



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Diseño de un tren de tratamiento mediante la aplicación de un biofiltro y
fitorremediación para el tratamiento de las aguas destinadas al riego en el
distrito de Cuchumbaya, 2024.**

Tesis presentada por:

Delgado Viza, Betsy Jaqueline

ORCID: 0009-0008-2472-582X

Cruz Coaquira, Edwin Joseph

ORCID: 0000-0002-5249-5805

para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor (a):

Mg. Lazarte Arredondo, Sonia

ORCID: 0000-0002-8696-6708

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
DICTAMEN DE APROBACIÓN DE BORRADOR
TITULACIÓN CON TESIS

Arequipa, 29 de Junio del 2025

Dictamen: 012347-C-EPIA-2025

Visto el Borrador del expediente 012347, presentado por:

2018201912 - DELGADO VIZA BETSY JAQUELINE

2018201721 - CRUZ COAQUIRA EDWIN JOSEPH

Titulado:

**DISEÑO DE UN TREN DE TRATAMIENTO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN BIOFILTRO Y
FITORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DESTINADAS AL RIEGO EN EL
DISTRITO DE CUCHUMBAYA, 2024.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR



46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR



72384055 - MEDINA RAMOS ROBERT JOAQUIN
DICTAMINADOR



Diseño de un tren de tratamiento mediante la aplicación de un biofiltro y fitorremediación para el tratamiento de las aguas destinadas al riego en el distrito de Cuchumbaya, 2024.

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

2%

3

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

revistatyca.org.mx

Fuente de Internet

1%

5

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%

6

R León, Beatriz Margarita Pernía Santos, Rosa
Siguencia, S Franco, A Noboa, Xavier Cornejo.

"Potencial de plantas acuáticas para la
remoción de coliformes totales y Escherichia
coli en aguas negras", Enfoque UTE, 2018

Publicación

<1%

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mi mamá Hermelinda Viza C. quien fue y sigue siendo mi más grande inspiración para luchar día a día, por ser el ejemplo de una mujer guerrera, que desde el principio estuvo ahí porque siempre creyó en mí, incluso cuando yo dudaba de mí misma, por secar mis lágrimas en los momentos difíciles y por recordarme que soy capaz de superar cualquier obstáculo, porque es más fácil ser valiente cuando estas a mi lado, nunca me cansare de agradecerte todo lo que haces por mí, ninguna palabra es suficiente para expresar tanto agradecimiento.

A mi querido padre, Luis Delgado Vargas, por confiar en mi y siempre apoyarme en todo momento, por aventurarte una vez mas conmigo en cada paso que doy, gracias por siempre anhelar lo mejor para mi vida

Para mi abuela Julia la cual siempre con su amor incondicional, por enseñarme que no hay limites cuando el esfuerzo este guiado por el amor y la fe, gracias mamita por siempre cocinarme delicioso.

A Luis Cordova P. por impulsarme a dar el primer paso a estudiar Ing. Ambiental, gracias por creer en mi y apoyarme en esta etapa de mi vida, por tus palabras de aliento y por más gatitos felices.

Betsy Delgado

Con todo cariño, amor y respeto a mi mamá Silvia Coaquira R., por ser una gran madre y siempre estar apoyándome y confiando en mi sin dudar en ningún momento de lo que puedo llegar a lograr, por ser un gran ejemplo de constancia, cariño y esfuerzo, por siempre estar ahí para mí en los momentos más importantes y cruciales de mi vida, razones sobran para dedicarte este y más logros en mi vida, no existen palabras para expresar mi enorme agradecimiento.

A mí padre, Edwin Cruz V. por ser un gran pilar y ejemplo a seguir y por estar siempre a la vanguardia de mi vida y estar apoyándome en los momentos más duros y cruciales de mi vida, por siempre estar ahí para mí cuando lo necesito, por ser un gran padre.

Para mis abuelos Avelino y Jacinta, agradecer su cariño y apoyo en lo largo de mi vida, ya que son un factor muy importante para que yo esté terminando de realizar este trabajo de investigación, por su tiempo, su comprensión, sus consejos y su gran manera de demostrar que siempre estarán para mí, por todo eso y más siempre estaré agradecido.

Edwin Cruz

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos llegar a este momento y colocar a las personas correctas en nuestro camino.

A la Universidad Católica de Santa María, por inculcar mediante su enseñanza valores que nos han convertido en buenos profesionales.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Mag. Sonia Lazarte Arredondo, y a nuestros dictaminadores Mag. Robert Medina Ramos, Mag. Rosario Benegas Llanos, por su guía, paciencia y disposición para brindarnos sus conocimientos y apoyo, los cuales fueron fundamentales para el éxito y la realización del presente trabajo de investigación.

Al Q.F. Ricardo Abril Ramírez, por brindarnos la disposición del laboratorio en la ejecución de este proyecto.

Con sinceridad y cariño, agradecemos este logro a nuestros padres por su incuestionable respaldo, sacrificio y amor sin reservas, han sido el faro que nos ha orientado durante este recorrido educativo. Cada logro que logramos también es suyo, dado que su incesante motivación y modelo han sido nuestra mayor motivación.

Y extendemos nuestra gratitud a Luis Delgado Vargas, quien nos brindo su apoyo incondicional en la ejecución de nuestra tesis, gracias por su infinita paciencia y su disposición de tiempo.

Betsy Jaqueline Delgado Viza y Edwin Joseph Cruz Coaquira

RESUMEN

La contaminación del agua por parámetros fisicoquímicos y metales pesados en el Distrito de Cuchumbaya (Moquegua) representa un grave problema ambiental que impacta negativamente la agricultura, la ganadería y la salud de las comunidades. Este estudio propone un diseño de tren de tratamiento basado en la fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y un biofiltro compuesto por carbón activado, cascarilla de arroz y piedra pómez, para tratar aguas residuales destinadas al riego agrícola.

Se desarrolló un plan de muestreo durante la temporada húmeda (septiembre a noviembre), siguiendo la metodología del ANA (2016), para evaluar la concentración de contaminantes. Posteriormente, se aplicó la fitorremediación con 15 plantas de Jacinto de Agua durante 15 días, seguida del paso del agua tratada a través del biofiltro.

Los resultados indicaron una remoción efectiva de oxígeno disuelto, DBO, berilio (Be), cadmio (Cd), cromo (Cr) y manganeso (Mn). Sin embargo, se registró un aumento en pH, arsénico (As), selenio (Se), aceites y grasas, así como inconsistencias en la remoción de boro (B), litio (Li), magnesio (Mg), plomo (Pb), zinc (Zn) y bario (Ba).

Se concluye que el tren de tratamiento es recomendable principalmente para reducir Be, Cd, Cr y Mn en aguas residuales.

Palabras clave: *Eichhornia crassipes*, fitorremediación, biofiltro.

ABSTRACT

Water pollution caused by physicochemical parameters and heavy metals in the Cuchumbaya District (Moquegua) poses a serious environmental issue, adversely affecting agriculture, livestock, and the quality of life of nearby communities. This study proposes the design of a treatment train using phytoremediation with Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and a biofilter composed of activated carbon, rice husk, and pumice stone, aimed at treating wastewater intended for agricultural irrigation.

A sampling plan was developed during the wet season (September to November), following the ANA (2016) methodology, to assess the concentration of contaminants. Subsequently, phytoremediation was applied using 15 Water Hyacinth plants for 15 days, followed by filtration through the biofilter.

The results showed effective removal of dissolved oxygen, BOD, beryllium (Be), cadmium (Cd), chromium (Cr), and manganese (Mn). However, there was a noticeable increase in pH, arsenic (As), selenium (Se), oils, and greases, along with inconsistent results for boron (B), lithium (Li), magnesium (Mg), lead (Pb), zinc (Zn), and barium (Ba).

It is concluded that the treatment train is recommended mainly for the reduction of Be, Cd, Cr, and Mn in wastewater.

Keywords: *Eichhornia crassipes*, phytoremediation, biofilter.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....2

1.1. Problemática de la investigación2

1.2. Justificación de la investigación4

1.2.1. Justificación Ambiental4

1.2.2. Justificación Social.....4

1.2.3. Justificación Económica5

1.2.4. Justificación Tecnológica5

1.3. Objetivos de la investigación.....5

1.3.1. Objetivo General5

1.3.2. Objetivos Específicos5

1.4. Hipótesis.....6

1.5. Variables.....6

1.5.1. Operacionalización de variables6

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....7

2.1. Antecedentes de la investigación.....7

2.1.1. Internacionales7

2.1.2. Nacionales.....10

2.2. Marco teórico.....12

2.2.1. Aguas Contaminadas12

2.2.2. Fitorremediación15

2.2.3. Plantas Macrófitas16

2.2.4. Biofiltro18

2.3. Marco legal26

2.3.1. Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente.26

2.3.2. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM26

2.3.3. Ley 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático.....27

2.3.4.	Ley 26842, Ley General de Salud – Indica que el Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)	27
2.3.5.	Resolución de Gerencia General del PERPG N°191-2019-GG-PERPG/GR.MOQ	27
2.3.6.	Estándares de calidad Ambiental (ECA) para agua SINIA (DS N°004-2017-MINAM)	27
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		28
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	28
3.2.	Diseño de la investigación.....	28
3.3.	Métodos	36
3.3.1.	Población, muestra y muestreo	36
3.3.2.	Diseño preliminar biofiltro y fitorremediación.....	36
3.3.3.	Indicadores e instrumentos experimentales	37
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		41
4.1.	Resultados	41
4.1.1.	Análisis de calidad de las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya	41
4.1.2.	Diseño y armado del tren de tratamiento.....	48
4.1.3.	Eficiencia del tren de tratamiento de fitorremediación y biofiltro.....	56
4.2.	Discusión	77
CONCLUSIONES.....		82
RECOMENDACIONES.....		84
REFERENCIAS		85
ANEXOS		94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables.	6
Tabla 2 Nivel, tipo, enfoque de investigación	28
Tabla 3 Planificación del monitoreo.....	29
Tabla 4 Población, muestra y muestreo.....	36
Tabla 5 Indicadores e instrumentos - pH.....	38
Tabla 6 Indicadores e instrumentos – DBO.....	38
Tabla 7 Indicadores e instrumentos – Temperatura	38
Tabla 8 Indicadores e instrumentos - Aceites y Grasas	38
Tabla 9 Indicadores e instrumentos - Oxígeno Disuelto	39
Tabla 10 Indicadores e instrumentos - Sólidos totales.	39
Tabla 11 Metales pesados	39
Tabla 12 Indicadores e instrumentos - Capacidad de fitorremediación	40
Tabla 13 Fecha y cantidad de levantamiento de muestras.....	41
Tabla 14 Rotulado y etiquetado de muestras	43
Tabla 15 Resultados de muestra de aguas residuales de la temporada húmeda (Setiembre, octubre y noviembre), bocatoma Umalso	48
Tabla 16 Resultados del primer muestreo del tren de tratamiento con ECA-3	60
Tabla 17 Resultados del segundo muestreo del tren de tratamiento con ECA-3.....	62
Tabla 18 Resultados del tercer muestreo del tren de tratamiento con ECA-3.....	63
Tabla 19 Tabla de resultados iniciales y finales del fitorremediador.....	66
Tabla 20 Tabla de consistencia del fitorremediador.....	67
Tabla 21 Tabla de resultados iniciales y finales del biofiltro.	68
Tabla 22 Tabla de consistencia del biofiltro.....	69
Tabla 23 Tabla de resultados iniciales y finales del tren de tratamiento en su totalidad.....	70
Tabla 24 Tabla de consistencia del tren de tratamiento.....	70
Tabla 25 Tabla ANOVA.....	76
Tabla 26 Tabla de resultado de consistencia de resultados.....	76

INDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1	Balance de materia y energía del primer muestreo del tren de tratamiento.....	61
Esquema 2	Balance de materia y energía del segundo muestreo del tren de tratamiento	63
Esquema 3	Balance de materia y energía del tercer muestreo del tren de tratamiento	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de punto de monitoreo.....	30
Figura 2 Diagrama de flujo	35
Figura 3 Esquema experimental.....	37
Figura 4 Construcción real.....	37
Figura 5 Punto de monitoreo.....	42
Figura 6 Materiales y equipo	42
Figura 7 Reconocimiento de entorno	43
Figura 8 Rotulado y etiquetado de envases	44
Figura 9 Georreferenciación de la zona – Umalso	44
Figura 10 Toma de muestras	45
Figura 11 Medición del pH.....	45
Figura 12 Medición de oxígeno disuelto y temperatura	46
Figura 13 Preservación de muestras	46
Figura 14 Transporte de muestras	47
Figura 15 Ingreso de muestras a laboratorio.....	47
Figura 16 Adquisición y Acondicionamiento de la especie Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	49
Figura 17 Selección de especies Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	49
Figura 18 Rotulación de las 15 especie Jacinto de Agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) seleccionadas	50
Figura 19 Calibración de capas filtrantes	50
Figura 20 Armado de contenedor fitorremediador.....	51
Figura 21 Fitorremediación de las especies Jacinto de Agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	52
Figura 22 Armado de biofiltro	52
Figura 23 Soporte de andamio para estructura de biofiltro	53
Figura 24 Estructura armada de biofiltro.....	53
Figura 25 Capaz filtrantes limpias.....	54
Figura 26 Llenado de capaz filtrantes (arena fina, cascarilla de arroz y carbón activado).....	54
Figura 27 Llenado de capaz filtrantes (piedra pómez y arena gruesa)	55
Figura 28 Eliminación de impurezas.....	55
Figura 29 Recolección de agua fitorremediada.....	56

Figura 30 Medición de oxígeno disuelto y temperatura de agua fitorremediada de cada mes.	56
Figura 31 Medición de pH de agua fitorremediada de cada mes	57
Figura 32 Filtración de agua fitorremediada.....	57
Figura 33 Tiempo de filtración	58
Figura 34 Recolección de agua filtrada	58
Figura 35 Medición de oxígeno disuelto y temperatura de agua filtrada de cada mes	59
Figura 36 Medición de pH de agua filtrada de cada mes	59
Figura 37 Rotulación, transporte y recepción de muestras finales.....	60
Figura 38 Valores de Temperatura pre y post tren de tratamiento.....	71
Figura 39 Valores de Ph pre y post tren de tratamiento	71
Figura 40 Valores de Oxígeno disuelto pre y post tren de tratamiento	72
Figura 41 Valores de Bario pre y post tren de tratamiento	72
Figura 42 Valores de Berilio pre y post tren de tratamiento.....	73
Figura 43 Valores de Cadmio pre y post tren de tratamiento	73
Figura 44 Valores de Cromo pre y post tren de tratamiento.....	74
Figura 45 Valores de Cobre pre y post tren de tratamiento	74
Figura 46 Valores de Manganeso pre y post tren de tratamiento.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Geo referencia	94
Anexo B Cálculo de dimensiones biofiltro.....	94
Anexo C Fitorremediación.....	96
Anexo D Formato de Identificación del Punto de Monitoreo.....	98
Anexo E Materiales y equipos necesarios para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.	99
Anexo F Conservación preservación de muestras de agua en función al parámetro evaluado.	99
Anexo G Presupuesto de laboratorio	100
Anexo H Calculo de las dimensiones del biofiltro.....	101
Anexo I Cálculos de densidad de las capas del biofiltro	103
Anexo J Resultados del laboratorio de agua superficial (DBO) del mes de setiembre.	105
Anexo K Resultados del laboratorio de agua superficial (sólidos totales) del mes de setiembre.....	106
Anexo L Resultados del laboratorio de agua superficial (metales pesados) del mes de setiembre	107
Anexo M Resultados del laboratorio de agua superficial (Aceites y grasas) del mes de setiembre.....	109
Anexo N Resultados del laboratorio de agua superficial (DBO)) del mes de octubre.....	110
Anexo O Resultados del laboratorio de agua superficial (sólidos totales) del mes de octubre.	111
Anexo P Resultados del laboratorio de agua superficial (metales pesados) del mes de octubre. 	112
Anexo Q Resultados del laboratorio de agua superficial (aceites y grasas) del mes de octubre.	114
Anexo R Resultados del laboratorio de agua superficial (aceites y grasas, sólidos totales, metales pesados y DBO) del mes de noviembre.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo S Resultados del laboratorio del fitorremediador (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de octubre.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo T Resultados del laboratorio del tren de tratamiento (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de octubre.....	120

Anexo U Resultados del laboratorio del fitorremediador (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de noviembre.....	123
Anexo V Resultados del laboratorio del tren de tratamiento (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de noviembre.....	125
Anexo W Resultados del laboratorio del fitorremediador (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de diciembre.....	127
Anexo X Resultados del laboratorio del tren de tratamiento (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de diciembre.....	129
Anexo Y Panel fotográfico	131
Anexo Z Presupuesto.....	133
Anexo AA Principales cultivos.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE ABREVIATURAS

LMP	Límites máximos permisibles
Ag	Plata
Be	Berilio
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
ANA	Autoridad nacional del agua
INDECI	Instituto nacional de defensa civil
PCM	Presidencia del Consejo de ministros
MINAM	Ministerio nacional del ambiente
COER	Centro de Operaciones de emergencia regional
EPA	Environmental Protection Agency
ARD	Aguas residuales domésticas
AnRD	Aguas residuales no domésticas
ECA	Estándares de calidad ambiental
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
pH	Potencial de hidrogeno
OD	Oxígeno disuelto
Cr	Cromo
As	Arsénico
Cu	Cobre
Pb	Plomo
Hg	Mercurio
Ni	Níquel
Zn	Zinc
Fe	Hierro
Ca	Calcio
DQO	Demanda química de oxígeno
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
Ba	Bario
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
Li	Litio

Mg

Magnesio

Mn

Manganeso

P

Fósforo

Se

Selenio

INTRODUCCIÓN

En la región de Moquegua, la contaminación del agua de riego con parámetros fisicoquímicos y metales pesados representa un problema ambiental grave. Aunque el uso de aguas residuales en agricultura es una práctica común ante la escasez hídrica, su aplicación sin tratamiento adecuado puede afectar la salud humana, el suelo y los cultivos por la toxicidad y persistencia de contaminantes como Hg, As, Pb, Cd, Zn, Ni y Cr (Aguilar y Cubas, 2021).

Métodos sostenibles como la fitorremediación con plantas acuáticas y el uso de biofiltros han surgido como alternativas eficaces. En el distrito de Cuchumbaya, los ríos Coralaque y Tambo contaminan las aguas de riego por falta de tratamiento (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2024), generando preocupación en la población ante la inacción de las autoridades (Defensoría del Pueblo, 2024).

Ante este panorama, la presente investigación propone un tren de tratamiento basado en la fitorremediación con Jacinto de Agua y el uso de un biofiltro, con el objetivo de remover contaminantes y adecuar el agua a los estándares de calidad ECA-3. La investigación se estructura en cinco capítulos:

- Capítulo I: Problema, justificación, objetivos, hipótesis y variables.
- Capítulo II: Antecedentes, marco teórico y marco legal.
- Capítulo III: Tipo, nivel y diseño metodológico.
- Capítulo IV: Resultados y discusión.
- Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.

Se tomaron muestras mensuales en la bocatoma de Umalso (Carumas, Mariscal Nieto), las cuales fueron analizadas en los laboratorios de la Universidad Católica Santa María bajo la norma NMX-AA-028-SCFI-2001. Los resultados confirmaron la presencia de metales pesados, alta DBO, acidez y baja concentración de oxígeno. El tratamiento aplicado demostró ser efectivo en la reducción de Be, Cd, Cr y Mn, cumpliendo con los parámetros exigidos para su uso en riego agrícola.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

En la actualidad, uno de los principales desafíos medioambientales es la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados. La toxicidad de estos elementos en el agua de los ríos representa un grave problema para las comunidades que dependen de estas fuentes, especialmente cuando se reconoce que el incremento en la concentración de dichos metales proviene de actividades mineras y antropogénicas. Esta situación agrava los impactos negativos sobre los ecosistemas y el ambiente, generando además complicaciones económicas tanto a nivel local como nacional, debido al aumento de los costos en tratamientos médicos y a la disminución en la productividad de la población afectada.

Un caso representativo de esta problemática es el distrito de Cuchumbaya, en el departamento de Moquegua, donde las aguas destinadas a riego muestran indicios de contaminación. Según la ANA (2017), se estima que en esta zona se utilizan anualmente 315,161 m³ de agua para riego, en un área aproximada de 81 hectáreas. Se ha documentado que los afluentes principales influyen directa o indirectamente en la calidad del agua, la cual presenta niveles elevados de metales pesados como arsénico, aluminio, boro y hierro, además de microorganismos que superan los límites máximos permisibles. Esto pone en riesgo la agricultura, la ganadería, la acuicultura y la salud de la población local (INDECI, 2021). Cabe destacar que ya ha culminado la vigencia de las prórrogas establecidas por la PCM (2021) por peligro inminente de contaminación hídrica.

El río Coralaque, principal fuente de agua para riego en Cuchumbaya, se convierte en el río Tambo y, tras unirse con otras vertientes, da origen al río Vizcacha, que desemboca en la represa Pasto Grande. Parte de este caudal continúa su curso hasta formar el río Carumas, que finalmente abastece al distrito de Cuchumbaya. A día de hoy, en 2024, se puede suponer que el agua captada en la bocatoma de Cuchumbaya también contiene metales pesados, ya que comparte el mismo sistema de abastecimiento que la represa Pasto Grande. Esta hipótesis será verificada mediante el primer muestreo, que servirá como línea base para evaluar la efectividad del tratamiento con biofiltros y técnicas de fitorremediación. Según la Contraloría General de la República (2024), el agua que llega a la represa Pasto Grande contiene niveles elevados de manganeso (1.216 mg/L y 5.130 mg/L), superando los límites establecidos por el MINAM (2017), que estipulan 0.400 mg/L para la categoría 1 (uso poblacional) y 0.02 mg/L para la categoría 3 (riego y bebida animal).

Posteriormente, se obtuvo información directa del punto fuente, indicando porcentajes de remoción promedio de: OD 74%, Be 90%, Cd 99%, Cr 90%, Mn 97%, Cu 42% y Ba 58%.

Se ha evidenciado también la crítica situación del río Tambo y el río Coralaque, donde se han identificado concentraciones de metales pesados por encima de los límites permitidos, afectando la agricultura, la ganadería, la acuicultura y la salud de las comunidades ribereñas (INDECI, 2021). En 2023, el río Coralaque presentó una coloración amarillenta atribuida a la actividad de la empresa Aruntani, situación que generó protestas en la región. La Defensoría del Pueblo incluyó este caso como conflicto activo (Diario El Peruano, 2023), y el Decreto Supremo N°103 (PCM, 2021) lo reconoció como caso de contaminación hídrica. Asimismo, en 2017 el OEFA concluyó que la coloración del río se debía al vertido de aguas ácidas provenientes de la mina Aruntani S.A.C. (OEFA/TFA, 2021).

La unidad minera Florencia-Tucari, operada por Aruntani, ubicada en la parte alta de Moquegua, ha superado en múltiples ocasiones los límites máximos permisibles. En 2016 se detectaron 2.7 mg/L de arsénico, cuando el límite permitido es de 0.1 mg/L. También se registraron niveles excesivos de cadmio, cobre, zinc y hierro (Montaño, 2021). Un informe de la Autoridad Administrativa del Agua Caplina-Ocoña identificó 42 fuentes de contaminación en las cuencas del Tambo y Coralaque, 13 de las cuales se encontraban en la unidad minera mencionada. Esta empresa enfrenta procesos judiciales por contaminación ambiental en Arequipa desde 2019.

El OEFA ordenó a Aruntani el cierre definitivo del depósito de desmonte y del tajo, y el tratamiento de las aguas ácidas hasta cumplir con los LMP. Estas operaciones se realizan en Carumas, provincia de Mariscal Nieto (SPDA, 2018; Montaño, 2021).

La minería en Moquegua, particularmente por parte de Aruntani, genera impactos negativos en la comunidad de Cuchumbaya y en su actividad agrícola. La contaminación del agua de riego afecta la seguridad alimentaria y la economía local, comprometiendo los cultivos y la salud de los consumidores. Dado que la agricultura es la base económica de la zona, el acceso a agua limpia es fundamental.

La contaminación hídrica en Cuchumbaya se ha documentado como un problema significativo, derivado de ríos y canales contaminados, así como de herramientas oxidadas y suelos comprometidos. Se han implementado medidas de corto y largo plazo para la gestión del agua, y se ha decretado el estado de emergencia por esta causa (PCM, 2021; COER, 2021).

En cuanto al suelo, este también se ve afectado por desechos mineros y metales pesados, disminuyendo la calidad de la tierra y reduciendo la productividad agrícola (Huertos & Baena, 2008). Los efectos se trasladan a la salud humana, pues el consumo de productos cultivados en

suelos contaminados o irrigados con aguas tóxicas puede causar serios problemas. La EPA establece un límite cero para metales como el plomo en el agua potable, dado su alto nivel de toxicidad (Pabón et al., 2021).

