias Comparadas. . Disponible en: https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-94954_recurso_1.pdf.

SYNER TECH SAS. NyF de Colombia, 2022. Disponible en: <https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/tratamiento-de-aguas-3esiduales-industriales>

TANG, Y.M., et al. Biosorption performance and mechanism of heavy metals by *Scenedesmus obliquus*. En: *Environmental Science and Pollution Research*. 2021, vol. 28, no. 30, pp. 40525-40535.

TORRES, M.A., et al. Biosorption of Cu(II) and Zn(II) by *Scenedesmus obliquus* biomass: Characterization and modeling of the process. En: *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, vol. 26, no. 21, pp. 21775-21786.

ULLAH, A., et al. Algal biomass for the treatment of industrial wastewater – A review. En: *Bioresource Technology Reports*. 2022, vol. 18, p. 101074.

WAN MAHARI, W.A., et al. Microalgae immobilized technology for wastewater treatment and heavy metal removal. En: *Chemical Engineering Journal*. 2021, vol. 415, p. 128855.

WANG, B., LAN, J., BO, C., GONG, B. y OU, J., 2023. Adsorption of heavy metal

onto biomass-derived activated carbon: review. RSC advances [en línea], vol. 13, no. 7, [consulta: 17 junio 2024]. DOI <https://doi.org/10.1039/d2ra07911a>. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9891085/>.

WORLD (2017). *2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro*. Who.int. Online. 12 July 2017. Available from: [https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%20alrededor,\(OMS\)%20y%20del%20UNICEF](https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%20alrededor,(OMS)%20y%20del%20UNICEF)

YANG, J., et al. Bioremoval of heavy metals from wastewater by green microalgae. En: Science of the Total Environment. 2021, vol. 783, p. 147098.

YU, C., et al. Biosorption of cadmium by immobilized *Scenedesmus obliquus* coupled with aerobic membrane bioreactor. En: Journal of Environmental Management. 2021, vol. 295, p. 113076.

ZERAATKAR, A.K., et al. Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review. En: Journal of Environmental Management. 2016, vol. 181, pp. 817-831.

ZHAO, D., WAI YAN CHEAH, SAI HIN LAI, NG, E., KUAN SHIONG KHOO, PAU LOKE SHOW y TAU CHUAN LING, 2023. Symbiosis of microalgae and bacteria consortium for heavy metal remediation in wastewater. Journal of environmental chemical engineering [en línea], vol. 11, no. 3, [consulta: 18 mayo 2024]. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109943>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343723006826>.

ANEXOS
ANEXO 1: Matriz de operacionalización de variables

Matriz de operacionalización de variables					
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA / UNIDADES MEDIDA
Uso del filtro de microalgas	El uso de microalgas como filtro biológico permite la eliminación de contaminantes en el agua mediante procesos de adsorción, absorción y bioacumulación. Estas microalgas, organismos fotosintéticos unicelulares, tienen la capacidad de crecer rápidamente y absorber nutrientes, metales pesados y otros compuestos presentes en el agua (García-Morales, 2019).	Se define operacionalmente como la implementación de un sistema de filtración que involucra el cultivo y utilización de microalgas para la remoción de contaminantes presentes en el agua.	Desarrollo del micro cultivo de las microalgas	Biomasa de microalgas	(mm ³)
			Control de adaptación climática.	Variación de pH del estanque de cultivo	(pH)
				Temperatura del agua tratada	(°C)
			Duración del uso del filtro de microalgas	Tiempo de cultivo del filtro	(día)
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA / UNIDADES DE MEDIDA
Remoción de metales pesados	La remoción de metales pesados se refiere a la reducción de la concentración de metales tóxicos y contaminantes en el agua, suelo y otros entornos ambientales. Estos metales, como plomo, cadmio, mercurio y arsénico, son liberados por actividades industriales, minería y otros procesos, y pueden tener efectos negativos en la salud y el medio ambiente (Singh & Pant, 2018).	Se define operacionalmente como el grado de reducción de metales pesados específicos, como plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), presentes en el agua contaminada mediante el uso del filtro de microalgas.	Disminución de la concentración antes y después del tratamiento.	Concentración antes	(mg/L)
				Concentración después	(mg/L)
			Estabilidad de sedimentación de la remoción.	Variación diaria	(cm x día)
			Variación del pH durante la remoción antes y después del tratamiento	Potencial de Hidrogeno Antes	(pH)
	Potencial de Hidrogeno Después				