En resumen, la minería, como la practicada por Aruntani, representa una amenaza grave para la sostenibilidad agrícola en Cuchumbaya. La presencia de metales pesados en el agua de riego afecta los suelos, los cultivos y la salud de la población, lo que resalta la necesidad urgente de adoptar medidas eficaces y fomentar una minería responsable y ambientalmente sostenible.

1.2. Justificación de la investigación

1.2.1. Justificación Ambiental

El principal recurso, el agua, representa el recurso natural más vital para la vida humana, omnipresente en ríos, arroyos, lagos y lagunas, sustentando y alimentando a una gran cantidad de seres vivos. Siendo el agua un pilar fundamental de vida para todos, por este motivo emerge la imperiosa necesidad de preservar las fuentes acuíferas, destinadas al progreso y bienestar, en condiciones óptimas. Así, es crucial abordar los problemas de contaminación que afectan los cuerpos hídricos del país, particularmente los problemas relacionados con el riego en el distrito de Cuchumbaya. La implementación de la fitorremediación utilizando la especie del Jacinto de agua, en sinergia con un biofiltro compuesto por carbón activado, piedra pómez y cascarilla de arroz, propone una estrategia eficaz y económica para depurar las aguas residuales. Las aguas destinadas al riego en dicho distrito se hallan contaminadas con metales pesados y microorganismos perjudiciales para la calidad del agua. La aplicación de fitorremediación y biofiltración no solo optimiza la calidad del agua, sino que también promueve una mejora sustancial en la salud de las comunidades que dependen de esta esencial fuente de riego, vital para el equilibrio ambiental, ya que, si se tiene un agua de calidad de riego, podremos llegar a tener una mejor calidad de suelos y cultivos. Además, esta investigación puede ayudar a avanzar la tecnología respetuosa con el medio ambiente y promover la biodiversidad del país.

1.2.2. Justificación Social

Las aguas destinadas a riego para el distrito Cuchumbaya llegan a tener una importante influencia para con el desarrollo íntegro de la población, ya que han afectado y podrían seguir afectando en el futuro en los ámbitos económico y de salud pública, debemos recalcar que estos factores son de vital importancia si se quiere ver un desarrollo constante, por lo cual es importante conocer acerca de esta solución rápida y eficaz para así seguir encaminados en el desarrollo íntegro de la población afectada por la calidad de aguas destinadas a riego para el distrito Cuchumbaya.

1.2.3. Justificación Económica

Si las agua destinadas a riego para el distrito Cuchumbaya llegan a tener una baja calidad, presencia de metales pesados y microorganismos estas afectan a las aguas del Río Moquegua y consecuentemente pueden llegar a afectar a las principales fuentes económicas de la zona, ya que las aguas del Río Moquegua son fundamentalmente usadas para la agricultura , llegando así a afectar las fuentes económicas más importantes de la zona, debido a esto y teniendo en cuenta las condiciones de la población afectada es de vital importancia tener una opción rápida y eficaz para la fitorremediación y biofiltración de aguas, siendo una solución viable a corto plazo.

1.2.4. Justificación Tecnológica

Gracias a una exhaustiva búsqueda bibliográfica sobre la fitorremediación de Aguas Residuales No Domésticas (ARnD) y Domésticas (ARD) con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), se alcanza a deducir la relevancia de este tipo de sistemas biológicos, los cuales se erigen como una opción fructífera y factible para la purificación de tales vertidos que exhiben contenidos de metales pesados y biota microbiana, además, con la adición de un biofiltro compuesto por piedra pómez, carbón activado y cascarilla de arroz tendremos un alto valor de efectividad no solo en cuanto a metales pesados sino también en coliformes fecales ,materia orgánica, gases y partículas más pequeñas como ya se verificó en varios casos previamente revisados.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un tren de tratamiento mediante la aplicación de un biofiltro y fitorremediación para las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un plan de muestreo y análisis de calidad de las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya.
- Diseñar un tren de tratamiento mediante la aplicación de un biofiltro y técnicas de fitorremediación para tratar las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya.
- Evaluar la eficiencia del tren de tratamiento de fitorremediación y biofiltro de forma separa y en conjunto para así conocer las características finales del agua de riego del distrito de Cuchumbaya.

1.4. Hipótesis

Las aguas del distrito de Cuchumbaya utilizadas para riego al tener como fuente de afluente al río Tambo, la represa Pasto Grande y el río Carumas, que presentan metales pesados, sólidos totales y coliformes fecales, traerían problemas en el uso agrícola, es probable que mediante el diseño y evaluación de un tren de tratamiento de fitorremediación, que combina la acción del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) con el biofiltro de carbón activado, cascarilla de arroz y piedra pómez, se pueda establecer una solución para tratar el agua para que esté dentro de los estándares establecidos sobre la calidad (ECA) tipo III, para agua SINIA (DS N°004-2017-MINAM) contribuyendo a optimizar la calidad del agua para uso agrícola.

1.5. Variables

1.5.1. Operacionalización de variables

En la Tabla 1 se observan las variables, junto con sus indicadores correspondientes y sus unidades de medición, lo que simplifica la detección de los criterios necesarios en el estudio para su recopilación y valoración.

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores	Sub-Indicadores
Especie (Jacinto de agua) y biofiltro (carbón activado, piedra pómez, cascarilla de arroz). V. Independiente	Eficiencia (fitorremediación)	x	mg/L
		Sólidos totales	mg/L
		Temperatura	°C
		pH	U de pH
		Oxígeno disuelto	mg/L
		Aceites y Grasas	mg/L
		Metales pesados	mg/L
	Eficiencia (biofiltro)	DBO	mg/L
		Sólidos totales	mg/L
		Temperatura	°C
		pH	U de pH
		Oxígeno disuelto	mg/L
		Aceites y Grasas	mg/L
		Metales pesados	mg/L
Aguas residuales – agua destinada a riego de Cuchumbaya V. Dependiente	Parámetros físico-químicos	DBO	mg/L
		Sólidos totales	mg/L
		Temperatura	°C
		pH	U de pH
		Oxígeno disuelto	mg/L
		Aceites y Grasas	mg/L
		Metales pesados	mg/L

Nota. La tabla recopila información sobre cada variable independiente y dependiente según su dimensión, indicador, instrumento y sub indicadores.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Neves et al. (2022). “Seasonal variation in the phytoremediation by *Pontederia crassipes* (Mart) Solms (water hyacinth) and its associated microbiota”, *Universidade Nacional de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-Brasil*.

El propósito de esta investigación es el siguiente: contrastar la eficacia de la fitorremediación de *P. crassipes* en épocas de verano e invierno en un sistema de mesocosmos, simulando un reservorio eutrófico tropical, y seguir los cambios estacionales en el microbioma de la rizosfera. Este estudio se realizó en el embalse de una planta hidroeléctrica, Barra da Braúna, ubicada en el río Pomba, estado de Minas Gerais, Brasil, para lo cual analizaron las concentraciones de nutrientes y los parámetros fisicoquímicos para seguir la fitorremediación y, en paralelo, caracterizamos el microbiota de la rizosfera y la comunidad bacteriana en el agua. Donde se construyó un sistema de mesocosmos en el margen del embalse que consta de cinco depósitos de agua de polietileno dispuestos en altura descendente (10 cm) e interconectados para formar un sistema en cascada. Al inicio del experimento se determinaron las concentraciones de N y P en el agua del embalse. La concentración de P disuelto en verano e invierno fue de 39,8 $\mu\text{g L}^{-1}$ y 9 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, y las concentraciones de N disuelto (nitrato + amonio) en verano e invierno fueron 1227 $\mu\text{g L}^{-1}$ y 2120 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Después de una semana, se agregaron plantas al sistema mesocosmos. *P. crassipes* (150 individuos) fueron recolectados directamente del embalse el día que fueron utilizados en el experimento. Se recogieron muestras de agua de mesocosmos semanalmente y se almacenaron en botellas de polietileno de 1 litro a 4°C hasta llegar al laboratorio, donde se observaron diferencias significativas para la temperatura del agua (WT), con una variación de 7,0°C (30,2 $\pm$ 1.3°C en verano 23,5 $\pm$ 1.3°C en invierno, las concentraciones de N fueron mayores en el verano que en invierno y la cobertura vegetal en verano fue el doble que en invierno. Teniendo un 75% de la varianza y una diferencia significativa. Teniendo como conclusión que la fitorremediación por la especie Jacinto de agua, es eficaz en remover iones fisicoquímicos durante todo el año, pero en épocas más frías es necesario aumentar el número de plantas porque su tasa de crecimiento se ve comprometida. Esta investigación es importante porque nos ayuda a saber que la especie *P. crassipes* tiene capacidad de crecimiento y eliminación de nutrientes en una región tropical en verano e invierno

Agarwal & Rani (2022). En su investigación titulada “*Strategic management of contaminated water bodies: Omics, genome-editing and other recent advances in phytoremediation*”. Instituto Nacional de Tecnología Motilal Nehru Allahabad. India.

Tiene como objetivo la revisión en diferentes estrategias biotecnológicas como la ómica, la proteómica, la genómica, la metabolómica y CRISPR para mejorar el potencial de fitorremediación de las plantas acuáticas. Para lo hay en el artículo tienen en cuenta el desenfrenado crecimiento de estas algas y pequeñas plantas obstruye los cursos de agua, conoce la materia compleja mediante su oxígeno disuelto (OD) y, finalmente, bloquea la luz solar para llegar a las aguas más profundas, proceso llamado eutrofización. El cromo (Cr), el arsénico (As), el cobre (Cu), el plomo (Pb), el mercurio (Hg), el níquel (Ni), el zinc (Zn) y otros contaminantes de metales pesados se encuentran regularmente en el suelo y los cuerpos tienen funciones biológicas el crecimiento de las plantas. Por lo cual esta investigación se centra en el enfoque de fitorremediación para desintoxicar cuerpos de agua contaminados que ayuda a eliminar, disminuir, degradar y movilizar las diversas toxinas orgánicas e inorgánicas acumuladas en el medio ambiente. Pueden absorber activamente grandes cantidades de metales pesados (entre 100 y 1000 veces) del suelo y del medio acuático en el que crecen, luego transfieren el contenido de metales pesados que adquieren a los brotes y lo acumulan en las hojas de la planta. Asimismo, recomiendan aumentar con la modificación de un agente quelante como el EDTA. Este método es confiable y duradero cuando se realizan aplicaciones repetidas de agentes quelantes para disolver los compuestos de Fe y Ca que se desintegran simultáneamente requieren una cantidad excesiva de agentes quelatos para transformar los compuestos que contienen metales pesados. Esta investigación confirma que la fitorremediación de cuerpos de agua es importante para las plantas acuáticas porque poseen un sistema denso de raíces y mayores tasas de producción de biomasa. Además, estas plantas hiperacumuladoras tienen variabilidad molecular, una amplia gama de actividad enzimática, genes expresados que reaccionan al estrés y perfiles de proteínas que resisten una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos

Auchterlonie et al. (2021) en su investigación “*The phytoremediation potential of water hyacinth: A case study from Hartbeespoort Dam, South Africa*”, Universidad de Witwatersran. South Africa.

Tiene como objetivo proliferación de algas y el crecimiento de malezas acuáticas exóticas invasoras en la represa de Hartbeespoort. Este estudio investigó el potencial del jacinto de agua para usarse como herramienta de fitorremediación para reducir el estado eutrófico de la presa

Hartbeespoort y para establecer si la calidad del agua es buena o no, además de las concentraciones de nutrientes, afecta la tasa de eliminación de nutrientes por parte del jacinto de agua. Por ello, se llevaron a cabo ensayos en el lugar en la presa Hartbeespoort para establecer la cantidad de nutrientes presentes en la presa, utilizando un colorímetro Hach DR/850 manteniendo una temperatura del 22°C, en el que se plantaron especies de jacinto de agua con agua de la presa Hartbeespoort en 25 litros para probar el efecto de la "pureza" del medio de crecimiento sobre el crecimiento del jacinto, los resultados muestran que una planta tiene la capacidad de asimilar hasta 7,38 mg de Fosfatos y 27 mg de Nitratos durante 11 días. El jacinto de agua tiene la capacidad de disminuir los niveles de nutrientes en 3 litros de agua, de 0,65 mg/L de fosfatos a 0,04 mg/L de fosfatos y de 4,1 mg/L de nitratos a 0,5 mg/L de nitratos, en un periodo de 4 días. Teniendo como promedio de fosfato inicial (PO₃- 4) 2,1 mg/L y final 1,39 mg/L, nitrato (No-3 2) 3,3 mg/L y final 0.5 mg/L de concentraciones, tasa promedio del 0,157 (PO₃- 4) y 0,1133 mg/día (No-3 2). Estos resultados sugieren que el jacinto de agua puede emplearse como herramienta de fitorremediación para mitigar la eutrofización en cuerpos de agua abiertos y puede tener el potencial de reducir las floraciones de Microcystis. Esta investigación nos ayuda a tener un poco más de información que la planta jacinto de agua puede llegar a crecer igualmente en agua rica en nutrientes, que potencialmente tiene contaminantes añadidos, como metales pesados, drenaje ácido de minas con diversas enfermedades, que en aguas ricas en nutrientes.

Wei et. al. (2021) en su investigación "*Perspectives on phytoremediation of zinc pollution in air, water and soil*", Duy Tan University. Viet Nam.

Tiene como objetivo analizar la fitorremediación de la contaminación por Zn en el medio ambiente y el proceso de resistencia de la planta, enfocándose en las micorrizas y los mecanismos subcelulares que afectan la unión y el flujo de salida de metales en las plantas, donde se consideró la tolerancia de la planta. Donde la contaminación por Zn va en constante aumento desde 2010, con un número total de artículos publicados en 2018 en China, India y EE. UU, donde nos indica que el zinc es esencial para el crecimiento saludable y la vitalidad de las plantas, así como para su fisiología. Sin embargo, las altas concentraciones de Zn concentraciones son dañinas porque ralentizan el crecimiento, se vuelven de color amarillo, reducen la absorción de luz, causan peroxidación lipófila, aumentan la proteólisis y alteran el equilibrio entre los antioxidantes y las especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que en última instancia resulta en la muerte celular. Asimismo, enfatiza a la fitorremediación de Zn en el sistema de remediación de la contaminación vegetal, donde una vez absorbido, el Zn se acumula

en las raíces o se transfiere a las partes aéreas a través de vías simbióticas y/o exofíticas en la xilema. En conclusión, la fitorremediación es una tecnología sustentable y ecológica que posibilita el desarrollo sostenible por impulsar la remediación de la contaminación por metales pesados y zinc. En parte de esto, se emplean diversas tecnologías para mejorar la tolerancia de las plantas y la coordinación entre plantas y microorganismos, como la manipulación genética y el uso de nanopartículas y biocarbón. Esta amplia investigación nos ayuda a determinar la tolerancia y capacidad de absorción de Zn en diferentes especies de plantas como en este caso el Jacinto de agua. Por esta razón, es crucial seleccionar las especies apropiadas. La elección de plantas super acumuladoras garantiza una alta eficacia fitorremediadora.

León et. al. (2018) “*Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y Escherichia coli en aguas servidas*”. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador.

El objetivo de esta investigación es identificar plantas acuáticas que puedan eliminar *E. coli* y coliformes totales del agua contaminada. Para la obtención y selección de especies necesarias para la investigación se llevaron a cabo muestras en el Río Guayas, el Establecimiento Aguas Frías y el Estero Peñafiel, donde se escogieron las especies siguientes: *Azolla caroliniana* Willd, ***Eichhornia crassipes*** Solms, *Pistia stratiotes* L., *Salvinia auriculata* Aubl. y *Lemna minor* L. fueron producidas in vitro y sometidas a pruebas biológicas para determinar su capacidad para eliminar *E. coli* y coliformes. Además, se establecieron los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH y sólidos disueltos totales). Los experimentos se realizaron tres veces por cada una en agua que contenía fertilizante y se inocularon con la cepa de referencia *E. coli* ATCC 25922. Después de 7 días, se midió la carga bacteriana residual y la tasa de eliminación de *E. coli* en relación con un control del 99% para *A. caroliniana*, *E. crassipes* y *Lemna* sp., mientras que para *P. stratiotes* y *S. auriculata*, el control fue del 100% ($p = 0,027$). Para demostrar la capacidad antibacteriana de estas especies, *S. auriculata* y *A. caroliniana* eliminaron el 100% de coliformes y *E. coli* ($p = 0,003$). Esta investigación nos llega a brindar información trascendente a la hora de la selección más adecuada de acuerdo a nuestro lugar de estudio y también a su disponibilidad y por supuesto también a los más relevante, que en este caso sería la efectividad de remoción sobre los coliformes fecales y *E. coli*.

2.1.2. Nacionales

Flores (2020) “Contaminación del embalse Pasto Grande por elementos químicos tóxicos y su efecto en los productores primarios” Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Moquegua - Perú.

Este estudio evaluó la calidad del agua en cinco lugares del embalse Pasto Grande basándose en la abundancia, riqueza y variedad del fitoplancton. La meta es entender si las comunidades de fitoplancton experimentan algún tipo de efecto debido a la existencia de elementos químicos dañinos como los metales pesados. El enfoque se basa en un estudio descriptivo y continuamos con una revisión de pruebas de laboratorio realizadas por el Consorcio V-5, examinar muestras de agua en laboratorio del Embalse de Pasto Grande y establecer la calidad del agua a través de indicadores biológicos. Los hallazgos indican que hay cinco variedades de la comunidad Fito planctónica, siendo las diatomeas las más predominantes, demostrando su gran capacidad de adaptación en aguas contaminadas. Se considera imprescindible un amplio tratamiento químico. En conclusión, la calidad del agua en el embalse de Pasto Grande es deficiente (contaminación intensa a moderada) y la variedad de fitoplancton es de moderada a reducida.

González et al (2021). “*Contaminación natural a causa del drenaje ácido de roca en los afluentes al Embalse Pasto Grande*”, Universidad Nacional del Altiplano Puno. Puno - Perú.

Esta investigación tiene como objetivo general llegar a realizar un estudio acerca de cómo es que se encuentra la calidad de agua en la Cordillera del Barroso al sur del Perú; este reservorio llega a tener una gran importancia ya que brinda agua a dos ciudades importantes de nuestro país que vendrían a ser Moquegua e Ilo, para obtener un análisis profundo y de calidad se llegaron a tomar ocho parámetros físico químicos, No obstante, se centró más en el PH, dado que este está vinculado con la creación de Drenajes Ácidos de Roca (DAR), en los afluentes se determinaron los siguientes valores medios: pH de 5.55, potencial redox de 336.59 mV, oxígeno disuelto de 4.40 ppm, conductividad eléctrica de 575.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resistividad de 0.0044 Ω/cm , sólidos totales disueltos 769 mg/L, salinidad de 0,84 PSU, turbidez de 17.06 FNU y temperatura de 14.37°C. Confirmando que la mayor contaminación es por origen natural en seis afluentes al embalse. La investigación confirma que la contaminación (pH ácido) no es por una acción antropogénica si no por una contaminación de origen natural en seis afluentes al embalse. Esta investigación llega a tener un importante valor ya que nos brinda información acerca de la contaminación proveniente de una fuente no antropogénica, ayudándonos así a tener un panorama más amplio y específico.

Ayme & Ramos (2020). “*Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes como sorbentes de plomo, cobre y zinc en el tratamiento de aguas residuales, 2020*”. Universidad Cesar Vallejo. Oyón - Perú.

Tienes como objetivo es examinar la *Eichhornia crassipes*, Pistia stratiotes y Lemna minor como sorbentes para el tratamiento de Pb, Cu y Zn en las aguas residuales de la comunidad de

Cashaucro situada en Oyón a 3600 metros de altitud, esta investigación se llevó a través de enfoques de diseño cuantitativos, aplicados y experimentales. Se utilizaron nueve cubetas de vidrio con concentraciones de 750 mg/L de zinc, 25 mg/L de cobre y 62,5 mg/L de plomo con el fin de medir la absorción de macrófitos. El proceso se llevó a cabo durante 15 días, con un seguimiento semanal para medir parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura. Según los resultados obtenidos, la mejora de los parámetros fisicoquímicos alcanzó valores superiores al 90%. En cuanto a la eficiencia en la eliminación de cobre, plomo y zinc, alcanzó el 99,86, 99,89 y 29,45%, respectivamente. Finalmente, este estudio encontró que las macrófitas flotantes son muy buenas para absorber metales pesados y pueden usarse como sustituto para incrementar la calidad del agua gracias a su coste reducido. Esta investigación nos ayuda a conocer un poco más acerca de la funcionalidad y factibilidad en cuanto a costo y funcionalidad de nuestra planta seleccionada.

Huamani et al. (2021) “Eficiencia de remoción de la especie *Hydrocotyle bonariensis* (redondita de agua) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) en las aguas residuales del río Shullcas - 2021”. Universidad Continental. Huancayo – Perú.

En esta investigación fue establecer la eficacia de eliminar las especies de *Hydrocotyle bonariensis* (Redondita de agua) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en el manejo de aguas residuales del río Shullcas (3226 m.s.n.m). Se utilizaron métodos científicos, extractivos y también un método de observación-experimental, utilizando dos contenedores con agua residual estancada y preservar ambas especies durante un período de 21 días. Se evaluaron los parámetros tanto antes como después del tratamiento (fitorremediación). Se deduce que *Eichhornia crassipes* (Jacinto acuático) tiene una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes a diferencia de la *Hydrocotyle bonariensis*. Esta investigación aparte de brindarnos información acerca de la efectividad que llegar a tener nuestra planta frente contaminante, teniendo como resultados 2.48% de remoción en el pH; 68.35%, aceites y grasas; 73.47%, DBO5; 62.41%, DQO; 99.90%, coliformes termo tolerantes y 99.90% de remoción en *Escherichia coli*, también nos brinda información acerca de la resiliencia y efectividad a los 3226 m.s.n.m.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas Contaminadas

2.2.1.1. Aguas Negras

Las aguas servidas o residuales son aquellas cuya integridad ha sido deteriorada adversamente por la intervención humana. Provenientes de residencias, conglomerados

humanos y zonas industriales, transportan polutantes y escombros (Ocampo & Santa, 2022). Estos términos aluden al líquido obtenido tras la manipulación humana, el cual altera su constitución natural por los residuos orgánicos y químicos vertidos en los ríos. Las aguas residuales, también denominadas como aguas servidas, comprenden cualquier tipo de agua cuya condición se ha visto comprometida negativamente por la influencia humana. Incluyen las aguas utilizadas, ya sean domésticas o urbanas, así como los residuos líquidos industriales o mineros descartados, o las aguas que se han combinado con estos (aguas de río o naturales). Su relevancia es tal que demanda sistemas de conducción, tratamiento y evacuación. La falta de tratamiento adecuado ocasiona severos problemas de contaminación (Ocampo & Santa, 2022).

2.2.1.2. Aguas contaminadas por metales pesados

El incremento en la concentración de estos compuestos en las aguas está principalmente relacionado con la contaminación concentrada de origen industrial o minero. Los lixiviados que provienen de basureros o de aguas residuales también pueden constituir una fuente considerable de contaminación. Es crucial resaltar que, en ciertos contextos, algunas aguas sufren un proceso de enriquecimiento natural en metales pesados al fluir a través de acuíferos constituidos por rocas que los incluyen en su estructura (Universidad Católica San Pablo [UCSP], 2017).

2.2.1.3. Aguas residuales de uso doméstico

Las aguas residuales domésticas son aguas originadas por actividades antropogénicas en la vida diaria, recogidos en el sistema de aguas residuales o vertidos directamente al medio ambiente (Villanueva & López, 2014) (Rivera et al., 2021).

Carreño (2016) considera que las aguas residuales domésticas son corrientes de agua que generan la mezcla de excreciones de una población, incluyendo las heces y la orina, originadas en hogares específicos, viviendas públicas o inmuebles comerciales (Rivera et al., 2021).

Kadlec & Wallace (2008) señalan que las aguas servidas también se conocen como aguas residuales surgen de uso doméstico o industrial porque han sido utilizados en conversión y procesos de purificación, por lo que el agua resultante es inútil para el consumo directo e incluso interno. En ocasiones, las aguas se componen de todas las aguas que pasan por el sistema de drenaje, incluyendo el agua pluvial y las infiltraciones del suelo.

Se ha comprobado que estas aguas poseen impurezas y contaminantes provocados por el lavado y la limpieza. Por lo tanto, se podría inferir que en estas aguas se encuentran microorganismos, patógenos, sustancias orgánicas, sólidas, detergentes, nitrógeno y fósforo y otras sustancias, aunque en una cantidad menor, debemos tener en cuenta que cuando hablamos de aguas residuales domésticas estamos hablando de obras muy diversas, creadas principalmente mediante descarga de diversas fuentes ubicación (Rivera et al., 2021).

2.2.1.4. Aguas residuales agrícolas

Las aguas residuales de la agricultura son un efecto secundario de varias actividades de agricultura como el riego y la ganadería. Estas aguas pueden contener una variedad de contaminantes dependiendo de las actividades agrícolas.

El conocimiento de sus propiedades básicas es necesario para su adecuada eliminación, potencial reutilización y minimizar su impacto negativo sobre el medio ambiente.

Se debe mencionar alguno de los aspectos más importantes: las concentraciones de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, estos elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero cuando se liberan al medio ambiente en grandes cantidades, pueden causar eutrofización en ríos y lagos, provocando un crecimiento excesivo de algas y reduciendo así la cantidad de oxígeno disponible para otras especies acuáticas.

Otra característica importante de las aguas residuales agrícolas es la existencia de microorganismos patógenos. Podrían ser bacterias, virus y parásitos que representan un peligro para la salud de las personas y los animales. Su presencia es común debido al uso de estiércol y otros desechos animales en la agricultura. Además, estas aguas suelen contener residuos de pesticidas y fertilizantes químicos. Si no se controlan adecuadamente, estos contaminantes pueden filtrarse al agua subterránea y afectar la calidad del agua potable.

Finalmente, la cantidad de partículas sólidas en suspensión, que pueden incluir partículas de suelo, materia orgánica y microorganismos, también es una característica importante. Altas concentraciones pueden obstruir canales y sistemas de riego. En última instancia, comprender estas características clave de las aguas residuales agrícolas es fundamental para implementar medidas de gestión eficaces y promover una agricultura más sostenible (Pizarro, 2022).

2.2.1.5. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales no son únicamente una consecuencia del petróleo y gas, la minería y las compañías de química, sino también un subproducto de la industria de alimentos y bebidas, necesario para la producción de ropa de dormir, zapatos para caminar y computadoras, etc.

La corriente residual incluye benceno, naftaleno, antraceno, fenol y cresol. La formación de placas, alambres o barras de hierro y acero requiere agua como lubricante y refrigerante principal, así como aceites hidráulicos, grasas y sólidos. Para cumplir con la normativa vigente se debe controlar el contenido de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua utilizada en la producción industrial. Las sustancias orgánicas, metales y otros elementos similares contenidos en las aguas residuales deben eliminarse antes de que el agua pueda descargarse de manera segura en la tierra, en fuentes de agua o reutilizarse en una planta (Micronics, 2023).

2.2.1.6. *Aguas grises*

Las aguas grises son un recurso que cuando se trata puede reemplazar el agua utilizada para el consumo humano para una serie de propósitos comunes como: llenar inodoros, regar jardines, limpiar aceras, etc.

en proyectos como viviendas, hoteles, polideportivos, polígonos industriales, edificios... Las aguas grises se definen como aguas residuales de duchas, bañeras y lavabos que tienen un bajo contenido fecal; Aunque el agua de las cocinas y de las lavadoras también es agua doméstica, a menudo no se recicla debido a los altos niveles de contaminación. Las aguas grises incluyen sustancias orgánicas, inorgánicas y microbianas (Santasmassas, 2018).

2.2.2. **Fitorremediación**

Consagrada como una tecnología medioambiental en los años ochenta, la fitorremediación es un método que aprovecha la habilidad de ciertas plantas y su biota vinculada para adsorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo y el aire, el agua o los sedimentos (MINAM, 2020).

2.2.2.1. *Tipos de fitorremediación*

- Fitoextracción

Este es un método de fitorremediación que implica purificar un sitio mediante la acumulación y transferencia de contaminantes del agua a las partes agrícolas de la planta mediante las raíces (Neaman, 2022).

- Rizofiltración

Este representa una tecnología utilizada en el tratamiento de aguas residuales que se beneficia del potencial de biosorción de determinadas especies acuáticas. (Sandoval, 2022).

- Fitodegradación

La fitodegradación se refiere a la transformación de contaminantes orgánicos en compuestos más elementales. En ciertas situaciones, los productos de esta degradación contribuyen al incremento de la velocidad de crecimiento de la planta, mientras que, en otros escenarios, los contaminantes son biotransformados (Carhuaricra, 2019).

- Fitofiltración

La fitofiltración (también conocida como filtración por rizo) implica el uso de raíces de las plantas o plántulas de las cuales absorberán y adsorberán contaminantes desde agua corriente, especialmente metales. Las raíces vegetales se desarrollan, absorben, sedimentan y acumulan metales dañinos de las aguas residuales contaminadas (Torrado et al., 2010, p. 3).

- Fitoestabilización

La fitoestabilización implica la utilización de plantas para disminuir la presencia de nutrientes, contaminación en el medio ambiente. Las plantas estabilizan los contaminantes internos lo que significa hacer el suelo menos tóxico y reducir el riesgo de degradación ambiental (Delgadillo-López et al., 2011, p. 597- 612).

2.2.3. Plantas Macrófitas

La definición literal de un macrófito es: una planta visible a simple vista. Por lo tanto, las plantas acuáticas serán plantas aparentemente viven en el agua. Los macrófitas se refieren a los del sistema y evolución, se percibe como un componente crucial en la cadena alimentaria de los ecosistemas acuáticos. Este grupo cubre el grupo de plantas acuáticas, musgos, carófitas y algas filamentosas. Se consideran un buen indicador de la calidad del agua en base a su uso como indicadores biológicos, y proporcionan valores indicadores a medio y largo plazo. Son sensibles a los cambios fisicoquímicos y de especies acuáticas en el medio ambiente, cuerpos de agua tales como concentración de agua salada, eutrofización, condiciones de inundación, etc (David et al., 2022).

2.2.3.1. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), también denominado camalote, es una especie fluvial nativa de América del Sur. En España, es catalogada como especie invasora por amenazar la subsistencia de otras especies autóctonas. Se caracteriza por ser una planta flotante con raíces sumergidas (análogas a las de los nenúfares) y ostenta una flor vistosa de tonalidades entre morada y azul, razón por la cual fue importada durante años para embellecer estanques. (Tejada-Tova et al, 2018, p. 211 - 221).

2.2.3.2. *Lemna Minor*

Lemna minor es una angiosperma (planta con flores), una planta monocotiledónea, perteneciente a la familia *Lemnaceae*. Su cuerpo vegetativo corresponde a la forma de taloide, en otras palabras, donde el tallo y las hojas no se distinguen entre sí. Posee una estructura lisa de tonalidad verde y una única raíz blanca y fina.

Wolffia, perteneciente a la misma familia de la lenteja de agua, es reconocida como la planta con flores de menor tamaño que habita en la Tierra; su cuerpo mide únicamente 0,6 mm de longitud y 0,2 mm de anchura, mientras que su fruto, que es el más pequeño del planeta, mide únicamente 0,3 mm de longitud y pesa 70 mg, esta especie vegetal posee flores unisexuales. Las flores masculinas se componen de un solo estambre y las flores femeninas se componen de un pistilo compuesto por un solo carpelo. Las flores emergen de una cavidad ubicada en el extremo de la hoja, en una bráctea conocida como espata, muy frecuente entre las especies del

grupo Arales. La fruta alberga entre 1 y 4 semillas (Arroyave, 2004, p. 33- 38). La floración asexual es el método de reproducción más habitual. En la parte basal se forma una diminuta cabeza que da lugar a una nueva planta que se desvincula de la planta original según el Instituto (Díaz, 2020). No obstante, es habitual hallar plantas combinadas que conforman conjuntos de 2 a 4 plantas (Arroyave, 2004).

2.2.3.3. *Elodea*

Es una planta herbácea acuática, sumergida en agua, perenne, dicotiledónea, de raíces blancas, sin ramificaciones, filiforme. El tronco es alargado y flexible, de 20 a 30 cm de largo, ramificado y muy denso. Los entrenudos son largos y los nudos (nudos) frágiles. Las hojas se presentan en vértices de 3 (en la parte inferior del tronco se ven opuestas), son estacionarias, alargadas de forma lineal, translúcidas de color verde oscuro, con los bordes muy finamente aserrados. Son sólidos, pero su estructura no es cerosa. Las hojas medianas y largas son elípticas, de 44,442 a 5 mm de ancho y tienen una relación de largo a ancho de 3:1.

La flor de la flor femenina mide unos 2 a 15 cm de largo, es un hilo; Los sépalos y pétalos miden entre 2 y 3 mm de largo. Los pétalos son de color blanco o violeta muy pálido y aparecen en la superficie del agua. Las flores masculinas con tallo están ausentes en Europa. Los frutos son una cápsula ovoide de menos de 1 cm de largo y 3 mm de ancho que contiene semillas glabras (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España [MITECO], 2020).

2.2.3.4. *Milenrama acuática*

Macrófito perenne con tallos erectos (a veces leñosos en la base) que alcanzan 200 cm de longitud y 0,4 a 0,5 cm de diámetro cerca de la base, que enraíza libremente desde los nudos inferiores. Esta planta dicotiledónea es generalmente dicotiledónea, pero los machos son mucho menos comunes que las hembras. Tallo simple o muy ramificado, erecto, con la punta saliente, de color verde o marrón. Hojas de 15 a 40 mm, las que emergen más largas y las que se sumergen son más cortas que las entrenudas, organizadas en espirales de 4 a 6 hojas, con 8 a 30 segmentos de 3 a 6 mm, de tonalidad verde azulada, recubiertas por diminutas glándulas hemisféricas translúcidas en las hojas que se emergen (Casals et al., 2020).

2.2.3.4.1. *Batrachospermum*

La familia Batrachospermata abarca aproximadamente 150 especies, todas ellas con presencia continental y optan por ríos de lenta caudal. Las variedades de *Batrachospermum*, que son el género más común entre los Batrachospermals, se encuentran extensamente dispersas en América y otros continentes, con algunos casos de endemismo. Las carposporas de *Batrachospermum* generan filamentos uniseriados y ramificados que corresponden al esporofito

correspondiente. Estos filamentos se categorizaron en el género *Chantransia* cuando todavía no se tenía conocimiento del ciclo biológico de *Batrachospermum*. Actualmente, la fase de esporofito de *Batrachospermum* aún se denomina como la "etapa de *Chantransia*" de su ciclo vital. Los filamentos de esporofitos generan monosporas mediante mitosis (las tetrasporas meióticas no forman parte del ciclo); Este proceso ocurre en las células apicales del gametofito previo a la generación de gametos, lo que resulta en que el talo del gametofito sea en parte diploide y en parte haploide. Las monosporas tienen la capacidad de generar nuevos filamentos de esporofitos y, en consecuencia, la fase de *Chantransia* puede persistir de manera indefinida durante el ciclo vital (Morales & Rivera, 2015).

2.2.4. Biofiltro

De acuerdo con la (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE, 2019), el biofiltro es un procedimiento que imita los humedales naturales (pantanos), donde las aguas residuales son depuradas mediante procesos orgánicos; estos humedales artificiales, provocados por el flujo subterráneo y conocidos como biofiltros, se diseñan para eliminar los contaminantes de las aguas residuales de la forma más eficaz posible.

Según señala CAD, las aguas residuales pretratadas circulan horizontal o verticalmente a través de estanques someros rellenos de un material que sirve de lecho filtrante, en cuya superficie se desarrollan plantas típicas de pantano. Aunque esta tecnología fue investigada experimentalmente por primera vez en Alemania en la década de 1960, no fue hasta las últimas dos décadas del siglo XX que comenzó a implementarse ampliamente para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades a lo largo de todos los continentes.

En 1996, se erigió una instalación piloto en la urbe de Masaya, Nicaragua, para evaluar la factibilidad de los biofiltros en la zona centroamericana. La Cooperación Austriaca para el Desarrollo (CAD), en colaboración con la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua, fue la pionera en introducir esta tecnología en el país. Como parte del proyecto, se edificó una planta piloto que administraba las aguas residuales de cerca de habitantes de un sector de Masaya; los estudios realizados en esta instalación piloto propiciaron la creación de normas técnicas para el diseño, edificación, funcionamiento y conservación de estos sistemas.

En el ámbito centroamericano, específicamente en Nicaragua, El Salvador y Honduras, al menos ocho sistemas de biofiltros han sido implementados para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas comunidades, de los cuales seis se encuentran actualmente en funcionamiento, demostrando resultados similares a los obtenidos en la planta piloto de Masaya. La investigación sobre la tecnología de biofiltros, que ha sido especialmente activa en Europa y Estados Unidos y ha producido numerosas publicaciones sobre estándares de diseño,

ha generado una vasta cantidad de información. En este contexto, la Asociación Internacional del Agua (IWA) organizó la Novena Conferencia sobre Biofiltros en 2004 en Francia, promoviendo así el intercambio de conocimientos entre investigadores de todo el mundo (Banco Mundial [BM], 2006, p.11 - 23).

2.2.4.1. Tipos de biofiltros

2.2.4.1.1. Biofiltros de flujo subsuperficial

Como afirma Vergara (2015) existen numerosas enfermedades provocadas por la contaminación acuática que han impactado seriamente a la población en el pasado, por lo que la disponibilidad de agua potable limpia es un componente esencial para mantener la salud humana; la mayoría de los centros urbanos cuentan actualmente con sistemas de purificación para abordar estos problemas, pero a medida que la sociedad se desarrolle, será necesario expandir continuamente la variedad y el número de fuentes de contaminación ambiental.

Vergara destaca que los humedales de flujo subterráneo horizontal y vertical son dos ejemplos de tecnologías innovadoras diseñadas para enfrentar ciertos desafíos, siendo adoptadas para ofrecer soluciones sencillas y económicamente factibles a comunidades de bajos ingresos en diversas partes del mundo.

Si bien existen varios tipos de humedales artificiales, aquellos con flujo subterráneo resultan particularmente adecuados para climas tropicales debido a su exposición constante a la luz solar durante todo el año, temperaturas estables que influyen directamente en la actividad microbiana, y su resistencia a las heladas prolongadas o estaciones que podrían modificar los caudales hídricos y el ciclo vital de la flora autóctona. Los beneficios primordiales de los sistemas de flujo subterráneo en comparación con los superficiales comprenden: una capacidad de tratamiento superior (facilitando una carga orgánica más alta), un riesgo reducido de contacto humano con el agua y la aparición de insectos, y un valor reducido para proyectos de recuperación ambiental debido a la ausencia de una capa de agua perceptible debido a la ausencia de una capa de agua visible (Vergara, 2015).

2.2.4.1.2. Remoción de nitrógeno en biofiltros

Cuando el caudal en los estanques de acuicultura es inadecuado, como mencionan (Gallego-Alarcón & García-Pulido, 2017). La presencia de contaminantes en el agua aumenta a medida que cualquier modelo de producción utiliza la circulación del agua para trasladar los contaminantes a ríos próximos o a instalaciones de tratamiento de aguas residuales, en función del sistema de producción implementado.

Gallego-Alarcón & García-Pulido (2017) señalan que el nitrógeno contaminante (N) contenido en las aguas residuales exige ser removido por múltiples motivos, incluyendo su

potencial para reducir el volumen de oxígeno disuelto en aguas epífitas, su toxicidad para los biotopos acuáticos, el peligro que supone para la salud humana y su función en la eutrofización, que fomenta el aumento descontrolado de organismos fotosintéticos. Estos elementos justifican que la normativa se torne cada vez más severa en cuanto a los umbrales consentidos para este contaminante.

Los autores también explican que el nitrógeno puede presentarse en las aguas residuales en diversas formas y sufre una serie de transformaciones durante las diferentes etapas del tratamiento; por ejemplo, el nitrógeno amoniacal puede convertirse en otros compuestos que son más fácilmente separables de las aguas residuales debido a estas transformaciones.

La eliminación de nitrógeno se logra durante dos etapas de conversión del proceso de nitrificación y desnitrificación. En el primero, conocido como nitrificación, el amoníaco se convierte en nitrato para reducir su demanda de oxígeno; el nitrógeno, sin embargo, no ha sido eliminado y apenas ha sufrido cambio de forma durante esta etapa. El nitrato se transforma en un producto gaseoso que se elimina en el segundo paso, la desnitrificación; dado que tiene una alta eficiencia de remoción, alta estabilidad y confiabilidad, además de un fácil control del proceso y menores costos que otros tratamientos, este método biológico para la remoción de nitrógeno de las aguas residuales es la mejor opción (Gallego-Alarcón & García-Pulido, 2017).

2.2.4.1.3. *Biofiltro con espejo de agua o sistema de flujo libre (FWS)*

Las aguas residuales pretratadas, en mención de (Herrera & Rey, 2018) por lo general, se implementan de forma constante en los sistemas FWS, y el tratamiento sucede mientras el agua fluye por los tallos y las raíces de la vegetación en desarrollo. También es posible crear sistemas de flujo libre para mejorar las condiciones de los humedales naturales locales o para establecer nuevos hábitats para la vida silvestre. Los escritores igualmente indican que los sistemas de flujo subyacente, compuestos por conductos o zanjas cavadas y repletas de material granuloso, usualmente cascajo, donde el estrato acuático se conserva inferior a la superficie del cascajo, están predestinados a otorgar un tratamiento secundario o progresivo.

En ambas variedades de biofiltros se emplea la misma especie vegetal. Debido a las velocidades de reacción más altas y al potencial para un área más pequeña, el lecho de grava; considerando que el agua se encuentra bajo la superficie del medio granular y, por ende, no se halla expuesto, se pretermiten los mecanismos de flujo liberado que podrían hospedar mosquitos en determinadas zonas; dado que este estrato proporciona un resguardo térmico superior, tampoco se presentan inconvenientes de accesibilidad y se eluden dificultades en zonas gélidas (Herrera & Rey, 2018). A pesar de que se necesita menos espacio que con un sistema FWS, el precio de obtención y colocación del material granular en el lecho determinará

si el sistema es económicamente viable. De acuerdo con el desempeño de los biofiltros, niveles significativos de metales, trazas orgánicas, patógenos y 26 DBO, SS y nitrógeno pueden ser tratados de manera efectiva por ellos (rendimientos de más del 80%). La remoción de fósforo, que en estos sistemas es insignificante, no tiene el mismo impacto (Herrera & Rey, 2018).

2.2.4.2. Componentes de un biofiltro

Son tres los componentes que señala el Banco Mundial (BM, 2006).

2.2.4.2.1. Capa filtrante

Su papel primordial consiste en la segregación de los sólidos del agua en la fase de pretratamiento y en proporcionar una superficie para el crecimiento de los microorganismos encargados de la descomposición aerobia y anaerobia de los contaminantes, además de servir como sustrato aprovechable por las raíces. Asimismo, facilita la formación y proliferación de los macrófitos. Los parámetros para la elección del lecho filtrante abarcan el calibre de las partículas, la porosidad, la permeabilidad y la fortaleza física frente al desgaste ocasionado por las aguas residuales. Se requiere una evaluación cuidadosa por especialistas para asegurar la funcionalidad óptima de los biofiltros. Los materiales empleados incluyen grava, piedra machacada o roca volcánica (BM, 2006).

2.2.4.2.2. Planta pantanosa

El trabajo del equipo en el proceso de depuración de aguas residuales lo sitúa como un componente esencial en los biofiltros. Por lo tanto, las raíces de las plantas potencian las propiedades físicas, tales como la filtración y la promoción del desarrollo de microorganismos en su superficie. La introducción de oxígeno al lecho del filtro engendra una coloniamicrobiana aeróbica en las proximidades de las raíces vegetales. Adicionalmente, los macrófitos desempeñan otras funciones en su ubicación específica, tales como ofrecer un hábitat propicio para la fauna y contribuir con un atractivo estético al sistema (BM, 2006).

2.2.4.2.3. Microorganismos

La función esencial de los microorganismos consiste en atenuar notablemente el deterioro de los biofiltros mediante la descomposición aerobia (con oxígeno) y anaerobia (sin oxígeno) de los contaminantes orgánicos que se encuentran en las aguas residuales. Los sólidos orgánicos en suspensión que acompañan a las aguas residuales ingresadas se acumulan, aunque persisten en el lecho del filtro por un período prolongado, donde las bacterias mineralizan los componentes orgánicos. Los microorganismos también pueden eliminar el nitrógeno a través del mecanismo de nitrificación y desnitrificación (BM, 2006).

2.2.4.3. *Diseño de los biofiltros*

De acuerdo con Tapia & Villavicencio (2007) los factores a considerar en la formación de estas asociaciones vegetales están relacionados con el tipo de contaminante a controlar, la selección de las especies adecuadas, la estimación del ancho del biofiltro y las labores de laboreo e instalación más adecuadas. sistema, cada aspecto se detalla a continuación.

Identificar los principales problemas de contaminación en el sitio. Es importante identificar las limitaciones ambientales a las que se enfrenta una instalación en relación con su sistema de producción y priorizarlas según su importancia para determinar qué diseño se adapta mejor a las necesidades específicas de cada situación. Algunas de estas limitaciones pueden incluir alta erosión y transporte de sedimentos, alta aplicación de fertilizantes y pesticidas (que pueden ser arrastrados por el agua de riego), contaminación orgánica, proliferación de algas o turbidez excesiva de los cuerpos de agua.

Se ha demostrado que la elección de especies apropiadas puede ser utilizada tres capas de vegetación para la construcción de biofiltros: Pastos, arbustos y árboles, cada uno de los cuales tiene ciertas características que deben ser consideradas para solucionar el problema. Qué especie usar para cada nivel depende del tipo de contaminante a controlar, la disponibilidad de material vegetal y el costo. También se debe tener en cuenta su falta de huéspedes para las principales plagas de los cultivos, su capacidad para resistir la salinidad o el estrés hídrico, su capacidad para recuperarse del transporte mecánico y los intereses de cada agricultor individual.

2.2.4.4. *Biofiltros alternativos*

2.2.4.4.1. *Biofiltros a base de carbón activado*

Como indica Iturralde & Hernández (2022) la filtración de carbón activado, explican que se utiliza para eliminar las impurezas y purificar eficazmente el espíritu. El carbón activado consiste principalmente en carbón elemental con una estructura de grafito. Se diferencia del grafito en su estructura aleatoria incompleta, es extremadamente poroso en una variedad de tamaños de poro extensos y se puede dividir en tres grupos:

- Poros grandes (diámetro superior a 50 nm)
- Mesoporos (con diámetros entre 2 y 50 nm)
- Microporos (menos de 2 nm de diámetro)

Las diferentes estructuras de poros, como explican los autores Iturralde y Hernández (2022), proporcionan al carbón un área superficial muy grande (alrededor de 2500 m²/g) y también permiten que el carbón absorba varios compuestos.

El carbón activado funciona absorbiendo los compuestos que elimina. Aunque es posible la eliminación de partículas, no se produce una filtración significativa. La absorción es causada

por la fuerza de dispersión de London, un tipo de fuerza de van der Waals que existe entre las moléculas. Esta fuerza es muy fuerte pero solo actúa en distancias cortas y es sensible a la distancia entre la superficie de carbono y las moléculas de adsorbato (Iturralde & Hernández, 2022).

2.2.4.4.2. Biofiltro a base de café

Como señalan Martínez et al. (2021) el café es la segunda bebida más ingerida globalmente después de agua; en el proceso de hacer café se necesita 130 litros de agua es decir 18.900 litros; el agua restante del tratamiento contiene principalmente materia orgánica (43% celulosa, 12% limo y 6,1% pergamino), cafeína, alcaloides, taninos y otros metabolitos los demás; entre sus propiedades físico-químicas destaca su alta acidez y bajo valor de pH, por lo que no requiere tratamiento al ser vertido a cuerpos de agua. Cualquier tratamiento, explican los autores, precisa una mala influencia al exterior, ya que reduce la fotosíntesis e inhibe el crecimiento; sus componentes químicos, como la lignina, la cafeína y los melanoides, les dan su color oscuro.

Las aguas residuales de la industria cafetalera, señalan Martínez et al. (2021), contienen compuestos lixiviados altamente nocivos que demandan atención considerable y la implementación de diversas estrategias de resolución de problemas. En consecuencia, en años recientes se han emprendido múltiples investigaciones para emplear técnicas en su tratamiento; por ejemplo, a través de la electrocoagulación, la floculación química y los procesos de oxidación avanzada. No obstante, la implementación de estas técnicas no soluciona completamente el problema debido a que los costes de inversión inicial son elevados, lo que obstaculiza su aplicación práctica que por su demanda y su alto comportamiento contaminante requiere el uso de diferentes métodos de depuración; que para tal caso es la biofiltración con piedra pómez que se convierte un medio de soporte que se ha convertido en una alternativa con parámetros reducidos.

Martínez et al. (2021), hace uso de la piedra pómez como agente de apoyo en la ingeniería ambiental ha ido aumentando gradualmente, tomando más fuerza en 2010 y 2015, se utiliza con biofiltros de piedra pómez que contienen biopelícula y biocarbón de *Saccharomyces cerevisiae* debido a su capacidad para separar compuestos contaminantes según la literatura; de esta manera la biofiltración es una tecnología económica y sostenible para la eliminación de contaminantes biodegradables, eliminando metales como cobre y cadmio y sólidos orgánicos volátiles.