ANEXO 2: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL MARCO METODOLOGICO

Apellidos y Nombres: Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo

Problema Central	Formación del Problema	Título	Objetivos	Hipótesis
La contaminación del agua con metales pesados en aguas residuales industriales y la necesidad de desarrollar tecnologías efectivas para su tratamiento.	¿Cómo se puede lograr una remoción eficiente de metales pesados en aguas residuales industriales utilizando un filtro de micro algas?	REMOCION DE METALES PESADOS (Pb, Cd y Hg) EN AGUAS CONTAMINADAS INDUSTRIALES MEDIANTE UN FILTRO DE MICROALGAS (Chlorella vulgaris, Scenedesmus Quadricauda)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ OBJETIVO GENERAL: <ul style="list-style-type: none"> • Demostrar la remoción de metales pesados mediante el filtro de microalgas. ❖ OBJETIVOS ESPECIFICOS: <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la cantidad de metales pesados en las aguas industriales contaminadas antes y después del tratamiento. • Analizar el desarrollo de las microalgas fuera de su hábitat natural para su adaptabilidad en zonas andinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hipótesis general El uso de un filtro de microalgas es efectivo para la remoción de metales pesados (Pb²⁺, Cd²⁺ y Hg²⁺) en aguas contaminadas industriales, reduciendo significativamente la concentración de metales pesados y cumpliendo con los estándares de calidad del agua establecidos. • Hipótesis del Objetivo Específico 1: La concentración de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en aguas industriales contaminadas disminuirá significativamente después del tratamiento con el filtro de microalgas. • Hipótesis del Objetivo Específico 2: Las microalgas Chlorella Vulgaris y Scenedesmus Quadricauda tienen la capacidad de adaptación y crecimiento en condiciones propias de zonas andinas, considerando factores como la temperatura, altitud y disponibilidad de nutrientes. Se busca confirmar que estas microalgas pueden prosperar en este entorno específico, respaldando su uso efectivo en sistemas de filtración en estas regiones.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3 Validación de Instrumentos de recolección de datos.



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

II. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: **Dr. MUNIVE CERRON RUBEN**
 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y Gestión de los Residuos**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, Ficha 3 de observación para la recolección de datos para la variable Dependiente.**
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	10 0
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.									X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.									X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales									X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%

Lima 07 de julio del 2023

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 19889810. Telf.: 964538375

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: **Dr. MUNIVE CERRON RUBEN**
 1.2 Cargo e institución donde labora **Docente de la Investigación**
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y Gestión de los Residuos**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, ficha 1 de observación para la recolección de datos para la variable dependiente.**
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	10 0
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%

Lima 07 de julio del 2023



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 19889810. Telf.: 964538375

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: **Dr. MUNIVE CERRON RUBEN**
 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**
 1.3 Especialidad o línea de investigación: **Tratamiento y Gestión de los Residuos**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, ficha 2 de observación para la recolección de datos para la variable independiente.**
 0n1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	10 0
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%

Lima 07 de julio del 2023



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 19889810. Telf.: 964538375

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: **GÜERE SALAZAR FIORELLA VANESSA**
 1.2 Cargo e institución donde labora: **UCV**
 1.3 Especialidad o línea de investigación: **Conservación de suelo y agua**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, ficha 2 de observación para la recolección de datos para la variable independiente.**
 0n1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	10 0
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales								X					
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 43566120 Telf.: 931909404

Lima, 17 de diciembre del 2023

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
II. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: **GÜERE SALAZAR FIORELLA VANESSA**
 1.2 Cargo e institución donde labora: **UCV**
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Conservación de suelo y agua**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, Ficha 3 de observación para la recolección de datos para la variable Dependiente.**
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	10 0
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.									X				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 43566120 Telf.: 931909404

Lima, 17 de diciembre del 2023

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: **GÜERE SALAZAR FIORELLA VANESSA**
 1.2 Cargo e institución donde labora: **UCV**
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Conservación de suelo y agua**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, ficha 1 de observación para la recolección de datos para la variable dependiente.**
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	10 0
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales									X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.									X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 43566120 Telf.: 931909404