2.2.4.5. Materiales para el desarrollo de las capas aditivas de los biofiltros

2.2.4.5.1. Piedra pómez

Como indica Vásconez (2017) uno de los compuestos naturales de los volcanes es la denominada piedra pómez, también denominada pumita o pumicita. Es una lava solidificada

que surge cuando una roca con alta reactividad y presuria es expulsada de manera violenta de un volcán. Esta sustancia mantiene un pH neutro, no se desintegra ni se solidifica y su densidad oscila entre 0,4 y 0,9 g/cm³. Es una roca de grano fino con una porosidad media del 90% que le facilita la flotación en el agua. La piedra pumita empleada para filtrar agua funciona bien debido a su estructura porosa, baja expansión del lecho filtrado y el relativamente bajo costo de mantenimiento, el líquido que filtra no pierde su sabor debido a que no es toxico. Asimismo, Mocha et al. (2021) mencionan que dicha piedra permite una mayor carga de partículas y una mayor capacidad de retención de sólidos, puede ser utilizado entre 0 y 40 grados centígrados, funciona en condiciones salinas como de agua dulce, detiene las toxinas cianobacterias y otras impurezas que puede contener el agua contaminada.

2.2.4.5.2. *Cascarilla de arroz*

De acuerdo a lo que indica Castellanos et al. (2020) la trituration del grano de arroz es un tejido vegetal compuesto por celulosa y sílice que proviene de los campos de cultivo, dando lugar a la cascarilla de arroz, un subproducto producido a partir de este. El uso de cascarilla de arroz como sustituto orgánico en un humedal permite aumentar la alcalinidad del agua y disminuir su acidez, esto permite reducir grasas, DQO, DBO5 eliminar materia orgánica y patógenos como parte de un tratamiento, los compuestos óxidos metálicos contribuyen a este fenómeno. El agua tratada con cáscaras de arroz se puede emplearse para incrementar la calidad del agua y poder reutilizarla en la agricultura. Asimismo, Díaz (2019, p.25 - 30) menciona que la cáscara de arroz no requiere procesamiento previo para ser utilizada como medio filtrante, es decir, se utiliza en las condiciones en que proviene del apilador.

2.2.4.5.3. *Arena fina*

La arena fina tiene una textura suave y agradable al tacto se destaca por su rango de partículas más pequeñas, que se encuentran entre 0,075 mm y 2,0 mm de color casi blanquecino, sirve como barrera física para atrapar partículas suspendidas, helmintos y protozoos, durante el tiempo, las partículas más pequeñas son arrastradas por estos contaminantes y se rellenan los espacios en el filtro (Solis, 2023, p. 34-40). La porosidad de la estructura de la arena también atrapa óxidos, sedimentos y materia orgánica. A medida que el agua ingresa al filtro de arena hacia abajo, las partículas más grandes como suciedad, escombros y materia orgánica quedan enguachadas en los espacios entre los granos de arena, permitiendo que el agua sea más clara y purificada (Losada et al., 2021, p. 28 - 33).

2.2.4.5.4. *Aserrín*

Consiste en todas las partículas que se liberan de la madera al usar la sierra, el aserrín tiene una forma redondeada y no laminar, lo que lo distingue de las virutas de madera. Con el tiempo,

este material, que es esencialmente un desecho o sobrante del trabajo de talar la madera, ha sido explorado en varias direcciones. Principalmente, el aserrín de madera consiste en fibras celulósicas unidas con lignita, la composición media incluye 50% de carbono, 42% de oxígeno, 6% de hidrógeno y 2% de nitrógeno. El aserrín es un material filtrante que se utiliza para tratar aguas residuales (Manjarres, 2023). En su investigación Navidad, (2024) los parámetros estudiados, el aserrín tiene una eficacia global del 44%. Además, el color Real, el DBO₅, el DQO y la conductividad eléctrica disminuirán significativamente con este proceso de filtración. Asimismo, considerando el tamaño de las partículas, la cantidad ideal y la clase de aserrín requerido para este proceso de tratamiento, se podría utilizar el aserrín como medio filtrado siempre y cuando se investigue la forma adecuada de utilizarlo. Cada 15 días, es necesario cambiar la capa superior del material, ya que comienza a descomponerse.

2.2.4.5.5. *Cabello*

Dado que la queratina constituye el 95% del cabello, es hidrófoba, atrae sustancias grasas y deja atrás el agua, funcionan como esponjas absorbentes, por tanto, puede absorber, atraer aceites minerales, así como derivados vegetales e hidrocarburos como el petróleo (Gutiérrez et al., 2022). De hecho, Estévez (2023) en su investigación menciona que la porosidad del cabello se denomina al medio de su habilidad para retener y absorber humedad. En gran parte, esto depende de la condición de la capa externa del cabello, también llamada cutícula. El cabello tiene porosidad baja cuando las capas de la cutícula están muy juntas. El cabello presenta la porosidad alta si estas capas están elevadas o separadas. Al cabello de baja porosidad le resulta más difícil absorber la humedad y los acetatos, pero una vez que lo hace, los retiene bastante bien (Gutiérrez et al., 2022).

2.2.4.5.6. *Cáscara de naranja*

Una investigación llevada a cabo por la Universidad de Granada (UGR) y científicos de México evidenció que la cáscara de naranja puede resultar provechosa. El procesamiento controlado para aliviar tensiones inmediatas permite modificar la estructura de estos desechos y otorgarles características de absorción, tales como una mayor porosidad y una superficie específica más amplia. Así, a través de un tratamiento químico subsiguiente, lograron incorporar grupos funcionales al material y hacerlo selectivo para eliminar los contaminantes orgánicos y minerales del agua.

En otra investigación, los mismos científicos introdujeron el material en un filtro que permitía el paso del agua contaminada de la misma forma que los sedimentos.

Los hallazgos revelan el inmenso potencial de utilizar estos materiales como absorbentes de metales en aguas residuales, con el fin de colaborar con procesos sostenibles que faciliten la

producción de productos de gran valor y alta producción comercial a partir de desechos provenientes de la industria de alimentos (ATRESMEDIA, 2017).

2.2.4.5.7. *Coco*

La cáscara o endocarpio de coco es un material de biomasa lignocelulósica, que contiene sustancias biodegradables y no tóxicas, como glucano, xilano, klason-lignina y cenizas (Li et al., 2018). Además, la cáscara de coco es muy hidrófila, propiedad que le confiere su grupos funcionales o químicos, como el acetamida, amino, amida, sulfhidrilo, sulfato, carboxilo e hidroxilo Sousa et al. (2014). La cáscara o endocarpio de coco es un material de biomasa lignocelulósica, que contiene sustancias biodegradables y no tóxicas, como glucano, xilano, klason-lignina y cenizas (Li et al., 2018). Además, la cáscara de coco es muy hidrófila, propiedad que le confiere su grupos funcionales o químicos, como el acetamida, amino, amida, sulfhidrilo, sulfato, carboxilo e hidroxilo (Sousa et al., 2014). Se escogió este material por ser de desecho abundante, no es tóxico, es verde, es de bajo costo y renovable. De igual forma, este material, por ser hidrófilo, posee excelentes propiedades de absorción. Debido a su estructura, todos los medios filtrantes orgánicos se descomponen naturalmente con el tiempo. Este proceso comprime los poros necesarios para tratar las aguas residuales y descompone el material filtrante hasta el punto de perder su eficacia. Las hojuelas de cáscara de coco son un medio de filtración ideal porque contienen un alto porcentaje de lignina, uno de los principales componentes de las fibras naturales. La dureza y la resistencia a la degradación del material ayudan a que el material filtrante mantenga su estructura tridimensional y su porosidad a lo largo del tiempo. Organizaciones minerales involucradas en aguas residuales, buscan colaborar con procesos ecológicos para adquirir productos de gran valor comercial a partir de desechos provenientes de la industria de alimentos (Bhaskar & Singh, 2013).

2.3. Marco legal

2.3.1. Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente.

El propósito es la conservación y salvaguarda del entorno y los recursos naturales, controlando la conducta humana en relación con la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la meta de mejorar la calidad de vida de los habitantes. De igual forma, sostiene que el gobierno del estado fomenta el tratamiento de las aguas residuales con el objetivo de su reutilización, con el objetivo de alcanzar la calidad necesaria para su reutilización, sin perjudicar la salud humana, el entorno y las actividades en las que se reutilizarán.

2.3.2. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM

El propósito es determinar los niveles máximos permitidos para los efluentes líquidos provenientes de las actividades minero-metalúrgicas, con la finalidad de asegurar que los

niveles de los parámetros no controlados por esta Resolución, como cadmio, mercurio, cromo y otros, sean suficientemente bajos, cumplan con las disposiciones legales en el país técnicamente ante la autoridad competente que su vertimiento al cuerpo receptor no causará efectos negativos en la salud humana y el ambiente. Este decreto nos ayuda a medir los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

2.3.3.Ley 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático.

Busca establecer lineamientos generales, focos y disposiciones para organizar, articular, diseñar, ejecutar, informar, monitorear, evaluar y difundir políticas públicas para la gestión integral, transparente y participativa de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

2.3.4.Ley 26842, Ley General de Salud – Indica que el Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)

Define la importancia de la salud como requisito fundamental para el crecimiento humano y del entorno para lograr el bienestar tanto personal como grupal. Esta ley nos ayuda en la necesidad de tratar el agua para riego del distrito de Cuchumbaya por la presencia de metales pesados que estos puedan causar daños en la salud humana.

2.3.5.Resolución de Gerencia General del PERPG N°191-2019-GG-PERPG/GR.MOQ

Indica sobre la solicitud de financiamiento de expediente técnico donde solicitan la creación de infraestructura de riego de una represa para la optimización y expansión del suministro de agua en cuatro zonas del distrito de Lloque, en la cual beneficiaba también al distrito de Cuchumbaya, proyecto que solo tendría una duración de dos años, siendo el año 2022 la finalización de dicho proyecto.

2.3.6.Estándares de calidad Ambiental (ECA) para agua SINIA (DS N°004-2017-MINAM)

Estrategia de administración ambiental implementada para medir la calidad del medio ambiente a nivel nacional. El ECA III (Estándares de calidad ambiental para el riego de vegetales y la bebida de animales) es fundamental, ya que es un instrumento fundamental y de control de la calidad de las diversas fuentes de agua empleadas para el consumo comunitario y la conservación del entorno natural.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

A continuación, se detalla los aspectos metodológicos de la investigación, los aspectos detallados son: Nivel, Diseño, Tipo, Enfoque.

Tabla 2

Nivel, tipo, enfoque de investigación

Categoría	Tipo	Descripción
Nivel	Experimental	Se llega a medir la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) mediante variables manipuladas en la experimentación (Hernández et al., 2014, p. 214).
Tipo	Explicativa	Este tipo de investigación es explicativa ya que se busca probar la causa y efecto generado en la fitorremediación por la especie jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) y la adición del biofiltro en el grado de remoción (Hernández et al., 2014, p. 154).
Enfoque	Cuantitativo	Emplea la recolección de datos para probar la hipótesis y se apoya en el análisis estadístico (Hernández et al., 2014, p. 2 - 7).

Nota. Esta tabla está elaborada en función a la metodología de investigación de Hernández et al. (2014).

3.2. Diseño de la investigación

La actual indagación de acuerdo al tipo de trabajo es experimental, ya que se manipulará los tratamientos de la variable independiente, y se someterá las aguas de riego destinadas para el distrito de Cuchumbaya por un tren de tratamiento mediante la aplicación de un biofiltro de carbón activado, piedra pómez y cascarilla de arroz y técnicas de fitorremediación con la especie jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para medir el nivel de tratamiento alcanzado.

A continuación, se presenta la descripción de la experimentación:

- OE1: Realizar un plan de muestreo y análisis de calidad de las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya.

Se ha basado esta metodología en el Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos ANA (2016) para esta investigación. En este estudio, se tomarán en cuenta muestras de tipo simple, que incluyen muestras recolectadas en un momento o sitio específico con el propósito de llevar a cabo un análisis individual, con el objetivo de evaluar las propiedades fisicoquímicas más pertinentes de acuerdo a los estándares de calidad ambiental y

antecedentes. Es importante señalar que las muestras se recolectarán durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, lo que se considera un periodo de húmedo (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2016). en las aguas río abajo específicamente el punto de la bocatoma del rio Cuchumbaya donde se encuentra el agua para riego para dicho distrito.

En la determinación de estos parámetros, no solo se basará en la búsqueda bibliográfica necesaria, sino que también se contratará un laboratorio certificado. Para ello, se realizará la cotización e investigación de los permisos necesarios para obtener acceso a las muestras requeridas para llevar a cabo la experimentación posterior. Estas muestras serán posteriormente enviadas al laboratorio (2 litros por muestra), donde se obtendrán los parámetros fisicoquímicos necesarios para conocer así las características y el nivel de impurezas de las aguas para riego del distrito de Cuchumbaya.

Premonitoreo

- ACT1: Planificación del monitoreo

Se tomo un punto de muestreo en la bocatoma, donde es el almacenamiento del agua para riego del distrito de Cuchumbaya, teniendo la misma hora, lo que nos permite obtener mediciones más precisas de cada muestra, las coordenadas obtenidas se tomaron con ayuda de GPS para una mejor ubicación del muestro inicial de mes de la temporada humeda.

Tabla 3

Planificación del monitoreo

Lugar de muestreo	Hora del muestreo	Coordenadas del punto de muestreo	Cantidad de muestra	Parámetros	Periodo del muestreo(seco)
Bocatoma de Cuchumbaya (Umalso)	8:30 AM	16°45'04"S 70°40'58"W	1	Ph, T, OD, DBO5, ST, A y G.	Setiembre
Bocatoma de Cuchumbaya (Umalso)	8:30 AM	16°45'04"S 70°40'58"W	1		Octubre
Bocatoma de Cuchumbaya (Umalso)	8:30 AM	16°45'04"S 70°40'58"W	1		Noviembre

Nota. La tabla muestra los detalles de los monitoreos iniciales de cada mes.

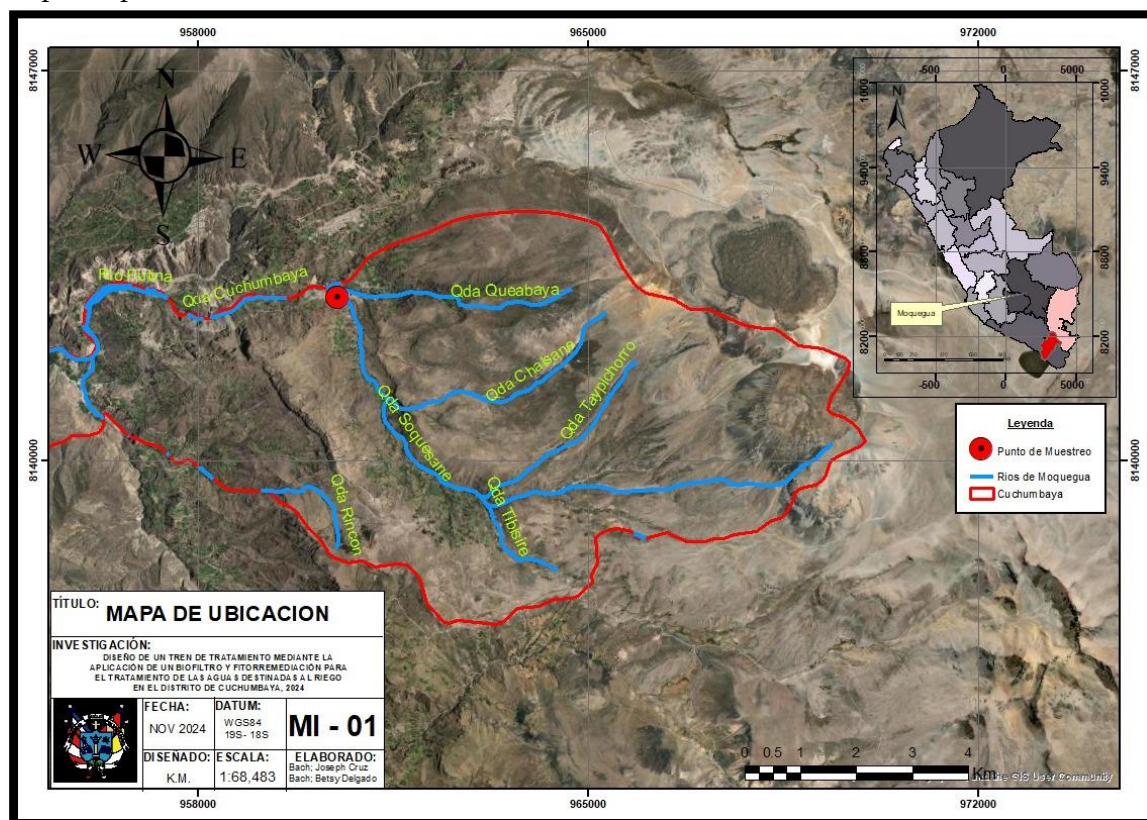
- ACT 2: Establecimiento de la red de puntos de monitoreo

Se tomarán 3 muestras en diferentes meses en un mismo punto de monitoreo para su posterior evaluación.

Se realizará la Identificación de 1 punto de control (Los puntos de monitoreo serán 1: en la bocatoma donde se almacena el agua para riego del distrito de Cuchumbaya, para ver su nivel de contaminación que sale en el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2011, P. 7 - 41).

Figura 1

Mapa de punto de monitoreo



Nota. Elaboración propia basada en data de mapas online de Microsoft Bing Maps del área Tambo, Coralaque, Cuchumbaya, distritos del departamento de Moquegua.

En la Figura 1, se puede observar el Mapa de Punto de Monitoreo para la toma de muestras iniciales de cada mes (Setiembre, Octubre y Noviembre), donde el punto rojo representa el lugar de monitoreo. El mapa incluye referencias geográficas como rios y afluentes.

- ACT 3: Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección.

Para ejecutar un monitoreo de manera efectiva, se deberán preparar con anticipación los materiales de trabajo, soluciones estándar de pH, conductividad, formatos (registro de campo y cadenas de custodia) de acuerdo con la necesidad u objetivo del monitoreo. Asimismo, se deberá contar con todos los materiales y equipos de muestreo operativos y debidamente calibrados descritos en el anexo (Anexo E).

Monitoreo

– ACT 4: Reconocimiento del entorno

Durante el reconocimiento del entorno, se llevará a cabo la identificación de características atípicas, tales como: la coloración anormal del agua, la presencia de algas o vegetación acuática, la presencia de residuos, la actividad humana, la presencia de animales u otros factores que modifican las características naturales del cuerpo del agua.

– ACT 5: Rotulado y etiquetado

Los recipientes se deberán de rotular con etiquetas autoadhesivas conteniendo datos como el nombre del solicitante, código, tipo de cuerpo de agua, fecha y hora, tipo de análisis y preservación.

– ACT 6: Georreferenciación del punto de monitoreo

Una vez que nos encontremos ubicados en el sitio de muestreo, se deberá identificar el punto de monitoreo con la información registrada, asimismo se deberá tener en cuenta la utilización de GPS. Esta guía nos recomienda que, si se producen variaciones significativas de medidas entre dos muestras, deberemos calibrar el equipo.

– ACT 7: Toma de muestra

Para iniciar la toma de datos se verificará que se utilicen las siguientes herramientas: guantes descartables, mandil, mascarilla, gorro y lentes de seguridad para realizar la manipulación de equipos de toma de muestra, recipientes, frascos de esta forma se asegurará una demostración exitosa y evitará que el exhibidor sea alterado.

Para la toma de la muestra se ubicó en un punto seguro de fácil acceso y corriente homogénea. Se colocará un frasco en el brazo muestreador, se ajustará y se retirará la tapa y contratapa sin entrar en contacto con la superficie interna del frasco.

Se sumergirá el frasco hasta que esté parcialmente lleno y se procederá a enjuagar expulsando el agua fuera de la captación a excepción de frascos en los que se medirá parámetros microbiológicos.

Finalmente se sumergirá el frasco a 20 o 30 cm dentro de la captación y se obtendrá la muestra.

– ACT 8: Preservación

Una vez que se tome la muestra de agua, se procederá inmediatamente a adicionarle preservante para los parámetros requeridos en el anexo F (conservación y preservación de la muestra de agua en función del parámetro evaluado). Luego de conservar la muestra procederemos a homogeneizar y sellar el recipiente, teniendo en cuenta las normas de seguridad y protección personal para sustancias químicas de seguridad Materia Safety Data Sheets (MSDS).

– ACT 9: Transporte de muestra

El transporte de las muestras se realizará por medio terrestre, se utilizará adictivo pues el tiempo de transporte supera 45 minutos del lugar de muestreo al laboratorio, el transporte de muestras se realizará haciendo uso de un cooler para la protección de la muestra hasta llegar al laboratorio.

– ACT 10: Recepción de resultados Laboratorio

La recepción de la muestra con el laboratorio escogido y que cumpla con la certificación de INACAL.

- OE2: Diseñar un tren de tratamiento mediante la aplicación de un biofiltro y técnicas de fitorremediación para tratar las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya.

Para el diseño del sistema de fitorremediación se llegó a recurrir a bibliografía donde se hizo empleo de la planta en mención como fitorremediadora con algunas condiciones similares a la de nuestro lugar de estudio, lo cual nos brindó información necesaria para que el diseño del tren de tratamiento sea factible y funcional, posteriormente se siguieron las siguientes actividades:

– ACT1 Plantación de 20 *Eichhornia crassipes*

Para esta actividad de plantación 20 especies *Eichhornia crassipes* se llegó a tener como referencia la investigación de Morales et al. (2019) que realizó tres muestras de 43, 70 y 82 plantas con 50 litros de agua superficial, también se tomara como segunda referencia a Nuñez (2021) donde considero muestras de 12 y 6 plantas con la utilización de 40 litros de agua superficial, teniendo en cuenta estas investigaciones se llegara a la deducción de proponer una media (20 especies) entre el número de especies utilizadas por los autores en mención posteriormente poder seleccionar las más óptimas para la experimentación.

– ACT2 Acondicionamiento de la especie *Eichhornia crassipes* donde se desarrollarán para su posterior adecuación y selección.

Se colocarán las especies *Eichhornia crassipes* en envases de plástico de 20 litros, siguiendo la metodología de Huamani et al. (2021) donde indica que las especies deben interactuar con el agua potable local para su aclimatación durante 5 días.

Concluido este periodo se procede a purificar las raíces empleando agua destilada, con el objetivo de expurgar los contaminantes y biotas radicados en la raíz, en este caso se tomaron 20 especies para luego seleccionar 15 que deben tener las mejores condiciones, para esta selección se aplicó también la metodología de Huamani et al. (2021) donde tuvo como indicadores el color de hojas y crecimiento, como técnica a la observación y como escala de medición a la razón.

- ACT3 Rotulación de las 15 plantas de la especie (*Eichhornia crassipes*), en buen estado.

Para un mejor control de las especies se rotulará cada una de ellas para monitorear cada cambio que pueda presentar durante la ejecución del sistema.

- ACT4 Pesado y selección de carbón activado, piedra pómez, cascarilla de arroz arena fina y gruesa necesaria para el biofiltro.

Para el proyecto se usará un contenedor de plástico donde se llenará con las capas de arena gruesa, piedra pómez, carbón activado, cascarilla de arroz y arena fina con las cantidades especificadas en el Anexo B.

- ACT 5 Armado del tren de tratamiento mediante el sistema fitorremediador y biofiltro.

Para el sistema de fitorremediador se empleará un contenedor de 10 lt de capacidad de agua (Anexo C) a para fitorremediar, este contenedor contará con las siguientes dimensiones, una altura de 10 cm, un largo 80 cm y de ancho de 50 cm (Anexo C). La etapa de fitorremediación constará de 3 semanas, este periodo de tiempo se dedujo gracias a las investigaciones de Nuñez (2021) que considera un tiempo de fitorremediación de 22 y 40 días, Morales et al. (2019) toma el tiempo de 8 semanas, Ambrocio & Quiroz (2021) experimentaron en un periodo de 15 días, al no ver una cifra específica de tiempo de fitorremediación eficaz se ha decidido considerar una media (2 semanas y medias o 19 días).

Para el relleno del biofiltro, se utilizará piedra gruesa, arena gruesa, grava y carbón activado, dividiéndolos con malla raschel en el medio con las cantidades especificadas en el Anexo I.

Cabe recalcar que todo este procedimiento mencionado se repetirá por cada mes (setiembre, octubre y noviembre) abarcando así el periodo húmedo (SENAMHI, 2016) para posteriormente generar una curva de calibración.

- OE3: Evaluar la eficiencia del tren de tratamiento de fitorremediación y biofiltro de forma separada y en conjunto para así conocer las características finales del agua de riego del distrito de Cuchumbaya.

- ACT 1: Recolección del agua fitorremediadora para el sistema de biofiltro.

Después de las 3 semanas del mes de setiembre, octubre y noviembre (1 muestra por mes), se pasará a recolectar la muestra de agua para medir la eficiencia de la fitorremediación y así conocer en cuánto influyó en la remoción de contaminantes, posteriormente se mandará la muestra debidamente rotulada al laboratorio especializado para saber el nivel de porcentaje de remoción del sistema de fitorremediador, con los resultados de laboratorio de los tres meses (setiembre, octubre y noviembre) se realizará una curva de calibración. Finalmente, el biofiltro percibirá el agua fitorremediada que vendría a ser 5.5 litros (Anexo C).

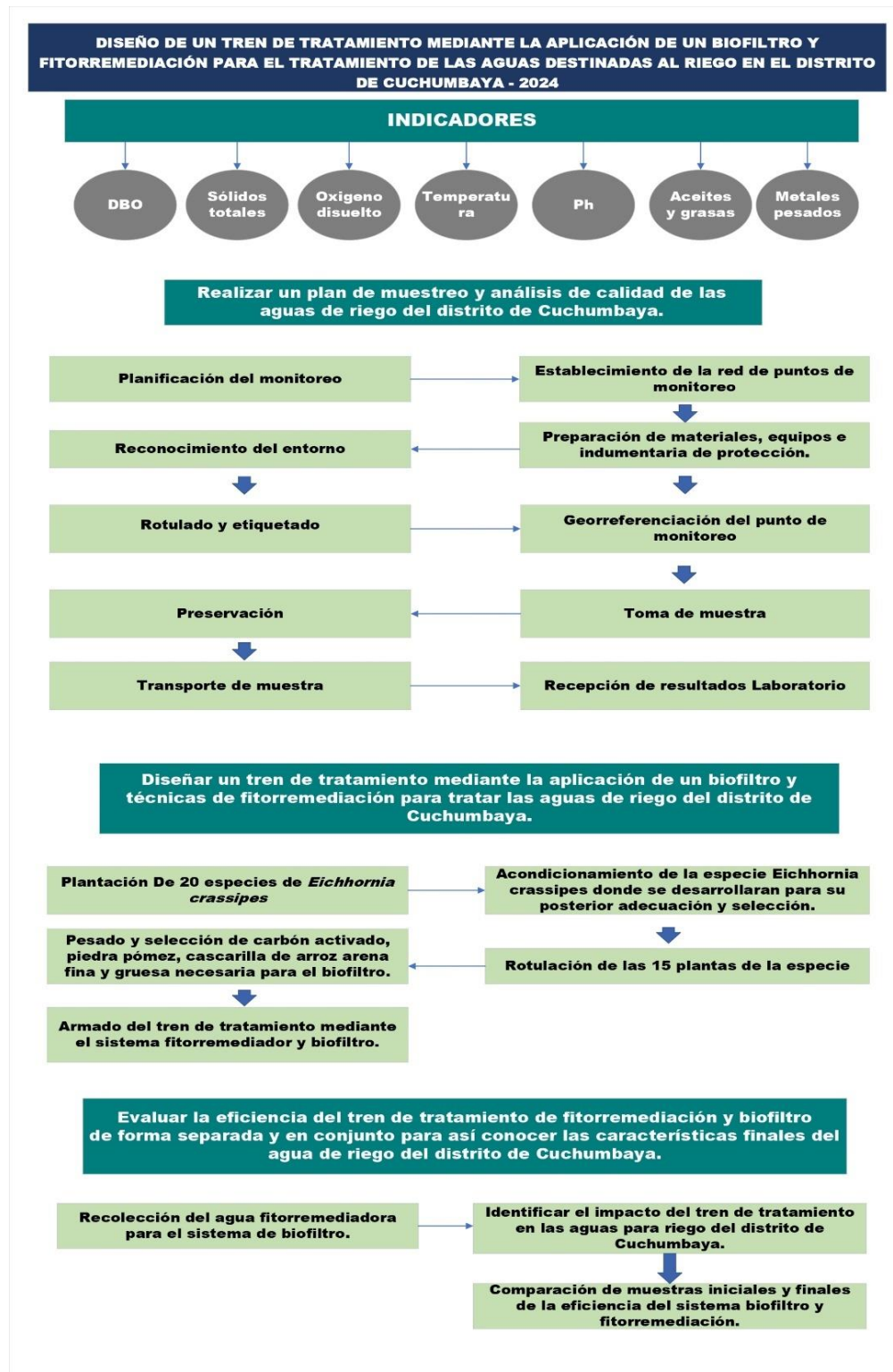
- ACT 2 Identificar el impacto del tren de tratamiento en las aguas para riego del distrito de Cuchumbaya.

Para saber la eficiencia que tuvo el tren de tratamiento en cada mes (setiembre, octubre y noviembre) se recolectara la muestra de agua final para luego rotular y posteriormente ser examinada en el laboratorio y así saber el porcentaje de remoción y con los datos obtenidos generar la curva de calibración.

- ACT 3 Comparación de muestras iniciales y finales de la eficiencia del sistema biofiltro y fitorremediación.

Para la comparación de muestras, se realizará con los datos acopiados al principio y los hallazgos finales que se obtuvieron en cuanto el grado de remoción de la contaminación luego del desarrollo del proyecto. Asimismo, con la comparación obtenida se determinará la eficiencia porcentual que tuvo el tren de tratamiento que tiene como objetivo de llegar a las características de un agua de tipo ECA-3.

Figura 2
Diagrama de flujo



Nota. En la figura se muestra el diagrama de flujo que representa las fases principales del proceso del tren de tratamiento.

3.3. Métodos

El método es deductivo porque en el proyecto va desde lo general a lo específico en este caso se llega a tener las variables e indicadores que ayudarán a sacar una conclusión, primero evaluando algunos parámetros fisicoquímicos que son necesarios para el conocimiento y tener un contexto acerca de la contaminación de aguas que existe en las aguas de riego destinadas a Cuchumbaya y posteriormente proceder a accionar el funcionamiento del tren de tratamiento que combina la acción fitorremediadora de la especie *Eichhornia crassipes* y el biofiltro de carbón activado, piedra pómez y cascarilla de arroz, todo esto para determinar el nivel de eliminación de contaminantes que el agua de riego contiene (Hernández et al., 2014).

3.3.1. Población, muestra y muestreo

En el método no probabilístico, la elección de los componentes se fundamenta en razones vinculadas con las particularidades de la investigación o las metas del investigador más que en la probabilidad. En este caso, el proceso no es automático ni se fundamenta en fórmulas de probabilidad; en realidad, se basa en el proceso de decisión de un investigador o de varios investigadores, después de lo cual muestras seleccionadas satisfacen criterios de investigación adicionales. La selección de una demostración probabilística o no probabilística se basa en la forma en que se conceptualiza la investigación, cómo se diseña la investigación y qué espera lograr el investigador con ella (Hernández et al., 2014). En conclusión, depende de un criterio de disponibilidad del mismo, de lo que podemos tener o no acceso, en nuestra investigación para que sea probabilística tendríamos que tener acceso a toda la información del agua de Cuchumbaya en diferentes épocas y tiempos para que se llegue a tener la misma probabilidad y eso no es posible por una limitación geográfica, limitación de costos y accesos.

Tabla 4
Población, muestra y muestreo

Categoría	Descripción
Población	Aguas para riego del distrito de Cuchumbaya
Muestra	3 muestras de agua
Muestreo	No probabilístico

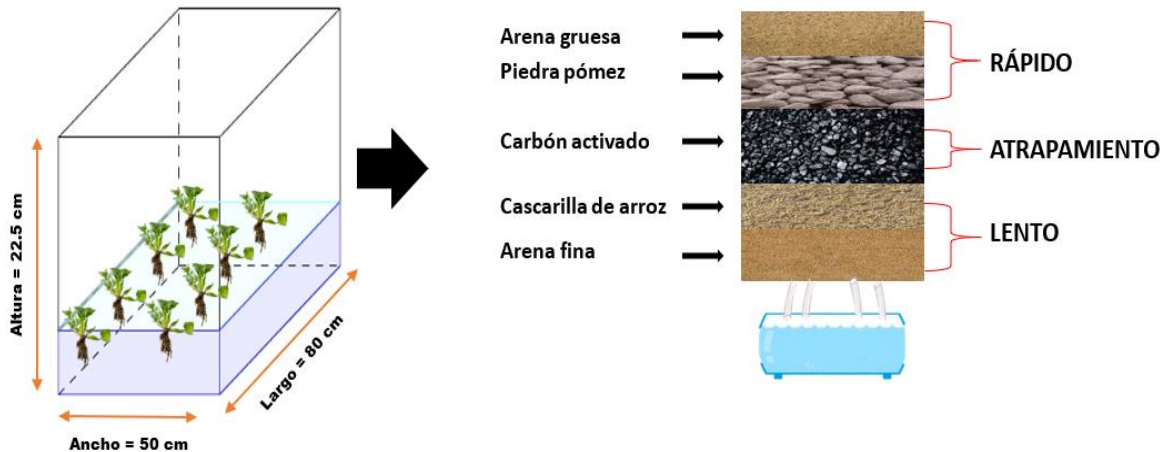
Nota. La tabla recopila información sobre población, muestra y muestreo.

3.3.2. Diseño preliminar biofiltro y fitorremediación

Para poder diseñar el tren de tratamiento fue necesario calcular las medidas del biofiltro que se encuentran en el anexo H como los espesores de las capas filtrantes del biofiltro teniendo en cuenta las densidades de cada una (arena fina, cascarilla de arroz, carbón activado, piedra pómez y arena gruesa) los cálculos específicos se encuentran en el anexo I. Asimismo, para poder diseñar el recipiente del fitorremediador fue necesario calcular el ancho, alto y largo

considerando las medidas de la especie Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), los cálculos se encuentran en el anexo C.

Figura 3
Esquema experimental



Nota. Elaboración propia basada en datos de García & Saldarriaga (2020), Jiménez & Villegas (2005), Sandoval & Yupanqui (2023), Aaron (2022), Prieto (2019), Jácome & Escobar (2022), REDEXOS (2025).

Figura 4
Construcción real



Nota. En la figura podemos observar el prototipo del tren de tratamiento en construcción real. Elaboración propia basada en datos de García & Saldarriaga (2020), Jiménez & Villegas (2005), Sandoval & Yupanqui (2023), Aaron (2022), Prieto (2019), Jácome & Escobar (2022), REDEXOS (2025).

3.3.3. Indicadores e instrumentos experimentales

A continuación, se presenta el método y el tipo de instrumento a utilizar en el control y medición de las diferentes variables. donde determinadas herramientas, permitirán la obtención de resultados.

Tabla 5*Indicadores e instrumentos - pH.*

Indicador	Instrumento	Método
Alcalino – neutro – ácido	Phi metro	Medición colorimétrica de pH

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Phi metro utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

La medición colorimétrica de pH con tira indicadora consiste en sumergir una tira impregnada con indicadores químicos en la muestra; la tira cambia de color según el pH, y se compara con una escala para determinarlo.

Tabla 6*Indicadores e instrumentos – DBO*

Indicador	Instrumento	Método
Cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos	Sensor DBO	Medición in situ

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Sensor DBO utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

La medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) in situ se realiza utilizando sensores portátiles o analizadores en línea que miden el oxígeno disuelto directamente en el cuerpo de agua o en el proceso de tratamiento.

Tabla 7*Indicadores e instrumentos – Temperatura*

Indicador¹	Instrumento²	Método³
Cantidad de coliformes totales	Termómetro	Medición in situ

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Termómetro utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

Medición in situ de temperatura se refiere a la acción de tomar la lectura de la temperatura del agua directamente en el lugar donde se encuentra la fuente o el cuerpo de agua, en el momento de la evaluación.

Tabla 8*Indicadores e instrumentos - Aceites y Grasas*

Indicador¹	Instrumento²	Método³
Falta de transparencia, debido a la presencia de PM.	Erlenmeyer	SMEWW 5520 E

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Erlenmeyer utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

El Método 5520E Soxhlet Extraction Method de los "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" es una técnica para separar y concentrar aceites y grasas no polares de muestras de agua y residuos mediante extracción con solventes en un aparato Soxhlet.

Tabla 9

Indicadores e instrumentos - Oxígeno Disuelto

Indicador	Instrumento	Método
Calidad de muestra de agua	Incubadora	NMX-AA-028-SCFI-2001

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Incubadora utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

El método NMX-AA-028-SCFI-2001 implica tomar una muestra de agua y, si es necesario, diluirla con agua de dilución aireada y saturada de oxígeno. A algunas muestras se les añade un inóculo microbiano (si la muestra carece de microorganismos o es tóxica).

Tabla 10

Indicadores e instrumentos - Sólidos totales.

Indicador	Instrumento	Método
Calidad de muestra de agua	Horno de laboratorio	AOAC Official Method 920.193

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Horno de laboratorio utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

El método implica tomar un volumen conocido de una muestra de agua bien mezclada y evaporarla hasta sequedad en un crisol de platino previamente pesado a 100°C.

Tabla 11

Metales pesados

Indicador	Instrumento	Método
Metales pesados	Espectrómetro	EPA Method 200.7 Rev. 4.4 (1994)

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Espectrómetro utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

Este método utiliza la espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

Tabla 12*Indicadores e instrumentos - Capacidad de fitorremediación*

Indicador	Instrumento	Método
Capacidad de remoción de parámetros fisicoquímicos.	Phi metro Multiparámetro Espectrofotómetro	Cuantificación del estado del agua mediante diversos instrumentos

Nota. La tabla recopila información sobre la herramienta Phi metro Multiparámetro Espectrofotómetro utilizada para recolectar datos relacionados al indicador.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

A continuación, se detallará cómo se ejecutaron los tres objetivos primordiales de la presente investigación. Además, se mostrarán de forma paralela los resultados obtenidos de cada uno.

4.1.1. Análisis de calidad de las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya

Las diferentes muestras se recolectaron en tres meses distintos, considerando la temporada húmeda: septiembre (16/09/24), octubre (16/10/24) y noviembre (15/11/24). Para garantizar un monitoreo adecuado y conocer la condición del agua, se utilizó el mismo punto de monitoreo, la bocatoma de Umalso, que define la delimitación de la faja marginal del canal Pasto Grande. Esta agua es utilizada para riego en el distrito de Cuchumbaya, en el departamento de Moquegua. Cabe mencionar que esta agua recolectada pasara posteriormente por el proceso de fitorremediación y biofiltración (tren de tratamiento). A continuación, se presentan cada una de las tres muestras recolectadas.

Tabla 13

Fecha y cantidad de levantamiento de muestras

Muestra	Fecha de levantamiento	Cantidad
Muestra agua superficial A	16/09/24	30 litros
Muestra agua superficial B	16/10/24	30 litros
Muestra agua superficial C	15/11/24	30 litros

Nota. La tabla muestra la consistencia temporal de las muestras iniciales de cada mes de la temporada húmeda.

La cantidad de agua recolectada sirvió para dos propósitos: primero, se utilizaron dos litros de agua para enviarlos al laboratorio, con el fin de obtener los resultados iniciales del análisis de agua de riego. Segundo, el resto de la muestra se empleó en la experimentación, donde pasó por el tren de tratamiento, compuesto por la etapa de fitorremediación y la etapa de biofiltro. Para esta experimentación, se utilizaron 20 litros, dejando un sobrante de 8 litros para afrontar cualquier problema que pudiera presentarse durante el traslado o el procedimiento experimental.

De acuerdo a lo planteado para la toma de muestras, se dio de la siguiente manera:

4.1.1.1. Establecimiento de la red de puntos de monitoreo

Se realizó la identificación del punto de monitoreo siendo la bocatoma de Umalso con coordenadas (-16.8407394, -70.5505502) donde se almacena agua para riego para el distrito de Cuchumbaya.

Figura 5
Punto de monitoreo



Nota. La figura muestra el lugar exacto donde se realizó las tomas de muestras iniciales (bocatoma de Umalso). Elaboración propia a partir del *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos ANA (2016)*.

4.1.1.2. Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección

Durante la ejecución del monitoreo, se prepararon los materiales con antelación, teniendo en cuenta 4 recipientes de medio litro para cada uno de los parámetros a evaluar (DBO, sólidos totales, aceites y grasas y metales pesados), también se alisto cinta pH y para un mejor transporte de los recipientes se adquirió un cooler. Asimismo, con el equipo (medidor de oxígeno disuelto y temperatura) para medir el oxígeno disuelto junto con la temperatura e indumentaria de protección adecuada (casco, mandil, zapatos de campo).

Figura 6
Materiales y equipo



Nota. La figura muestra los materiales y equipos que se utilizaron en la toma de muestras iniciales. Elaboración propia a partir del *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos ANA (2016)*.

4.1.1.3. Reconocimiento del entorno

Primero se realizó el reconocimiento de rasgos atípicos como la coloración irregular del agua de color verdoso u oxidado, con partículas en suspensión, también se observó la ausencia de especies acuáticas, la vegetación semiárida que rodea el río. Lo que permite identificar factores que podrían influir en la recolección de datos y en la interpretación de los resultados.

Figura 7
Reconocimiento de entorno



Nota. La figura muestra una inspección preliminar del área de estudio. Elaboración propia a partir del ANA (2016).

4.1.1.4. Rotulado y etiquetado

Para este paso se rotulo con etiquetas de cinta masking tape 2 x 25 Yd conteniendo datos como el nombre del solicitante, código, tipo de cuerpo de agua, fecha y hora, donde se etiqueto de la siguiente manera:

Tabla 14
Rotulado y etiquetado de muestras

Rotulado	Muestra de río	Fecha y hora
MA	DBO	16/09/2024 8:30am
MB	Sólidos totales	16/09/2024 8:30am
MC	Aceites y grasas	16/09/2024 8:30am
MD	Metales pesados	16/09/2024 8:30am

Nota. La tabla muestra información de los envases considerando su rotulado y fecha. Elaboración propia a partir del ANA (2016).

Figura 8

Rotulado y etiquetado de envases



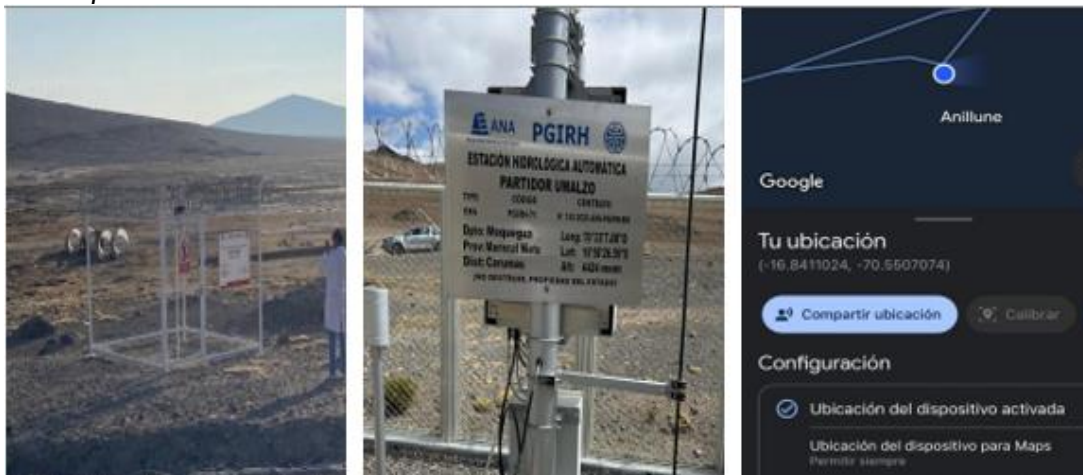
Nota. La figura muestra el rotulado de los envases.

4.1.1.5. Georreferenciación del punto del monitoreo

Una vez localizados en el lugar de monitoreo, con la ayuda de la información encontrada de la estación meteorológica cerca de la zona y con la utilización de GPS se pudo establecer las coordenadas exactas del lugar.

Figura 9

Georreferenciación de la zona – Umalso

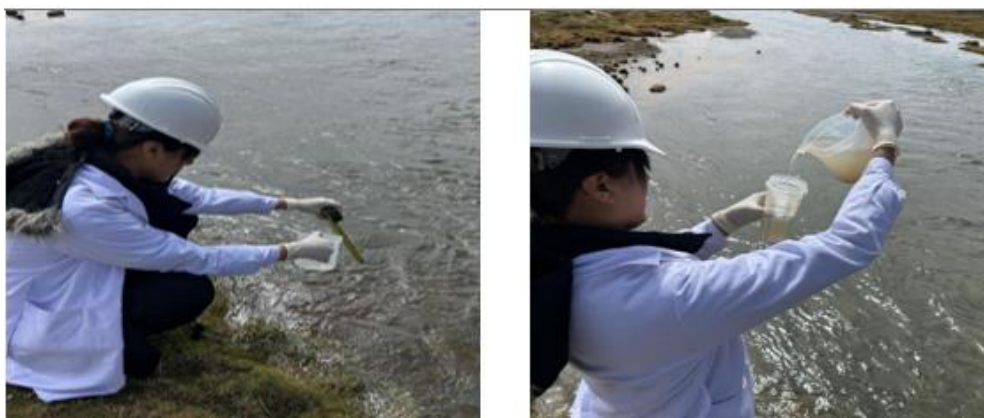


Nota. La figura muestra las coordenadas del punto de monitoreo a partir de datos de la estación meteorológica de Umalso.

4.1.1.6. Toma de muestra

Se aseguró que los equipos de seguridad y los frascos estaban preparados antes de comenzar la recolección de muestras. Luego se estableció un lugar de acceso sencillo y corriente uniforme. Se insertó un recipiente en un brazo, se ajustó y se extrajo la tapa sin que la superficie interna del recipiente se tocara con él. En otro brazo se encontrará una jarrita limpia de litro en la que se sumergió hasta que se llenó parcialmente, luego se procede a enjuagar, expulsando el agua de la captación. Finalmente, se introdujo el jarro a una profundidad de 20 o 30 cm en la captación y se recolectaron las muestras.

Figura 10
Toma de muestras



Nota. La figura muestra el momento preciso de la toma de muestra. Elaboración propia a partir del *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos ANA (2016)*.

En el caso para la medición del pH se sumergió la tira reactiva en la jarra con agua por unos 10 segundos y se esperó a que secará

Figura 11
Medición del pH



Nota. La figura muestra la medición del pH sumergido en agua.

Se empleó el equipo (medidor de temperatura y oxígeno disuelto) para medir la temperatura y el oxígeno disuelto, donde se sumergió la parte del sensor a la jarra de agua donde se esperó unos 10 segundos para saber la temperatura y cantidad de oxígeno disuelto.

Figura 12

Medición de oxígeno disuelto y temperatura



Nota. La figura muestra un medidor portátil de oxígeno disuelto y temperatura sumergido en el agua a tratar.

4.1.1.7. Preservación

Una vez recolectadas las muestras de agua, se llevó a cabo de inmediato a añadir preservante para los parámetros de metales pesados necesarios en el anexo F (conservación y preservación de la muestra de agua según el parámetro evaluado). Luego se procedió a homogenizar y sellar los recipientes.

Figura 13

Preservación de muestras



Nota. La figura muestra la preservación y sellado correcto de las muestras de agua a examinar

4.1.1.8. Transporte de muestra

El transporte de muestra se realizó por medio terrestre, se colocaron en un cooler para su protección, debido que el viaje supera las 6 horas hasta llegar al laboratorio.

Figura 14

Transporte de muestras



Nota. La figura muestra la incorporación de las muestras en un recipiente de poliestireno para su preservación durante el transporte.

Se entregó las muestras a laboratorio, donde se verificó el rotulado y sellado correcto, se registró en una solicitud de ingreso, para que el encargado del laboratorio registre el tipo de muestra, datos de quien solicita, fecha de ingreso y fecha de entrega, la entrega de resultados se dio después de 5 días hábiles.

Figura 15

Ingreso de muestras a laboratorio



Nota. La imagen muestra el área de recepción de muestras del laboratorio (Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad UCSM), donde se llevó a cabo el primer paso crítico en el análisis de muestras.

4.1.1.9. Resultados

Se mostrarán a continuación los resultados logrados para los parámetros propuestos, el laboratorio presentó 30 metales pesados, sin embargo, solo se presentarán los valores de metales pesados indicados en el ECA-3.