Lima, 17 de diciembre del 2023

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Maldonado Vásquez Carlos Alfonso
 1.2 Cargo e institución donde labora: Profesor-Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
 1.3 Especialidad o línea de investigación: **Tratamiento y Gestión de los Residuos**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, ficha 2 de observación para la recolección de datos para la variable independiente.**
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.								X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.								X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.									X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales								X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.								X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.								X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.									X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 08858146 Telf.: 926878451



CIP 240892

85%

Huacho, 17 de diciembre del 2023

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
II. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Maldonado Vásquez Carlos Alfonso
 1.2 Cargo e institución donde labora: Profesor-Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y Gestión de los Residuos**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, Ficha 3 de observación para la recolección de datos para la variable Dependiente.**
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.									X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.									X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales									X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 08858146 Telf.: 926878451


 CIP 240892

85%

Huacho, 17 de diciembre del 2023

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Maldonado Vásquez Carlos Alfonso
 1.2 Cargo e institución donde labora: Profesor-Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y Gestión de los Residuos**
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Instrumento, ficha 1 de observación para la recolección de datos para la variable dependiente.**
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	10 0
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.									X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.									X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales									X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%

Huacho, 17 de diciembre del 2023

 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 08858146 Telf.: 926878451

CIP 240892

Ficha 1: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente.			
	Título	Remoción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus Quadricauda</i>)	
	Línea de investigación	Tratamiento y Gestión de los Residuos	
	Responsables	Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo	
	Asesor	Dr. Rubén Munive Cerrón	
Muestra	Concentración de Metales Pesados		
.....	Plomo (Pb) (mm^3)	Cadmio (Cd) (mm^3)	Mercurio (Hg) (mm^3)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Promedio			

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
DNI No 19889810. Telf.: 964538375

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
DNI No 43566120 Telf.: 931909404

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
DNI No 08858146 Telf.: 926878451

Ficha 2: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable independiente.

 Scenedesmus Quadricauda	Título	Remoción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus Quadricauda</i>)	
	Línea de investigación	Tratamiento y Gestión de los Residuos	
	Responsables	Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo	
	Asesor	Dr. Rubén Munive Cerrón	
Cultivo de la microalga			
Nº de Muestra (fecha y hora)	pH del agua	Temperatura del agua (°C)	Biomasa de microalgas (mm^3).
Nº1			
Nº2			
Nº3			
Nº4			
Nº5			
Nº6			
Nº7			
Nº8			
Nº9			
Nº10			
Nº11			
Nº12			
Nº13			
Nº14			

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 19889810. Telf.: 964538375

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 08858146 Telf.: 926878451

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 43566120 Telf.: 931909404

Ficha N°3: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente													
	Título		Remoción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus Quadricauda</i>)										
	Línea de investigación		Tratamiento y Gestión de los Residuos										
	Responsables		Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo										
	Asesor		Dr. Rubén Munive Cerrón										
Registro de remoción de metales pesados y sedimentación con el filtro de microalgas													
N° de Capa concentración de Micro Algas	24Hrs (cm)	48hrs (cm)	72hrs (cm)	96hrs (cm)	120hrs (cm)	144hrs (cm)	168Hrs (cm)	192Hrs (cm)	216Hrs (cm)	pH		Concentración de Metales Pesados (mm^3)	
										inicial	final	antes	después
Capa N°1													
Capa N°2													
Capa N°3													


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 19889810. Telf.: 964538375


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 08858146 Telf.: 926878451


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
 DNI No 43566120 Telf.: 931909404

Ficha 1: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente.

	Título	Remoción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus Quadricauda</i>)		
	Línea de investigación	Tratamiento y Gestión de los Residuos		
	Responsables	Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo		
	Asesor	Dr. Rubén Munive Cerrón		
Muestra	Concentración de Metales Pesados			
Antes.....	Plomo (Pb) (mm^3)	Cadmio (Cd) (mm^3)	Mercurio (Hg) (mm^3)	
M 1	$D = (19)/(40) = 0,475$	$D = (17)/(40) = 0,425$	$D = (4)/(40) = 0,1$	
M 2	$D = (11)/(40) = 0,275$	$D = (10)/(40) = 0,25$	$D = (9)/(40) = 0,225$	
M 3	$D = (14)/(40) = 0,35$	$D = (15)/(40) = 0,375$	$D = (8)/(40) = 0,2$	
M 4	$D = (13)/(40) = 0,325$	$D = (12)/(40) = 0,3$	$D = (7)/(40) = 0,175$	
M 5	$D = (17)/(40) = 0,425$	$D = (16)/(40) = 0,4$	$D = (5)/(40) = 0,125$	
M 6	$D = (16)/(40) = 0,4$	$D = (15)/(40) = 0,375$	$D = (8)/(40) = 0,2$	
M 7	$D = (15)/(40) = 0,375$	$D = (13)/(40) = 0,325$	$D = (6)/(40) = 0,15$	
M 8	$D = (12)/(40) = 0,3$	$D = (15)/(40) = 0,375$	$D = (5)/(40) = 0,125$	
M 9	$D = (12)/(40) = 0,3$	$D = (12)/(40) = 0,3$	$D = (4)/(40) = 0,1$	
M 10	$D = (14)/(40) = 0,35$	$D = (16)/(40) = 0,4$	$D = (7)/(40) = 0,175$	
Promedio	0,335 mm^3	0,3625 mm^3	0,1575 mm^3	