Tabla 15

Resultados de muestra de aguas residuales de la temporada húmeda (Setiembre, octubre y noviembre), bocatoma Umalso

Parámetro	ECA – 3	MAS 1		MAS 2		MAS 3	
		R	C	R	C	R	C
DBO	15	15.45	0.45	16.01	1.01	15.5	0.5
Sólidos Totales	50	150	147	333.5	330.5	26	23
Temperatura	3	8	0.5	8.5	0	9.5	1
pH	6,5 – 8,5	2.8	-4	3.6	-4	2.8	-4
Oxígeno disuelto	≥4	7.62	2.62	4.75	-0.25	5.6	0.6
Aceites y grasas	5	<0.01	-4.99	21	16	28	23
As	0.1	0.129	0.029	0.028	-0.072	0.141	0.041
B	1	0.03	-0.97	0.005	-0.995	0.098	-0.902
Ba	0.7	0.81	0.11	0.005	-0.695	0.011	-0.689
Be	0.1	0.12	0.02	0.007	-0.093	0.009	-0.091
Cd	0.01	0.02	0.01	0.043	0.033	0.019	0.009
Cr	0.1	0.16	0.06	0.044	-0.056	0.15	0.05
Cu	0.2	0.24	0.04	0.03	-0.17	0.047	-0.153
Li	2.5	0.007	-2.493	0.1	-2.4	0.136	-2.364
Mg	250	2.793	-247.207	63.74	-186.26	2.88	-247.12
Mn	0.2	0.196	-0.004	0.107	-0.093	0.013	-0.187
Pb	0.05	0.169	0.119	0.06	0.01	0.01	-0.04
Se	0.02	0.034	0.014	0.004	-0.016	0.01	-0.01
Zn	2	2.3	0.3	0.021	-1.979	0.014	-1.986

Leyenda

MAS 1: Muestra de agua superficial de río del primer mes (setiembre).

MAS 2: Muestra de agua superficial de río del segundo mes (octubre).

MAS 3: Muestra de agua superficial de río del tercer mes (noviembre).

R: Resultados de cada mes del agua superficial del río

C: Diferencial entre el resultado de muestra y el ECA-3

Nota. Elaboración propia a partir de datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM.

En el presente análisis de la tabla (16) los sólidos totales presentan un valor de desviación que llegar a ser considerable en MAS 2 (+330.5), lo que evidencia alta contaminación por partículas. Los aceites y grasas exceden notablemente el estándar en MAS 3 (+23 mg/L), reflejando una posible fuente directa de contaminación industrial. El fósforo muestra excesos moderados (MAS 1: +0.045, MAS 2: +0.074 y MAS 3: + 0.153), lo que podría inducir efectos de eutrofización a largo plazo, por otro lado, podemos mencionar que el magnesio está dentro de los límites establecidos (MAS 1: -247.207, MAS 2: -186.26, MAS 3: -247.12) y no es un punto a tomar en cuenta.

4.1.2. Diseño y armado del tren de tratamiento

Para el diseño del tren de tratamiento, inicialmente se implementó el sistema de fitorremediación, el cual se desarrolló de la siguiente manera:

- Plantación de 20 especies Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*)

Se tomó como referencia las investigaciones de Morales et al. (2019) y Nuñez (2021). A partir de estas, se concluyó la propuesta de utilizar un promedio de 20 especímenes de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), las cuales fueron adquiridas en un vivero cercano.

- Acondicionamiento de la especie Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*)

Se colocó las especies en envases de plástico de 20 litros, siguiendo la metodología de Huamani et al. (2021) para que las especies interactúen y se adecuen con el agua de puquio para su aclimatación durante 5 días.

Figura 16

*Adquisición y Acondicionamiento de la especie Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)*



Nota. La figura muestra el proceso de adquisición y adaptación de especies *Eichhornia crassipes*.

Concluido este periodo se procedió a seleccionar 15 especies que tuvieron las mejores condiciones, donde se tuvo como indicadores el color de hojas y crecimiento.

Figura 17

*Selección de especies Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)*



Nota. La figura muestra la selección de especies con alta adaptabilidad a condiciones específicas.

- Rotulación de las 15 plantas de la especie Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*)
Se etiquetaron las 15 plantas para facilitar su identificación y control individual, permitiendo monitorear cualquier cambio que ocurriera durante la ejecución del sistema. Para ello, se les asignó un número.

Figura 18

*Rotulación de las 15 especie Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) seleccionadas*



Nota. La figura muestra la rotulación y etiquetado de las especies de *Eichhornia crassipes* seleccionadas.

- Pesado y selección de carbón activado, piedra pómez, cascarilla de arroz, arena fina y gruesa.
Dentro del tren de tratamiento está el sistema de biofiltro, para el cual se requiere de rellenos de capas filtrantes, por tal motivo se realizó la medición de las cantidades de cada capa filtrante considerando la densidad de cada una de ellos, cuyas cantidades específicas se encuentran en el anexo B.

Figura 19

Calibración de capas filtrantes



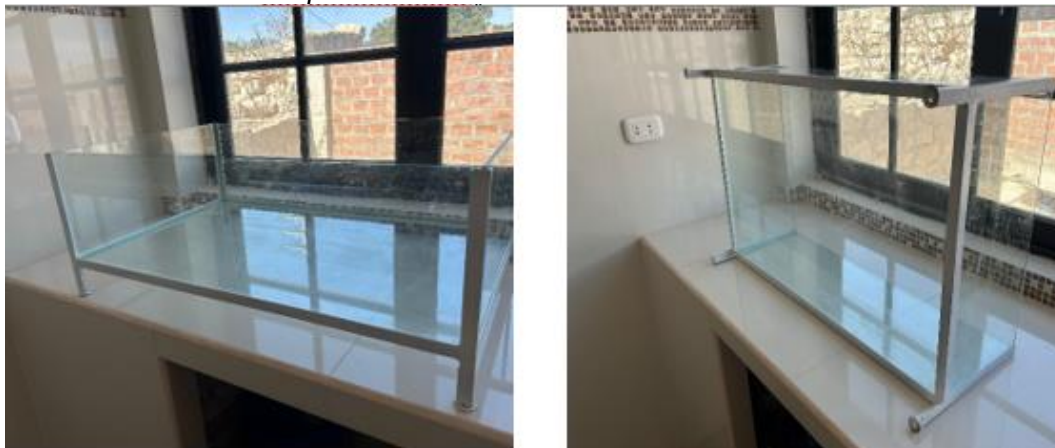
Nota. La figura muestra se muestra el pesaje de las capas filtrantes.

- Armado del tren de tratamiento

Para el armado del tren de tratamiento, primero se inició con la construcción del sistema fitorremediador donde se empleó un contenedor de vidrio de 10 litros de capacidad de agua (Anexo C) con las dimensiones, altura de 10 cm, largo 80 cm y ancho 50 cm dimensiones calculadas en el anexo (Anexo C). Asimismo se le adiciono un soporte de metal para evitar cualquier fractura del contenedor de vidrio.

Figura 20

Armado de contenedor fitorremediador



Nota. La figura muestra la estructura del fitorremediador, diseñada conforme a las dimensiones de las especies seleccionadas, basado a las directrices de REDEXOS (2025).

Posteriormente se pasó a colocar en el contenedor de vidrio las 15 especies de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) seleccionadas y debidamente rotuladas, para esta etapa de fitorremediación se consideró las investigaciones de Nuñez (2021) que consideraba un tiempo de 22 y 40 días de fitorremediación, Morales et al. (2019) tomo un tiempo de 8 semanas, Ambrocio & Quiroz (2021) experimentaron en un periodo de 15 días. Al no ver una cifra específica de tiempo de fitorremediación eficaz, se procedió a considerar una media de 2 semanas y medias o 19 días para la ejecución del sistema fitorremediador.

Figura 21

*Fitorremediación de las especies Jacinto de Agua (**Eichhornia crassipes**)*

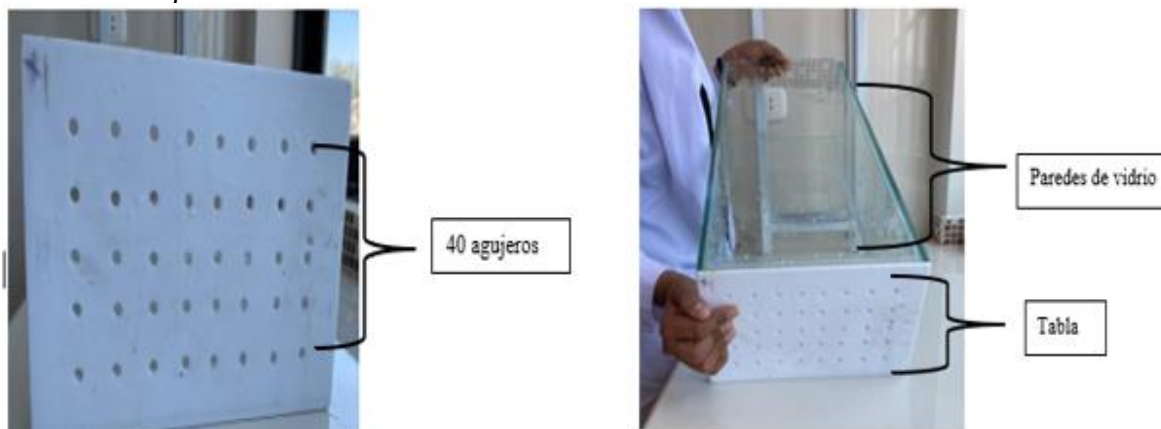


Nota. La figura muestra la fitorremediación utilizando **Eichhornia crassipes**, basado en información recopilada de (Nuñez, 2021), (Morales et al., 2019) y (Ambrocio & Quiroz, 2021).

Para nuestra segunda etapa del tren de tratamiento tenemos el armado del sistema de biofiltro con material de vidrio con altura de 65.35 cm, largo 25.14 cm y ancho 16.26 cm, medidas especificadas en el Anexo H teniendo como forma un rectángulo, en el cual también se tuvo que adicionar en la parte inferior una tabla de plástico de color blanco para lo cual se consideró una tabla de picar a la cual se realizaron 40 agujeros y así el agua pudiera llegar al final del proceso de biofiltro de manera conjunta.

Figura 22

Armado de biofiltro



Nota. La figura muestra el armado del sistema de biofiltro.

Posteriormente se realizó un andamio de metal de color blanco con las medidas (66 cm de alto, 26 cm largo y 17 cm ancho) para un mayor soporte de la estructura y para que mantenga un mejor equilibrio del biofiltro, donde luego se procedió a colocarla cuidadosamente tanto el andamio y la estructura boca abajo.

Figura 23

Soporte de andamio para estructura de biofiltro

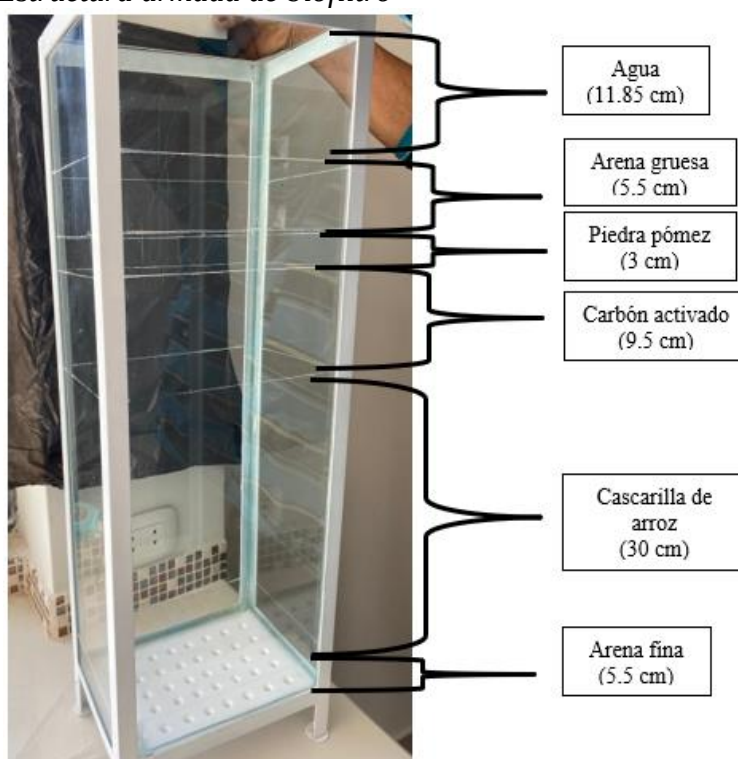


Nota. La figura muestra la colocación del andamio a la estructura de biofiltro.

Luego de tener la estructura armada se procedió a marcar con un lápiz blanco las alturas de las capas filtrantes, medidas especificadas en el Anexo B

Figura 24

Estructura armada de biofiltro



Nota. La figura muestra la estructura en su totalidad basada a las dimensiones y especificaciones propuestas por (García & Saldarriaga, 2020), (Jiménez & Villegas, 2005), (Sandoval & Yupanqui, 2023), (Aaron, 2022), (Prieto, 2019) y (Jácome & Escobar, 2022).

Seguidamente, para las capas filtrantes se utilizó arena fina, carbón activado, cascarilla de arroz, piedra pómez y arena gruesa cantidades especificadas en el anexo I, donde antes de

utilizar se procedió a lavar la arena fina, arena gruesa, piedra pómez y la cascarilla de arroz con el fin de que se retirara cualquier impureza encontrada y tener mejor resultado al utilizarlos.

Figura 25

Capaz filtrantes limpias

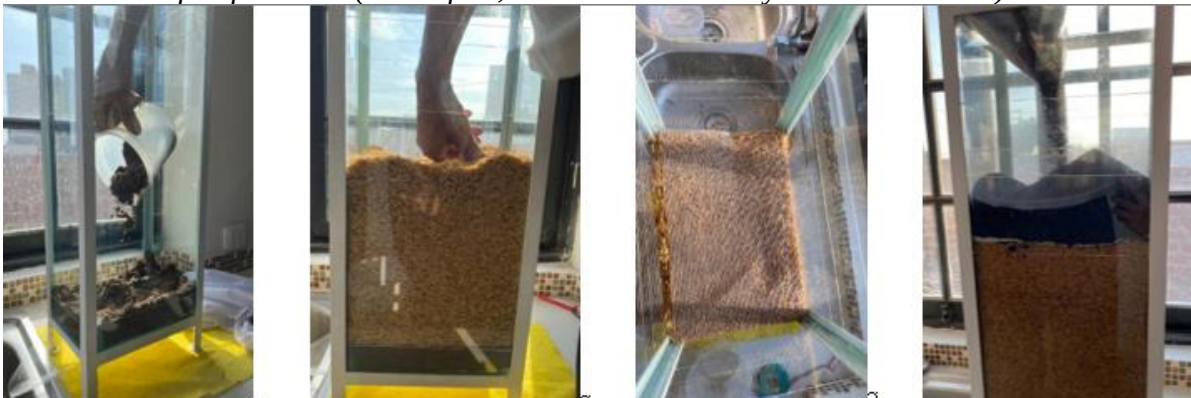


Nota. La figura muestra las capaz filtrantes de arena fina, arena gruesa, piedra pómez y la cascarilla de arroz, debidamente lavadas.

Luego se procedió a ser el llenado de capaz en la estructura cuidadosamente, donde primero se procedió a llenar con arena fina, posteriormente la cascarilla de arroz donde se tuvo que compactar con la mano, debido que la cascarilla es esponjosa, seguidamente se pasó a llenar con carbón activado donde de igual forma se compacto, cabe mencionar que entre capaz se colocó una malla para asegurar las divisiones de las capaz.

Figura 26

Llenado de capaz filtrantes (arena fina, cascarilla de arroz y carbón activado)



Nota. La figura muestra el proceso de llenado de la estructura, incorporando secuencialmente los materiales filtrantes.

Luego del compactado del carbón activado se procedió a llenar con piedra pómez para luego finalmente llenar con arena gruesa que vendría hacer la última capa en llenar.

Figura 27

Llenado de capaz filtrantes (piedra pómez y arena gruesa)



Nota. La figura muestra la compactación de las capaz filtrantes.

Como paso final del armado y antes de poder utilizar el biofiltro se tuvo que echar agua por una semana para que el biofiltro elimine impurezas como el color que esta pudiera tener, para cuando se pase el agua a tratar obtengamos un agua limpia sin color.

Figura 28

Eliminación de impurezas



Nota. La figura muestra la saturación inicial del biofiltro con agua para eliminar impurezas.

Cabe recalcar que todo este procedimiento mencionado se repartió por cada mes (setiembre, octubre y noviembre) abarcando así el periodo húmedo (SENAMHI, 2016) para generar la curva de calibración.

Es importante señalar que para el sistema evaluado con una capacidad de 10 litros, se llevó a cabo una inversión inicial de 680 soles, como se especifica en el Anexo Z (donde se detallan los costos unitarios de materiales y otros costos relacionados).

Sin embargo, es importan mencionar que si se decide aumentar la capacidad productiva (por ejemplo, incrementando el sistema a 50 o 100 litros), la inversión unitaria podría disminuir considerablemente debido a factores como:

- **Descuentos por compra al mayoreo** en insumos clave (ej.: materiales, reactivos).
- **Optimización de costos fijos** (mano de obra, transporte, instalación).
- **Eficiencia en procesos**, como menor tiempo de fabricación por unidad.

4.1.3. Eficiencia del tren de tratamiento de fitorremediación y biofiltro

4.1.3.1. Recolección de agua fitorremediada para el sistema de biofiltro

Después de las 2 semanas y medias o 19 días del mes de setiembre, octubre y noviembre (1 muestra por mes) se pasó a recolectar la muestra de agua para medir la eficiencia de la fitorremediación y así conocer cuanto influyo en la eliminación de agentes contaminantes, el cual se utilizó una jarra y cuatro recipientes de plástico de medio litro para poder sacar las muestras de agua para los parámetros (DBO, sólidos totales, metales pesados, aceites y grasas) el cual se empleó una cantidad de 2 litros de agua (medio litro por parámetro), para luego ser rotuladas y ser enviadas al laboratorio.

Figura 29

Recolección de agua fitorremediada



Nota. La figura muestra la recolección del agua tratada mediante fitorremediación.

También se procedió a medir el oxígeno disuelto, temperatura y pH.

Figura 30

Medición de oxígeno disuelto y temperatura de agua fitorremediada de cada mes



Nota. La figura muestra la medición de OD y temperatura de la fitorremediación.

Figura 31

Medición de pH de agua fitorremediada de cada mes



Nota. La figura muestra medición del pH en agua tratada por fitorremediación.

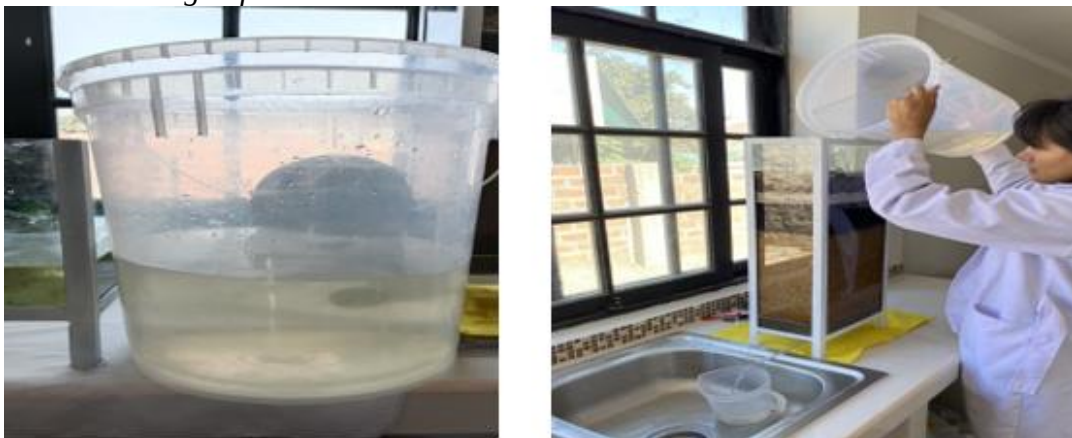
Con los resultados del laboratorio de los tres meses (setiembre, octubre y noviembre) se podrá realizar la curva de calibración

4.1.3.2. Identificación del impacto del tren de tratamiento

Para saber la eficiencia que tuvo el tren de tratamiento en cada mes (setiembre, octubre y noviembre) se recolecto la muestra de agua final. Para esto se utilizó el agua fitorremediada restante que vendría hacer 8 litros. La cual dicha agua se colocó primero en un balde de plastico y luego se procedió a verter el agua al sistema de biofiltro.

Figura 32

Filtración de agua fitorremediada



Nota. La figura muestra el agua tratada por fitorremediación ingresando al sistema de biofiltro.

Luego de que toda el agua este depositada en el sistema de biofiltro, se tuvo que esperar que el agua transcurra tomando un tiempo de 15 minutos con 35 segundos (tiempo en transcurrir toda el agua de 8 litros) para que pueda pasar por todas las capas filtrantes.

Figura 33

Tiempo de filtración

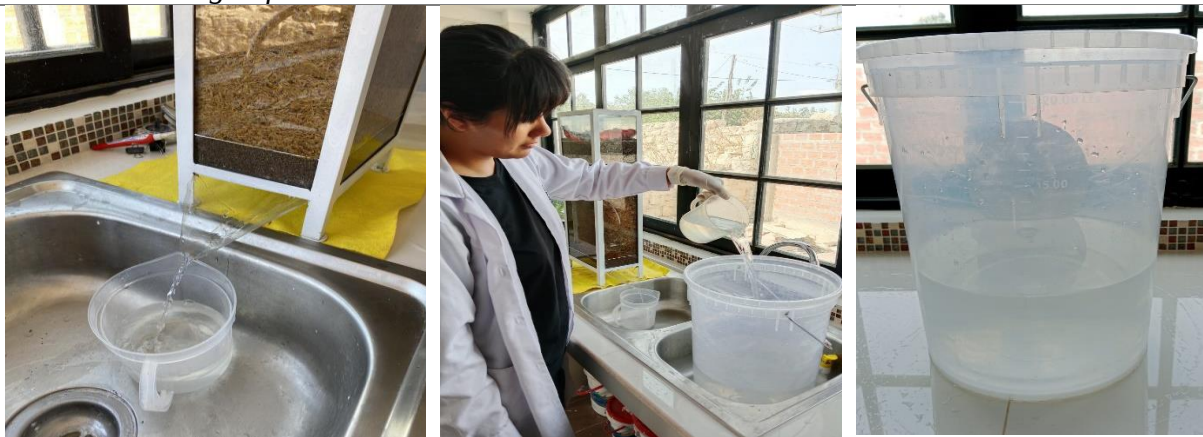


Nota. La figura ilustra el tiempo de operación del sistema de biofiltro.

Mientras iba saliendo el agua filtrada se pasó a colocar en un recipiente de plástico y así saber cuánto es la cantidad el agua resultante (5litros con 70 ml), para luego poder recolectar la muestra de agua final, utilizando una cantidad de 2 litros para los parámetros (DBO, sólidos totales, metales pesados, aceites y grasas) medio litro por muestra.

Figura 34

Recolección de agua filtrada



Nota. La figura se muestra el proceso de recolección del agua filtrada.

Asimismo, se pasó a medir el oxígeno disuelto, temperatura y pH con el agua restante.

Figura 35

Medición de oxígeno disuelto y temperatura de agua filtrada de cada mes



Nota. La figura se muestra el monitoreo mensual de oxígeno disuelto y temperatura en el agua filtrada.

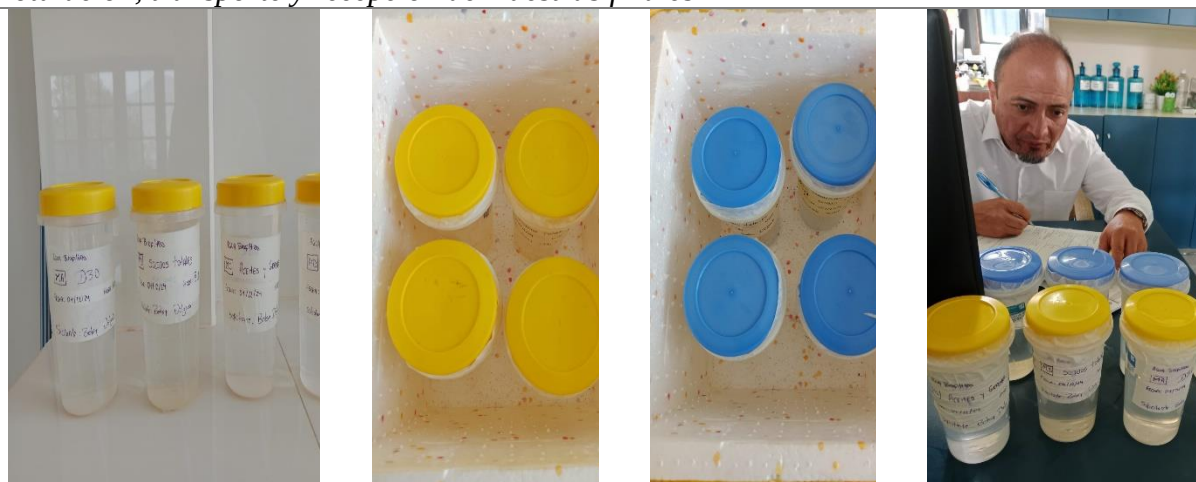
Figura 36

Medición de pH de agua filtrada de cada mes



Nota. La figura se muestra el monitoreo mensual de pH en el agua filtrada.

Finalmente se rotulo las muestras y se envió a laboratorio para ser examinadas y poder saber el porcentaje de remoción del tren de tratamiento mediante el sistema de fitorremediación y biofiltro.

Figura 37*Rotulación, transporte y recepción de muestras finales*

Nota. La figura se muestra etiquetado, traslado y recepción de muestras finales en el laboratorio.

Comparación de muestras iniciales y finales de la eficiencia del sistema de fitorremediación y biofiltro

Para la comparación de muestras, se tomó los datos acopiados al principio y los hallazgos finales que se obtuvo en cuanto al grado de remoción brindados por el laboratorio siguiendo los pasos necesarios.

4.1.3.3. Muestra de agua superficial A

Tabla 16*Resultados del primer muestreo del tren de tratamiento con ECA-3*

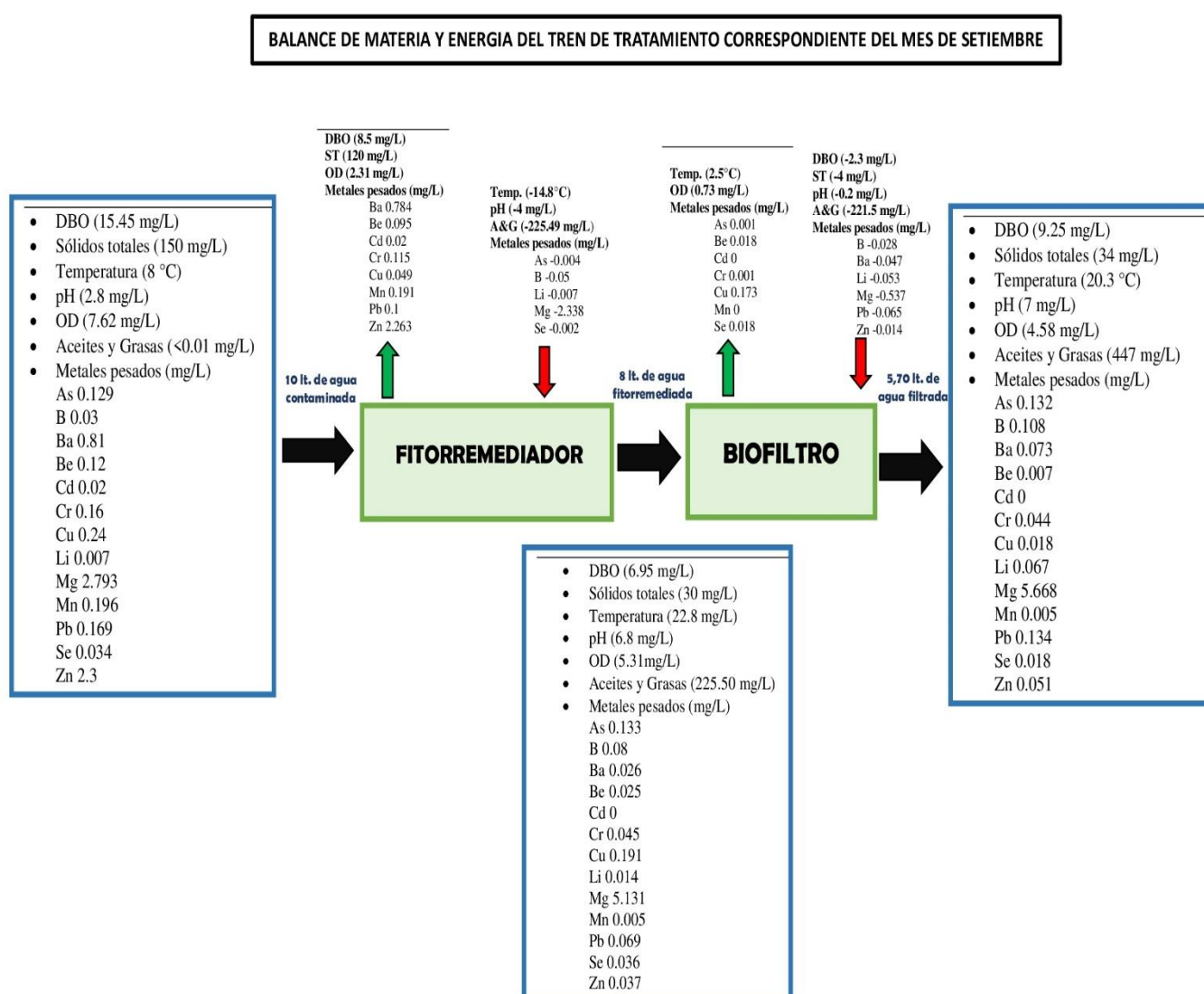
Parámetro	Fitorremediador (mg/L)	Biofiltro (mg/L)	ECA-3 (mg/L)
Sólidos totales	30	34	60
Temperatura	22.8	20.3	3
pH	6,8	7	6,5 – 8,5
Oxígeno disuelto	5.31	4.58	≥4
Aceites y Grasas	225,50	447	5
Dbo	6.95	9.25	15
As	0.133	0.132	0.1
B	0.08	0.108	1
Ba	0.026	0.073	0.7
Be	0.025	0.007	0.1
Cd	0	0	0.01
Cr	0.045	0.044	0.1
Cu	0.191	0.018	0.2
Li	0.014	0.067	2.5
Mg	5.131	5.668	250
Mn	0.005	0.005	0.2
Pb	0.069	0.134	0.05
Se	0.036	0.018	0.02
Zn	0.037	0.051	2

Nota. Tabla elaborada en función a los datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM & los estándares de calidad Eca3 (MINAM, 2017).

Tras realizar el análisis posterior a los tratamientos de fitorremediación y el uso del biofiltro de la muestra de agua superficial A, se llega a observar que existen reducciones en cuanto a sólidos totales y DBO están por debajo del límite, indicando buena reducción. Por otro lado debemos mencionar que los valores de aceites y grasas superan ampliamente el ECA-3. La temperatura es significativamente mayor que el límite. El pH se encuentra dentro del rango aceptable. En cuanto a metales pesados como As y Pb exceden por poco el ECA-3 en ambos tratamiento, Cu en fitorremediador no supera el límite, Be y Se en biofiltro están por debajo del ECA-3. En conclusión, ambos tratamientos requieren realizar mejoras especialmente para aceites y grasas y algunos metales, para cumplir consistentemente con los estándares ECA-3.

Esquema 1

Balance de materia y energía del primer muestreo del tren de tratamiento



Nota. El esquema muestra los datos recopilados de entrada y salida de materiales y metales pesados de se obtuvo durante la ejecución del proyecto.

4.1.3.4. Muestra de agua superficial B

Tabla 17

Resultados del segundo muestreo del tren de tratamiento con ECA-3

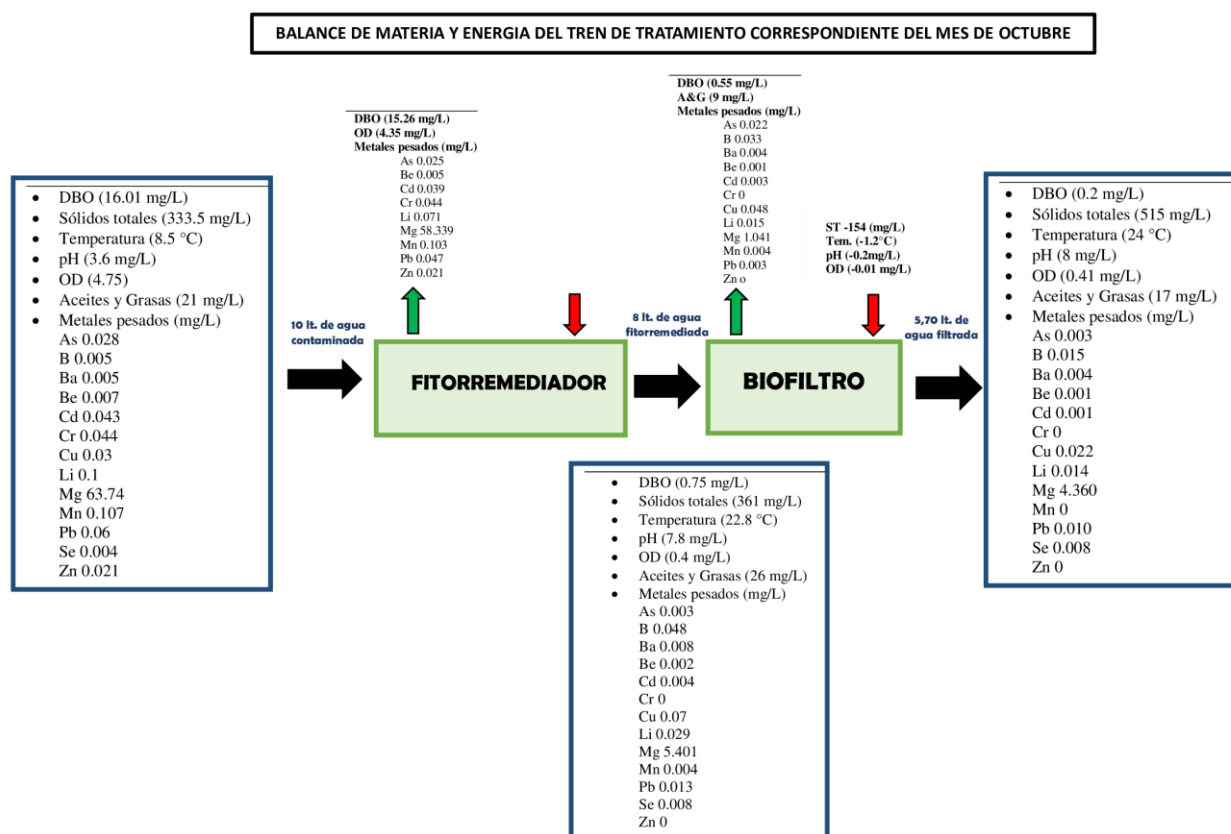
Parámetro	Fitorremediador (mg/L)	Biofiltro (mg/L)	ECA-3 (mg/L)
Sólidos totales	361	515	60
Temperatura	22.8	24	3
pH	7,8	8	6,5 – 8,5
Oxígeno disuelto	0.4	0.41	≥4
Aceites y Grasas	26	17	5
Dbó	0.75	0.2	15
As	0.003	0.003	0.1
B	0.048	0.015	1
Ba	0.008	0.004	0.7
Be	0.002	0.001	0.1
Cd	0.004	0.001	0.01
Cr	0	0	0.1
Cu	0.07	0.022	0.2
Li	0.029	0.014	2.5
Mg	5.401	4,360	250
Mn	0.004	0	0.2
Pb	0.013	0.010	0.05
Se	0.008	0.008	0.02
Zn	0	0	2

Nota. Tabla elaborada en función a los datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM & los estándares de calidad Eca3 (MINAM, 2017).

En relación a la muestra de agua superficial B, en ambos tratamientos tanto como en el fitorremediado y el biofiltro se muestran valores muy superiores con respecto a sólidos totales, temperatura y aceites y grasas, caso contrario con el oxígeno disuelto que presenta un valor mínimo en comparación al valor ECA-3, lo mismo se puede mencionar el DBO se encuentra dentro del límite ECA-3 y el pH se mantiene en el rango aceptable. La mayoría de los metales analizados (As, B, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, Se, Zn). En conclusión se muestra eficiencia en cuantos a metales pesados y DBO, sin embargo se requieren mejoras para abordar los sólidos totales, temperatura y aceites y grasas.

Esquema 2

Balance de materia y energía del segundo muestreo del tren de tratamiento



Nota. El esquema muestra los datos recopilados de entrada y salida de materiales y metales pesados de se obtuvo durante la ejecución del proyecto.

4.1.3.5. Muestra de agua superficial C

Tabla 18

Resultados del tercer muestreo del tren de tratamiento con ECA-3

Parámetro	Fitorremediador (mg/L)	Biofiltro (mg/L)	ECA-3 (mg/L)
Sólidos totales	315	395.5	60
Temperatura	24.2	24.5	3
pH	7,5	7,8	6,5 – 8,5
Oxígeno disuelto	0.44	0.58	≥4
Aceites y Grasas	49	49	5
Dbo	12.4	18.5	15
As	0.004	0.006	0.1
B	0.013	0.012	1
Ba	0.003	0.004	0.7
Be	0.002	0.001	0.1
Cd	0	0	0.01
Cr	0.004	0.002	0.1
Cu	0.031	0.044	0.2
Li	0.018	0.019	2.5
Mg	7.403	7.114	250
Mn	0.006	0.001	0.2

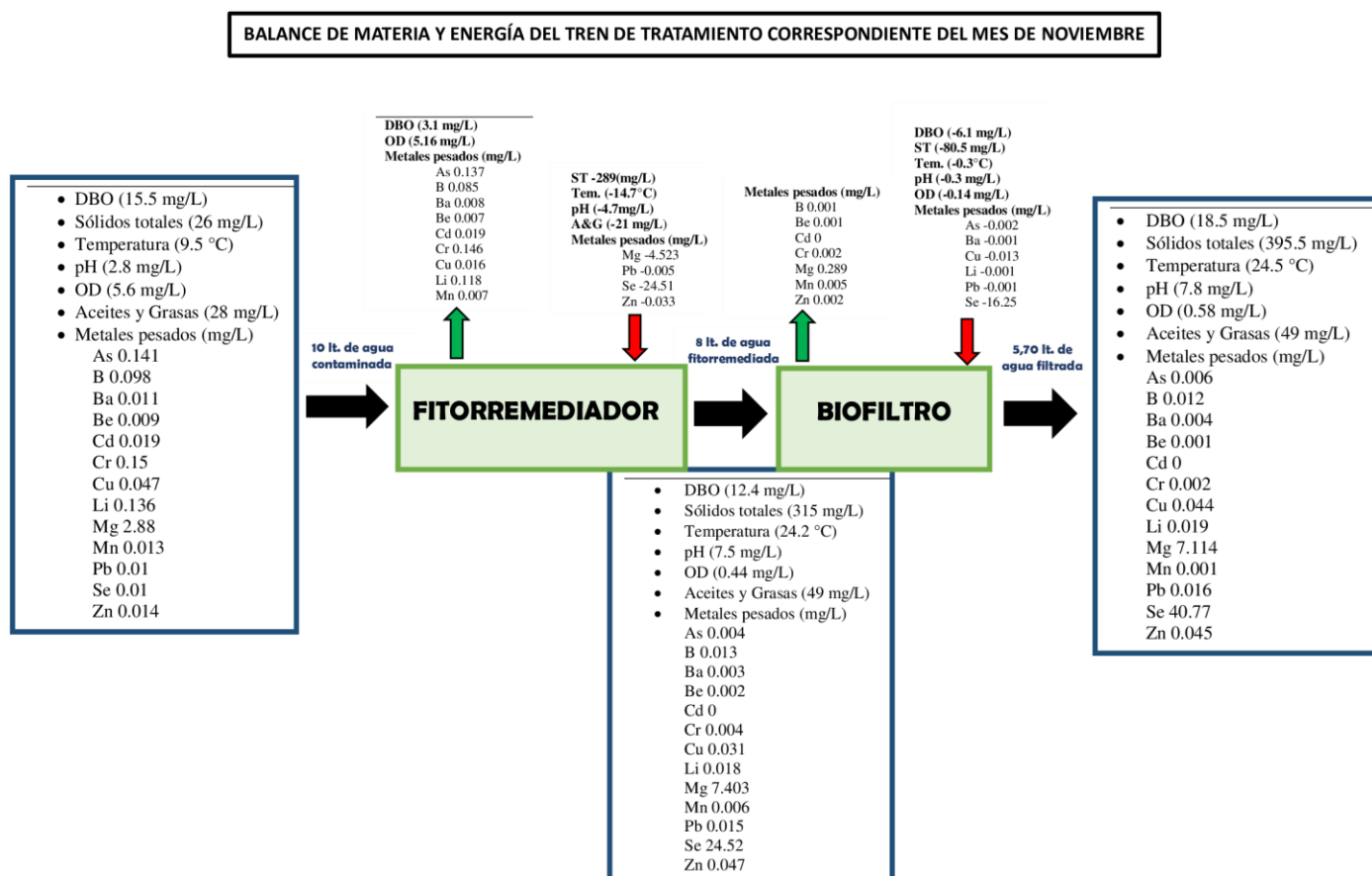
Pb	0.015	0.016	0.05
Se	24.52	40.77	0.02
Zn	0.047	0.045	2

Nota. Tabla elaborada en función a los datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM & los estándares de calidad Eca3 (MINAM, 2017).

En la presente tabla se evidencia un punto relevante en ambas columnas el cual es que los metales pesados Ag, B, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, y Zn tiene un valor muy por debajo de los valores establecidos y permitidos por la ECA-3, el DBO tanto en el fitorremediador como en el biofiltro llega a tener un valor óptimo lo que indica un buen desempeño, un punto a tener en cuenta que los valores de sólidos totales, temperatura y aceites y grasas exceden los límites del ECA-3.

Esquema 3

Balance de materia y energía del tercer muestreo del tren de tratamiento



Nota. El esquema muestra los datos recopilados de entrada y salida de materiales y metales pesados de se obtuvo durante la ejecución del proyecto.

4.1.3.6. *Consistencia de Resultados*

Es pertinente analizar los resultados obtenidos en cada una de las etapas del proceso fitorremediación, biofiltro y el tren de tratamiento completo con el fin de determinar su nivel de similitud y consistencia. Este análisis permitirá evaluar si existe una disminución o aumento en los parámetros considerados inicialmente: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos totales, temperatura, pH, oxígeno disuelto, aceites y grasas, así como los metales pesados. El objetivo principal es identificar cuál de estos contaminantes presenta una mayor reducción a lo largo del tratamiento.

4.1.3.6.1. Fitorremediador

En este apartado se analizaron valores obtenidos del agua tratada por la fitorremediación y así tener una visión clara de cuanto es que se logró reducir o no los contaminantes

Teniendo el apartado llamado río se refiere a los resultados de la muestra inicial y A, B, C se refiere ya al agua tratada por la fitorremediación de cada una de las muestras. Asimismo, los cuadros o valores de color rojo marca un aumento y los cuadros de color verde marca una disminución.

Tabla 19

Tabla de resultados iniciales y finales del fitorremediador.

	Sólidos totales	Temperatura	Ph	Oxígeno disuelto	Aceites y Grasas	Dbo	As	B	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Li	Mg	Mn	Pb	Se	Zn
RIO	150	8	2.8	7.62	0.01	15.45	0.129	0.03	0.81	0.12	0.02	0.16	0.24	0.007	2.793	0.196	0.169	0.034	2.3
A	30	22.8	6.8	5.31	225.5	6.95	0.133	0.08	0.026	0.025	0	0.045	0.191	0.014	5.131	0.005	0.069	0.036	0.037
	-120	14.8	4	-2.31	225.49	-8.5	0.004	0.05	-0.784	-0.095	-0.02	-0.115	-0.049	0.007	2.338	-0.191	-0.1	0.002	-2.263
RIO	333.5	8.5	3.6	4.75	21	16.01	0.028	0.005	0.005	0.007	0.043	0.044	0.03	0.1	63.74	0.107	0.06	0.004	0.021
B	361	22.8	7.8	0.4	26	0.75	0.003	0.048	0.008	0.002	0.004	0	0.07	0.029	5.401	0.004	0.013	0.008	0
	27.5	14.3	4.2	-4.35	5	-15.26	-0.025	0.043	0.003	-0.005	-0.039	-0.044	0.04	-0.071	-58.339	-0.103	-0.047	0.004	-0.021
RIO	26	9.5	2.8	5.6	28	15.5	0.141	0.098	0.011	0.009	0.019	0.15	0.047	0.136	2.88	0.013	0.01	0.01	0.014
C	315	24.2	7.5	0.44	49	12.4	0.004	0.013	0.003	0.002	0	0.004	0.031	0.018	7.403	0.006	0.114	24.52	0.047
	289	14.7	4.7	-5.16	21	-3.1	-0.137	-0.085	-0.008	-0.007	-0.019	-0.146	-0.016	-0.118	4.523	-0.007	0.104	24.51	0.033

Nota. Tabla elaborada en función a los datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM & los estándares de calidad Eca3 (MINAM, 2017).

A partir de este punto de análisis, se elaboró la siguiente tabla de resultados, la cual permite evaluar la consistencia de los datos obtenidos. En ella se distingue entre los parámetros que mostraron una reducción significativa, aquellos que registraron un incremento, y los que presentaron comportamientos mixtos o inconsistentes.

Tabla 20*Tabla de consistencia del fitorremediador.*

CONSISTENTES			
AUMENTO	REDUCCIÓN	Mayormente aumento	Mayormente redujo
Temperatura	Oxígeno disuelto	Sólidos totales	Li
pH	Cd	B	Mg
Aceites y grasas	Cr		Pb
Se	Dbó		Zn
	Mn		As
	Be		Cu
			Ba

Nota. La tabla muestra los resultados consistentes del sistema fitorremediador.

Por lo tanto, se concluyó que de todos los criterios o indicadores que aumentan el que tiene un aumento más significativo es aceites y grasas con una cantidad de 225.49 mg/l en el primer monitoreo esto puede deberse a la liberación de compuestos orgánicos por la *Eichhornia crassipes* tales como; exudados de la planta y su descomposición parcial de la biomasa, sin embargo ya en el segundo(5 mg/l) y tercer (21 mg/l) monitoreo se regulo y una de las razones puede ser que el jacinto de agua y su biopelícula, tras aclimatación, aumentan su eficiencia para absorber y degradar aceites y grasas con el tiempo. En cuanto a la reducción de todos los puntos mencionados en tabla la reducción más significativa es DBO con una cantidad de -8.5 mg/l en el primer monitoreo, - 15.26 mg/l en el segundo monitoreo y -3.1 en el tercer monitoreo, lo que parece interesante porque también fue el segundo con mayor cantidad de inicial de 15.45 mg/l. Asimismo, los puntos que variaban entre aumento y reducción entre muestras fitorremediadas (A,B,C) el que tiene parcialmente mayor aumento es sólidos totales con una cantidad de 289 mg/l y con parcialmente mayor reducción en el segundo muestreo es el magnesio con una cantidad de -58.339 mg/l, sin embargo debemos mencionar que el Zn .

4.1.3.6.2. Biofiltro

En este apartado se analizaron valores obtenidos del agua tratada por el biofiltro y así tener una visión clara de cuanto es que se logró reducir o no los contaminantes.

En los resultados de biofiltro también se comparó, pero en este caso con los resultados de las muestras del fitorremediador. Teniendo como apartado A, B, C a los resultados de la muestra de biofiltro de los tres meses. Los cuadros o valores de color rojo marca un aumento, los cuadros de color verde marca una disminución y los cuadros o valores de color celeste significa que no existe ninguna diferencia de aumento o disminución

Tabla 21

Tabla de resultados iniciales y finales del biofiltro.

	Solidos totales	Temperatura	Ph	Oxígeno disuelto	Aceites y Grasas	Dbo	As	B	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Li	Mg	Mn	Pb	Se	Zn
FITORR.	30	22.8	6.8	5.31	225.5	6.95	0.133	0.08	0.026	0.025	0	0.045	0.191	0.014	5.131	0.005	0.069	0.036	0.037
A	34	20.3	7	4.58	447	9.25	0.132	0.108	0.073	0.007	0	0.044	0.018	0.067	5.668	0.005	0.134	0.018	0.051
	4	-2.5	0.2	-0.73	221.5	2.3	-0.001	0.028	0.047	-0.018	0	-0.001	-0.173	0.053	0.537	0	0.065	-0.018	0.014
FITORR.	361	22.8	7.8	0.4	26	0.75	0.003	0.048	0.008	0.002	0.004	0	0.07	0.029	5.401	0.004	0.013	0.008	0
B	515	24	8	0.41	17	0.2	0.003	0.015	0.004	0.001	0.001	0	0.022	0.014	4360	0	0.01	0.008	0
	154	1.2	0.2	0.01	-9	-0.55	0	-0.033	-0.004	-0.001	-0.003	0	-0.048	-0.015	4354.599	-0.004	-0.003	0	0
FITORR.	315	24.12	7.5	0.44	49	12.4	0.004	0.013	0.003	0.002	0	0.004	0.031	0.018	7.403	0.006	0.114	24.52	0.047
C	395.5	24.5	7.8	0.58	49	18.5	0.006	0.012	0.004	0.001	0	0.002	0.044	0.019	7.114	0.001	0.193	40.77	0.045
	80.5	0.38	0.3	0.14	0	6.1	0.002	-1E-03	0.001	-0.001	0	-0.002	0.013	0.001	-0.289	-0.005	0.079	16.25	-0.002

Nota. Tabla elaborada en función a los datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM & los estándares de calidad Eca3 (MINAM, 2017).

Teniendo en cuenta estos resultados se obtuvo la siguiente tabla de resultados en cuanto a la consistencia, diferenciando del aumento de los aspectos que se redujo, los que en su mayoría aumentaron y los que en su mayoría redujeron.