Ficha 2: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente.

	Título	Remoción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus Quadricauda</i>)		
	Línea de investigación	Tratamiento y Gestión de los Residuos		
	Responsables	Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo		
	Asesor	Dr. Rubén Munive Cerrón		
Muestra	Concentración de Metales Pesados			
<i>Dejaris</i>	Plomo (Pb) (mm^3)	Cadmio (Cd) (mm^3)	Mercurio (Hg) (mm^3)	
\wedge 1	—	$D=(1)/(40)=0,025$	—	
\wedge 2	$D=(1)/(40)=0,025$	—	—	
M 3	—	—	—	
M 4	—	$D=(2)/(40)=0,05$	—	
M 5	—	—	—	
\wedge 6	—	$D=(1)/(40)=0,025$	—	
M 7	$D=(1)/(40)=0,025$	—	$D=(1)/(40)=0,025$	
\wedge 8	—	—	—	
\wedge 9	—	—	—	
M 10	—	$D=(1)/(40)=0,025$	—	
Promedio	$0,005 mm^3$	$0,0125 mm^3$	$0,0025 mm^3$	



Ficha 3: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable independiente.

	Título	Remoción de metales pesados (Pb ²⁺ , Cd ²⁺ , Hg ²⁺) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (Chlorella vulgaris, Scenedesmus Quadricauda)
	Línea de investigación	Tratamiento y Gestión de los Residuos
	Responsables	Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo
	Asesor	Dr. Rubén Munive Cerrón

Cultivo de la microalga Scenedesmus Quadricauda

Nº de Muestra (fecha y hora)	pH del agua	Temperatura del agua (°C)	Biomasa de microalgas (mm ³).
Nº1 26 septiembre (3pm)	8.20	10°C	$D=(6)/(40)=0,15$
Nº2 27 septiembre (3pm)	8.22	12°C	$D=(4)/(40)=0,1$
Nº3 28 septiembre (3pm)	8.40	17°C	$D=(8)/(40)=0,2$
Nº4 29 septiembre (3pm)	8.46	10°C	$D=(12)/(40)=0,3$
Nº5 02 octubre (3pm)	8.32	16°C	$D=(5)/(40)=0,125$
Nº6 07 octubre (3pm)	8.32	8°C	$D=(5)/(40)=0,125$
Nº7 04 octubre (3pm)	8.38	9°C	$D=(3)/(40)=0,075$
Nº8 05 octubre (3pm)	8.40	6°C	$D=(2)/(40)=0,05$
Nº9 06 octubre (3pm)	8.40	15°C	—
Nº10 09 octubre (3pm)	8.46	17°C	—
Nº11 10 octubre (3pm)	8.17	14°C	—
Nº12 11 octubre (3pm)	8.12	12°C	—
Nº13 12 octubre (3pm)	7.50	12°C	—
Nº14 13 octubre (3pm)	7.12	10°C	—



Ficha 4: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable independiente.

	Título	Remoción de metales pesados (Pb ²⁺ , Cd ²⁺ , Hg ²⁺) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (Chlorella vulgaris, Scenedesmus Quadricauda)		
	Línea de investigación	Tratamiento y Gestión de los Residuos		
	Responsables	Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo		
	Asesor	Dr. Rubén Munive Cerrón		
Cultivo de la microalga Chlorella Vulgaris				
N° de Muestra (fecha y hora)	pH del agua	Temperatura del agua (°C)	Biomasa de microalgas (mm³).	
N°1 26 Septiembre (8pm)	8.56	10°C	D=(15)/(40)=0,375	
N°2 27 Septiembre (3pm)	8.40	12°C	D=(25)/(40)=0,65	
N°3 28 Septiembre (7pm)	8.40	17°C	D=(80)/(40)=2	
N°4 29 Septiembre (3pm)	8.40	10°C	D=(115)/(40)=2,925	
N°5 02 octubre (3pm)	8.30	16°C	D=(170)/(40)=4,25	
N°6 03 octubre (3pm)	8.35	8°C	D=(213)/(40)=5,325	
N°7 04 octubre (3pm)	8.40	9°C	D=(217)/(40)=5,425	
N°8 05 octubre (3pm)	8.46	6°C	D=(232)/(40)=5,925	
N°9 06 octubre (7pm)	8.76	13°C	D=(383)/(40)=9,575	
N°10 09 octubre (3pm)	8.46	17°C	D=(391)/(40)=9,775	
N°11 10 octubre (3pm)	8.46	19°C	D=(260)/(40)=6,5	
N°12 11 octubre (3pm)	8.44	12°C	D=(144)/(40)=3,6	
N°13 12 octubre (3pm)	8.40	18°C	D=(353)/(40)=8,925	
N°14 13 octubre (3pm)	8.40	10°C	D=(379)/(40)=9,475	



Ficha 5: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente													
Título Remoción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (Chlorella vulgaris, Scenedesmus Quadricauda)													
Línea de investigación Tratamiento y Gestión de los Residuos													
Responsables Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo													
Asesor Dr. Rubén Muntive Cerrón													
N° de Capa concentración de M.A. <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>10 mg biomasa</i>	24Hrs (cm)	48hrs (cm)	72hrs (cm)	96hrs (cm)	120hrs (cm)	144hrs (cm)	168Hrs (cm)	192Hrs (cm)	216Hrs (cm)	pH		Concentración de Metales Pesados (mm^3)	
	inicial	final	antes	después									
Capa N°1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	0	0	6,76	8,12	$Pb(0,005)$ $Cd(0,000)$ $Hg(0,002)$	$Pb(0,005)$ $Cd(0,012)$ $Hg(0,002)$
Capa N°2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7	6,46	8,17	$Pb(0,005)$ $Cd(0,012)$ $Hg(0,002)$	$Pb(0,005)$ $Cd(0,012)$ $Hg(0,002)$
Capa N°3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	6,46	8,19	$Pb(0,005)$ $Cd(0,012)$ $Hg(0,002)$	$Pb(0,005)$ $Cd(0,012)$ $Hg(0,002)$



Ficha 6: Ficha de observación para la recolección de datos de la variable dependiente												
Título		Remoción de metales pesados (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (Chlorella vulgaris, Scenedesmus Quadricauda)										
Línea de investigación		Tratamiento y Gestión de los Residuos										
Responsables		Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo										
Asesor		Dr. Rubén Munive Cerrón										
Registro de remoción de metales pesados y sedimentación con el filtro de microalgas												
N° de Capa concentración de M.A. Chlorella vulgaris 32 ml. Metabolitos 15 mg. de Scenedesmus	24Hrs (cm)	48hrs (cm)	72hrs (cm)	96hrs (cm)	120hrs (cm)	144hrs (cm)	168hrs (cm)	192Hrs (cm)	216Hrs (cm)	pH		Concentración de Metales Pesados (mm^3)
	inicial	final	antes	después								
Capa N°1	1,5	1,9	1	0,5	0	0	0	0	0	6,46	8,15	Pb (0,005) Cd (0,0125) Hg (0,0025)
Capa N°2	9,5	9,1	1,1	10,5	12	12	12	12	12	6,46	8,16	Pb (0,005) Cd (0,0125) Hg (0,0025)
Capa N°3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	6,46	8,19	Pb (0,005) Cd (0,0125) Hg (0,0025)



Anexo 4 Carta de aceptación de pasantía en la UNH.



CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA MULTIDISCIPLINARIO DE INGENIERIA DE LA UNH
(RECONOCIDA Y ACREDITADA POR RESOLUCIÓN N° 1100-2015-CU-UNH)



Huancavelica, 18 de siembre del 2023

CARTA N°018-2018-CICMI/UNH-HVCA

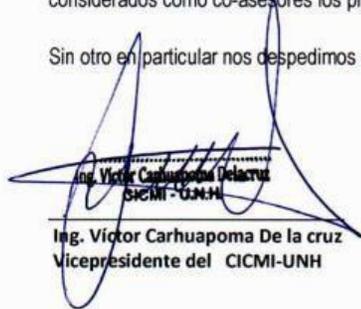
Dra. Verónica Tello Mendivil
Jefa de la EP Ingeniería Ambiental- Universidad Cesar Vallejo

PRESENTE.

ASUNTO: ACEPTACIÓN DE PASANTÍA DE ESTUDIANTE

Es grato dirigirme a Usted, para saludarle cordialmente a nombre del "Centro de Investigación Científica Multidisciplinario de Ingeniería de la UNH" y Laboratorio de Salud Animal de la Universidad Nacional de Huancavelica y hago la referencia de que el estudiante Yauricasa Sánchez Alder Augusto Grimaldo , con código N° 7002505942, con DNI N° 72965767, estudiantes de la EP Ingeniería Ambienta - Universidad Cesar Vallejo , han sido aceptadas por nuestra instancia para que puedan realizar su pasantía en el Centro de Investigación Científica Multidisciplinario de Ingeniería de la UNH y el Laboratorio de Salud Animal de la Universidad Nacional de Huancavelica, durante los meses de septiembre a diciembre del 2023, a fin de desarrollar su proyecto de tesis titulada: "Remoción de metales pesados(*Pb+*, *Cd+*, *Hg+*) en aguas contaminadas industriales mediante un filtro de microalgas (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus Quadricauda*)". En tal sentido, mucho le agradeceremos que el estudiante se acoja a nuestros reglamentos de pasantias o practica y las formas de trabajo que realizamos nuestra instancia y que presenten sus fichas de evaluación originales de tal forma se puedan emitir la certificación y sus constancias validadas, asi mismo deben ser considerados como co-asesores los profesionales que acogerán en la tesis emprendida.

Sin otro en particular nos despedimos de Ud. Mostrándole nuestra estima y diferencia personal.


Ing. Víctor Carhuapoma De la Cruz
Vicepresidente del CICMI-UNH

Atentamente,




Dr. Nicasio Valencia Mamani
Jefe de Laboratorio de Salud Animal-UNH

Ciudad Universitaria: Av. Paturpampa s/n Huancavelica

Anexo 5 Informe de resultados de laboratorio aceptada.

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO SALUD ANIMAL - UNH

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
2.-DIRECCIÓN : AVENIDA AGRICULTURA 319-321, PATURPAMPA 09001
3.-PROYECTO : REMOCIÓN DE METALES PESADOS (Pb2+, Cd2+, Hg2+) EN AGUAS CONTAMINADAS INDUSTRIALES MEDIANTE UN FILTRO DE MICROALGAS (CHLORELLA VULGARIS, SCENEDESMUS QUADRICAUDA)
4.-PROCEDENCIA : MINA SANTA BÁRBARA - HUANCAMELICA
5.-SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
6.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
7.-MUESTREO POR : YAURICASA SÁNCHEZ ALDER AUGUSTO GRIMALDO – TESISTA UCV
8.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2023-11-20

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua Residual industrial
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 2
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2023-10-09
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2023 10-10 al 2023-10-25



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio de Salud Animal - UNH. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

INFORME DE RESULTADOS DEL LABORATORIO SALUD ANIMAL – UNH

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Pesados caracterización y cuantificación microscópica	Menor Salván, C. (2010). Microscopía Química Clásica: Aplicaciones en la determinación de metales y minerales [PDF]. Universidad de Oviedo. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/10916/1/TFM_CesarMenorSalvan.pdf	MICROSCOPIA QUÍMICA CLÁSICA Aplicaciones en la determinación de metales y minerales

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por especialistas

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado



INFORME DE RESULTADOS DEL LABORATORIO SALUD ANIMAL – UNH

IV. RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	
CÓDIGO DEL CLIENTE:	7002505942
COORDENADAS: E:	-12.810158
UTM WGS 84: N:	-74.974697
PRODUCTO:	Agua Residual industrial
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:	09-10-2023 15:41

Muestra	CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS			
(antes)....	Plomo (Pb) (mm^3)	Cadmio (Cd) (mm^3)	Mercurio (Hg) (mm^3)
1		$D=(12)/(40)=0.3$	$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(4)/(40)=0.1$
2		$D=(11)/(40)=0.275$	$D=(11)/(40)=0.275$	$D=(9)/(40)=0.225$
3		$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(8)/(40)=0.2$
4		$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(7)/(40)=0.175$
5		$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(16)/(40)=0.4$	$D=(5)/(40)=0.125$
6		$D=(16)/(40)=0.4$	$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(8)/(40)=0.2$
7		$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(6)/(40)=0.15$
8		$D=(13)/(40)=0.325$	$D=(15)/(40)=0.375$	$D=(5)/(40)=0.125$
9		$D=(12)/(40)=0.3$	$D=(17)/(40)=0.425$	$D=(4)/(40)=0.1$
10		$D=(14)/(40)=0.35$	$D=(16)/(40)=0.4$	$D=(7)/(40)=0.175$
Promedio		$0.335 mm^3$	$0.3625 mm^3$	$0.1575 mm^3$



⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por especialistas

INFORME DE RESULTADOS DEL LABORATORIO SALUD ANIMAL – UNH

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	
CÓDIGO DEL CLIENTE: 7002505942	
COORDENADAS: E: -12.810158	
UTM WGS 84: N: -74.974697	
PRODUCTO: Agua Residual Industrial	
SUB PRODUCTO: Agua Residual Industrial	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO: NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO: 23-10-2023 10:00	

Muestra	CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS		
(Después)....	Plomo (Pb) (mm^3)	Cadmio (Cd) (mm^3)
1	0	D=(1)/(40)=0.025	0
2	D=(1)/(40)=0.025	0	0
3	0	0	0
4	0	D=(2)/(40)=0.05	0
5	0	0	0
6	0	D=(1)/(40)=0.025	0
7	D=(1)/(40)=0.025	0	D=(1)/(40)=0.025
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	D=(1)/(40)=0.025	0
Promedio	0.005 mm^3	0.0125 mm^3	0.0025 mm^3



⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por especialistas

⁽²⁾ El Ensayo indicado no ha sido acreditado

INFORME DE RESULTADOS DEL LABORATORIO SALUD ANIMAL – UNH

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	
CÓDIGO DEL CLIENTE:	7002505942
COORDENADAS:	E: -12.810158
UTM WGS 84:	N: -74.974697
PRODUCTO:	Agua Residual Industrial
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
FECHA DE MUESTREO:	Desde el 11-10-2023 al 24-10-2023

REGISTRO DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS Y SEDIMENTACIÓN CON EL FILTRO DE MICROALGAS

N° de Capa concentración de Micro Algas <i>Chlorella Vulgaris</i> 32 ml Metales pesados 15mg de	24Hrs (cm)	48hrs (cm)	72hrs (cm)	96hrs (cm)	120hrs (cm)	144hrs (cm)	168Hrs (cm)	192Hrs (cm)	216Hrs (cm)	pH		Concentración de Metales Pesados (mm^3)	
										inicial	final	antes	después
										Capa N°1	1,5	1,9	1
Capa N°2	9,5	9,1	11	10,5	12	12	12	12	12	6.46	8.16	Pb (0.335) Cd (0.3625) Hg (0.1575)	Pb (0.005) Cd (0.0125) Hg (0.0025)
Capa N°3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	6.46	8.19	Pb (0.335) Cd (0.3625) Hg (0.1575)	Pb (0.005) Cd (0.0125) Hg (0.0025)

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por especialistas

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.




Dr. Nicasio Valencia Mamani
 Coordinador de Proyecto

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 6 Programa IBM SPSS Statistics Visor.

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ACTIVADO Clásico H: 271, W: 311 pt.

Resultado2 [Documento3] - IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Resultado

- Explorar
 - Título
 - Notas
 - Resumen de procesamiento de casos
 - Descriptivos
 - Pruebas de normalidad
 - CONCENTRACION
 - Título
 - Gráfico Q-Q normal
 - Gráfico Q-Q normal sin tendencia
- Unidireccional
 - Título
 - Notas
 - Pruebas de homogeneidad de varianzas
 - ANOVA
 - Tamaños de efecto ANOVA
 - Pruebas post hoc
 - Comparaciones múltiples
 - Subconjuntos homogéneos
 - CONCENTRACION

Explorar

Resumen de procesamiento de casos

	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
CONCENTRACION	30	100.0%	0	0.0%	30	100.0%

Descriptivos

	Estadístico	Error estándar
CONCENTRACION	Media	.00667
	95% de intervalo de confianza para la media	.00190
	Limite inferior	.01153
	Limite superior	.00509
	Media recortada al 5%	.00000
	Mediana	.00000
	Varianza	.000
	Desv. estándar	.013021
	Mínimo	.000
	Máximo	.050
	Rango	.050
	Rango intercuartil	.006
	Asimetría	1.867
	Curtosis	.84

Efectúe una doble pulsación para activar

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CONCENTRACION	.462	30	<.001	.559	30	<.001

a. Corrección de significación de Lilliefors

CONCENTRACION

Gráfico Q-Q normal de CONCENTRACION

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ACTIVADO Clásico H: 271, W: 311 pt.

Resultado2 [Documento3] - IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Resultado

- Explorar
 - Título
 - Notas
 - Resumen de procesamiento de casos
 - Descriptivos
 - Pruebas de normalidad
 - CONCENTRACION
 - Título
 - Gráfico Q-Q normal
 - Gráfico Q-Q normal sin tendencia
- Unidireccional
 - Título
 - Notas
 - Pruebas de homogeneidad de varianzas
 - ANOVA
 - Tamaños de efecto ANOVA
 - Pruebas post hoc
 - Comparaciones múltiples
 - Subconjuntos homogéneos
 - CONCENTRACION

Unidireccional

Pruebas de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
CONCENTRACION	Se basa en la media	6.018	2	.007
	Se basa en la mediana	1.671	2	.207
	Se basa en la mediana y con el ajustado	1.671	2	.215
	Se basa en la media recortada	5.526	2	.010

ANOVA

CONCENTRACION	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.001	2	.000	1.671	.207
Dentro de grupos	.004	27	.000		
Total	.005	29			

Tamaños de efecto ANOVA^{a,b}

CONCENTRACION	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
		Inferior	Superior
Eta cuadrado	.110	.000	.306
Epsilon cuadrado	.044	-.074	.255
Omega cuadrado efecto fijo	.043	-.071	.249
Omega cuadrado efecto aleatorio	.022	-.034	.142

a. Eta cuadrado y Epsilon cuadrado se estiman basándose en el modelo de efecto fijo.
b. Las estimaciones negativas pero menos sesgadas se conservan, no se redondean a cero.

Pruebas post hoc

Resultado2 [Documento3] - IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Resultado

- Explorar
 - Título
 - Notas
 - Resumen de procesamiento de casos
 - Descriptivos
 - Pruebas de normalidad
 - CONCENTRACION
 - Título
 - Gráfico Q-Q normal
 - Gráfico Q-Q normal sin tendencia
- Unidireccional
 - Título
 - Notas
 - Pruebas de homogeneidad de varianzas
 - ANOVA
 - Tamaños de efecto ANOVA
 - Pruebas post hoc
 - Título
 - Comparaciones múltiples
 - Subconjuntos homogéneos
 - Título
 - CONCENTRACION

aleatorio

a. Eta cuadrado y Epsilon cuadrado se estiman basándose en el modelo de efecto fijo.
b. Las estimaciones negativas pero menos sesgadas se conservan, no se redondean a cero.

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: CONCENTRACION

HSD Tukey

(I) METALES_PESADOS	(J) METALES_PESADOS	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
PLOMO(Pb)	CADMIO(Cd)	-.007500	.005693	.398	-.02161	.00661
	MERCURIO(Hg)	.002500	.005693	.900	-.01161	.01661
CADMIO(Cd)	PLOMO(Pb)	.007500	.005693	.398	-.00661	.02161
	MERCURIO(Hg)	.010000	.005693	.203	-.00411	.02411
MERCURIO(Hg)	PLOMO(Pb)	-.002500	.005693	.900	-.01661	.01161
	CADMIO(Cd)	-.010000	.005693	.203	-.02411	.00411

Subconjuntos homogéneos

CONCENTRACION

HSD Tukey*

METALES_PESADOS	N	Subconjunto para alfa = 0,05
MERCURIO(Hg)	10	.00250
PLOMO(Pb)	10	.00500
CADMIO(Cd)	10	.01250
Sig.		.203

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10.000.

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:ACTIVADO Clásico H: 271, W: 311 pt.