Tabla 22*Tabla de consistencia del biofiltro*

CONSISTENTES			
AUMENTO	REDUCCIÓN	Mayormente aumento	Mayormente redujo
Sólidos totales	Cd	Oxígeno disuelto	As
Ph	Be	Temperatura	Se
	Cr	Dbo	Cu
	Mn	Li	B
	Zn	Pb	
		Ba	
		Mg	
		Aceites y grasas	

Nota. La tabla muestra los resultados consistentes del sistema de biofiltro.

Por lo tanto, se concluyó que de todos los criterios o indicadores que aumentan el que tiene un aumento más significativo es sólidos totales con una cantidad de 4 mg/l en el primer monitoreo, 154 mg/l en el segundo monitoreo y 80.5 mg/l en el tercer monitoreo, el incremento del valor de sólidos totales se puede explicar por la liberación física de partículas, lixiviación de compuestos orgánicos/inorgánicos. En cuanto a la reducción de todos los puntos mencionados en tabla la reducción más significativa es berilio (Be) con una cantidad de -0.018 mg/l en el primer monitoreo, - 0.001 mg/l en el segundo monitoreo y -0.001 mg/l en el tercer monitoreo. Asimismo, los puntos que variaban entre aumento y reducción entre muestras el que tiene parcialmente mayor aumento es aceites y grasas con una cantidad de 221.5 mg/l y con parcialmente mayor reducción a magnesio con una cantidad de -0.289 mg/l.

4.1.3.6.3. *Tren de tratamiento*

En este apartado se analizaron valores obtenidos ya del agua final pasada por el tren de tratamiento y así tener una visión clara de cuanto es que se logró reducir o no los contaminantes

En cuanto a los resultados del tren de tratamiento en su totalidad para poder entenderlo se comparó la muestra inicial con la final, teniendo el apartado llamado inicio se refiere a los resultados de la muestra inicial, el apartado llamado fin se refiere a los resultados de la muestra de biofiltro de los tres meses y el apartado ECA3 hace referencia a los niveles máximos autorizados de contaminantes de calidad ambiental para el agua de categoría 3: cultivo de vegetales y bebidas de animales. Asimismo, los cuadros o valores de color rojo marca un aumento, los cuadros de color verde marca una disminución y los cuadros o valores de color celeste significa que están dentro de los estándares de calidad Eca3.

Tabla 23

Tabla de resultados iniciales y finales del tren de tratamiento en su totalidad.

	Sólidos totales	Temperatura	Ph	Oxígeno disuelto	Aceites y Grasas	Dbo	As	B	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Li	Mg	Mn	Pb	Se	Zn	
A	INICIO	150	8	2.8	7.62	0.01	15.45	0.129	0.03	0.81	0.12	0.02	0.16	0.24	0.007	2.793	0.196	0.169	0.034	2.3
	FIN	34	20.3	7	4.58	447	9.25	0.132	0.108	0.073	0.007	0	0.044	0.018	0.067	5.668	0.005	0.134	0.018	0.051
		-116	12.3	4.2	-3.04	446.99	-6.2	0.003	0.078	-0.737	-0.113	-0.02	-0.116	-0.222	0.06	2.875	-0.191	-0.035	-0.016	-2.249
B	INICIO	333.5	8.5	3.6	4.75	21	16.01	0.028	0.005	0.005	0.007	0.043	0.044	0.03	0.1	63.74	0.107	0.06	0.004	0.021
	FIN	515	24	8	0.41	17	0.2	0.003	0.015	0.004	0.001	0	0.022	0.014	4.36	0	0.01	0.008	0	
		181.5	15.5	4.4	-4.34	-4	-15.81	-0.025	0.01	-0.001	-0.006	-0.042	-0.044	-0.008	-0.086	-59.38	-0.107	-0.05	0.004	-0.021
C	INICIO	26	9.5	2.8	5.6	28	15.5	0.141	0.098	0.011	0.009	0.019	0.15	0.047	0.136	2.88	0.013	0.01	0.01	0.014
	FIN	395.5	24.5	7.8	0.58	49	18.5	0.006	0.012	0.004	0.001	0	0.002	0.044	0.019	7.114	0.001	0.193	40.77	0.045
		369.5	15	5	-5.02	21	3	-0.135	-0.086	-0.007	-0.008	-0.019	-0.148	-0.003	-0.117	4.234	-0.012	0.183	40.76	0.031
ECA 3	60	3	5.5-8.2	4	5	15	0.1	1	0.7	0.1	0.01	0.1	0.2	2.5	250	0.2	0.05	0.02	2	

Nota. Tabla elaborada en función a los datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM & los estándares de calidad Eca3 (MINAM, 2017).

Teniendo los resultados de la anterior tabla 23 se obtuvo la siguiente tabla de resultados en cuanto a la consistencia, diferenciando del aumento de los aspectos que se redujo, los que en su mayoría aumentaron y los que en su mayoría redujeron.

Tabla 24

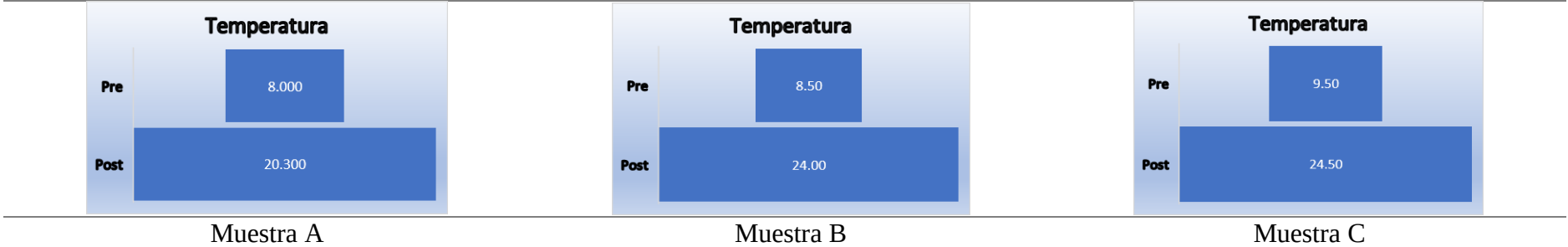
Tabla de consistencia del tren de tratamiento.

CONSISTENTES			
AUMENTO	REDUCCIÓN	Mayormente aumento	Mayormente redujo
Temperatura	Oxígeno disuelto	Sólidos totales	B
Ph	Dbo	Aceites y grasas	Li
	Be	Se	Mg
	Cd		Pb
	Cr		Zn
			Ba
			Mn
			As

Nota. La tabla muestra los resultados consistentes del tren de tratamiento.

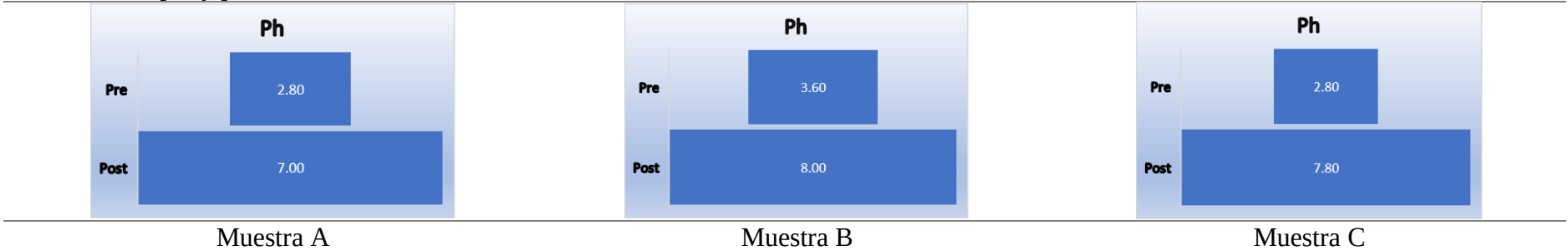
A fin de facilitar la interpretación de los resultados, se presenta a continuación una serie de figuras que resumen gráficamente los principales hallazgos obtenidos durante los meses de monitoreo, tratamiento y análisis. Estas visualizaciones permiten apreciar claramente la evolución de los parámetros fisicoquímicos del agua y la eficacia del tren de tratamiento en distintas etapas del proceso.

Figura 38
Valores de Temperatura pre y post tren de tratamiento



Nota. Esta figura compara gráficamente los valores de temperatura en tres muestras (A, B y C), antes y después del paso por el tren de tratamiento. Se observa un incremento generalizado en la temperatura tras el proceso, lo que puede asociarse al contacto con los componentes del sistema o a las condiciones ambientales del ensayo.

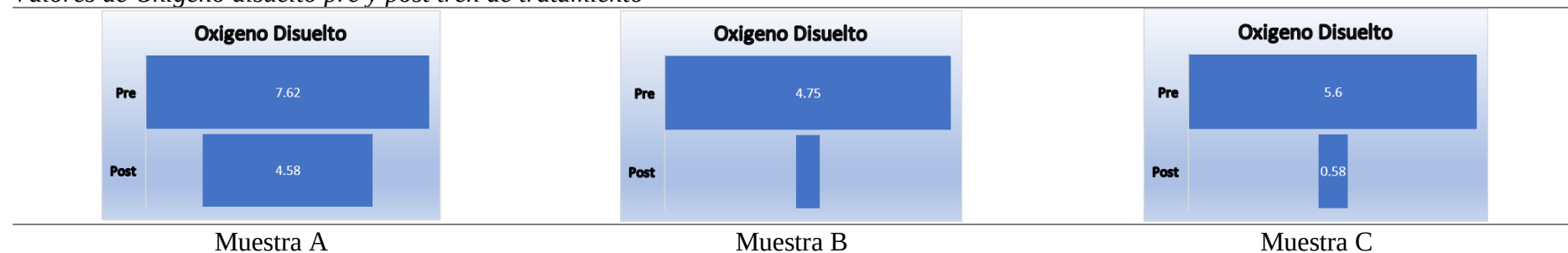
Figura 39
Valores de Ph pre y post tren de tratamiento



Nota. Representa los valores de pH antes y después del tratamiento para las mismas tres muestras. El gráfico muestra un aumento en los niveles de pH en todas las muestras, sugiriendo una tendencia hacia la neutralización del agua, lo cual es deseable para el riego agrícola.

Figura 40

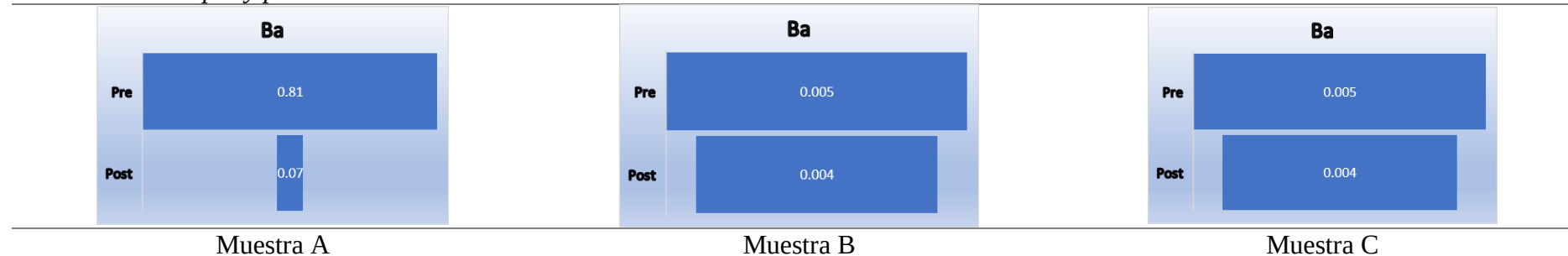
Valores de Oxígeno disuelto pre y post tren de tratamiento



Nota. Aquí se muestra la variación del oxígeno disuelto. A diferencia de la temperatura y el pH, el oxígeno disuelto presenta una disminución tras el tratamiento. Esta reducción puede indicar que ciertos componentes del sistema (como la materia orgánica retenida) consumen oxígeno durante el proceso.

Figura 41

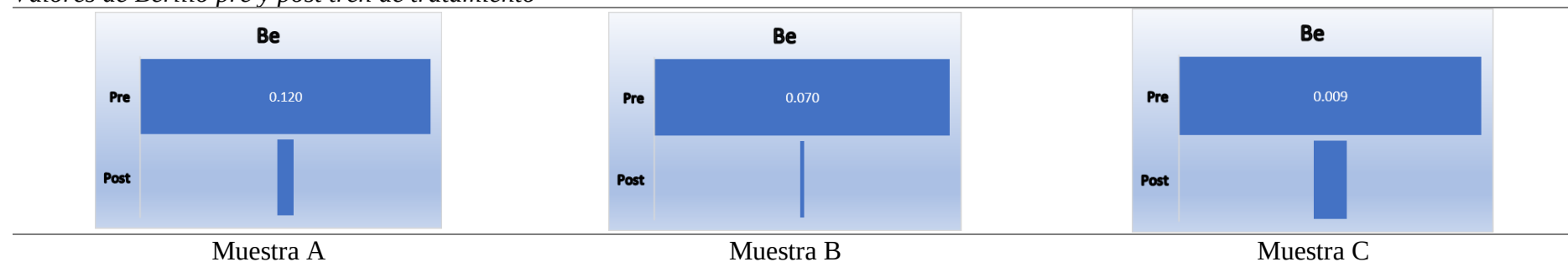
Valores de Bario pre y post tren de tratamiento



Nota. Se grafican los valores de concentración de Bario en las muestras. La figura permite evaluar la capacidad del sistema para remover este metal pesado. En algunos casos se observa ligera reducción, aunque la tendencia puede variar según la muestra.

Figura 42

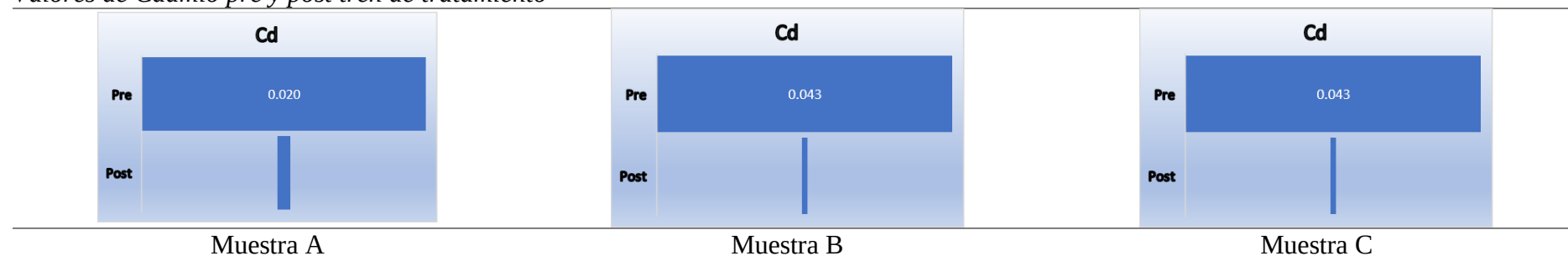
Valores de Berilio pre y post tren de tratamiento



Nota. Ilustra los niveles de Berilio antes y después del tratamiento. Los datos muestran una reducción significativa, en especial en la muestra A, lo cual refleja una buena capacidad de retención del sistema frente a este elemento tóxico.

Figura 43

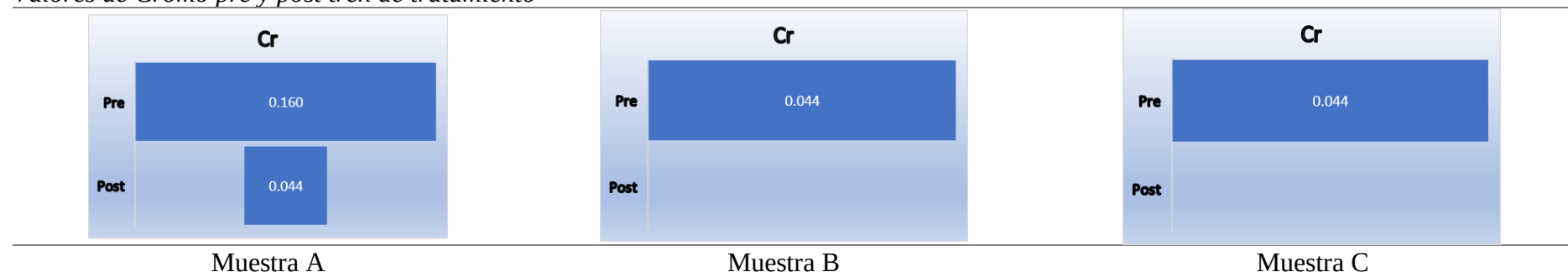
Valores de Cadmio pre y post tren de tratamiento



Nota. En este gráfico se aprecian los niveles de Cadmio. Se nota una remoción casi total en todas las muestras, lo que valida la efectividad del sistema, particularmente del biofiltro, en la eliminación de este contaminante de alta toxicidad.

Figura 44

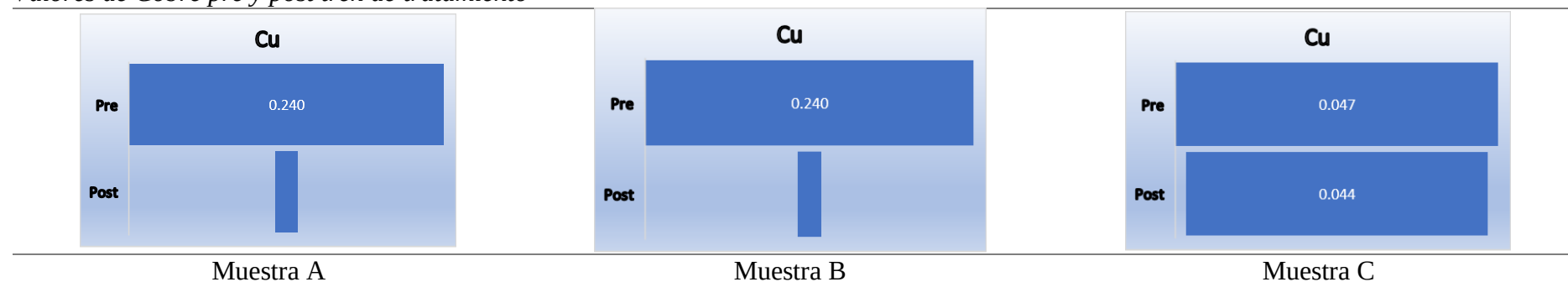
Valores de Cromo pre y post tren de tratamiento



Nota. La figura muestra una disminución moderada de los niveles de Cromo tras el tratamiento. Si bien el efecto no es tan marcado como en otros metales, sí hay evidencia de reducción, sobre todo en la muestra C.

Figura 45

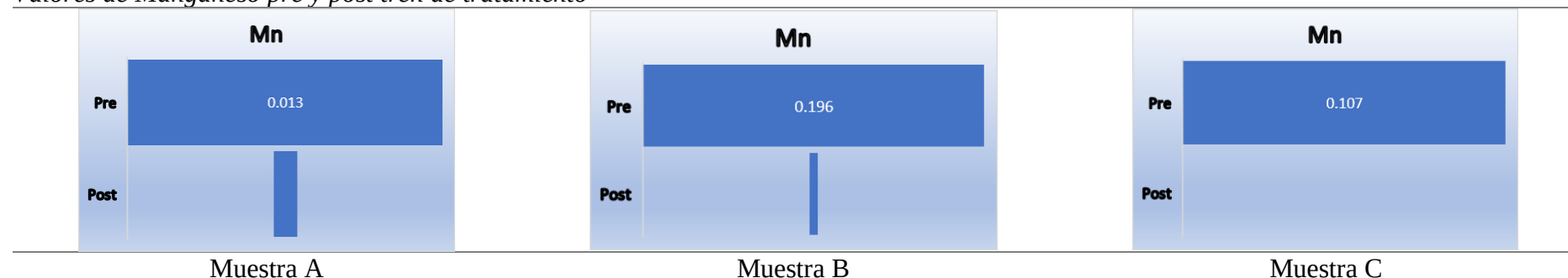
Valores de Cobre pre y post tren de tratamiento



Nota. Aquí se representa la concentración de Cobre antes y después del tratamiento. Se observa una remoción efectiva en las tres muestras, reflejando la afinidad del sistema por este metal, potencialmente debido a las propiedades adsorbentes del carbón activado.

Figura 46

Valores de Manganeso pre y post tren de tratamiento



Nota. Este gráfico indica una ligera disminución de Manganeso tras el tratamiento. Aunque la reducción es leve, cumple con los estándares del ECA-3, evidenciando una acción estabilizadora por parte del tren de tratamiento.

Se concluyó que de todos los indicadores evaluados que aumentan, el que presento un aumento más significativo fue la temperatura con una cantidad de 12.3 mg/l (primer monitoreo) , 15.5 mg/l (segundo monitoreo) y 15 mg/l (tercer monitoreo).

En cuanto a la reducción más significativa fue en el DBO con una cantidad de -6.2 mg/l en el primer monitoreo, - 15.81 mg/l en el segundo monitoreo y 3mg/l en el tercer monitoreo, lo que lo hace relavante es que este indicador registro una de las mayores cantidades iniciales (15.45 mg/l). Asimismo, los puntos que fluctuan entre aumento y reducción entre muestras fueron:

- **Aceites y grasas**, con un incremento parcialmente mayor (446.99 mg/l).
- **Magnesio**, con la reducción más significativa (-59.38 mg/l).

Se debe mencionar tambien un punto importante respecto a los metales pesados, la inconsistencia en cuanto a remoción de metales pesados es el resultado de la interacción de las propiedades específicas de cada metal, la afinidad de los componentes del tratamiento por cada uno, las condiciones ambientales que se pueden llegar a suscitar y las variaciones en las condiciones del agua, como su acidez o temperatura, también afectan la eficacia de la remoción.

4.1.3.6.4. Análisis de varianza

El anova es una herramienta fundamental en el análisis estadístico, en el presente estudio es necesario para un análisis de calidad, por lo tanto sabemos que se necesita la característica de homocedasticidad, donde el grupo de metales pesados cumple y por lo cual se pudo aplicar el anova dándole un sentido a buscar la consistencia de resultados, donde se tomaron los valores de los siguientes metales pesados: As, B, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mg, Mn, Pb, Se, Zn, obtenidos de los resultados del sistema de fitorremediación y biofiltro en conjunto.

Donde

HO: $R_1=R_2=R_3$

H1: INCONSISTENTE

$F_{tab} > F_{cal}$: Aceptar H_0

$F_{cal} > F_{tab}$: Aceptar H_1

Tabla 25

Tabla ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA				fcal		Ftab
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	421.851336	2	210.925668	1.58485571	0.21894666	3.25944631
Dentro de los grupos	4791.17689	36	133.088247			
Total	5213.02823	38				

Nota. Tabla elaborada en función a los datos recopilados de exámenes de laboratorio del laboratorio ensayo y control de calidad UCSM & los estándares de calidad Eca3 (MINAM, 2017).

Teniendo en cuenta los valores de “Ftab” y “Fcal” se puede afirmar que H_0 es verdadera, por lo cual se demuestra consistencia en los resultados, así mismo demuestra que este tren de tratamiento es óptimo si el objetivo principal sería la remoción de metales pesados.

Así mismo se tiene la tabla de la consistencia de resultados en cuanto a remoción de contaminantes:

Tabla 26

Tabla de resultado de consistencia de resultados

Contaminante	Oxígeno disuelto	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Mn
1er muestreo	40%	91%	4%	100%	73%	93%	97%
2do promedio	91%	20%	86%	98%	100%	27%	100%
3er promedio	90%	64%	89%	100%	99%	6%	92%
Promedio	74%	58%	90%	99%	90%	42%	97%

Nota. La tabla muestra la consistencia en función a la remoción de contaminantes.

4.2. Discusión

En el primer objetivo de la investigación, que consiste en desarrollar un plan de muestreo y análisis de la calidad de las aguas de riego en el distrito de Cuchumbaya, se destaca que la calidad del agua es un factor crítico para el uso agrícola, especialmente en el riego de cultivos. El informe de la Contraloría General de la República (CGR, 2024), titulado "Calidad del agua embalsada y derivada por el proyecto especial regional Pasto Grande", menciona que los ríos afluentes de la represa Pasto Grande no cumplen con los parámetros establecidos en los estándares ECA-3 a lo largo de los años. En 2018, los valores de boro fueron superiores a 1 mg/L, el cadmio superó 0.01 mg/L, el cobalto alcanzó valores superiores a 0.05 mg/L, y el hierro excedió 5 mg/L. Durante 2019 y 2020, se observaron también niveles elevados de aluminio, boro y manganeso que sobrepasaron los valores establecidos en los ECA-3. Esta información coincide con los hallazgos de nuestra investigación, donde, en los tres muestreos realizados, los valores de sólidos totales (90 mg/L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (0.45 mg/L) y oxígeno disuelto (3.62 mg/L) están por encima de los límites permitidos por el D.S. N° 004-2017 (MINAM, 2017). Además, varios metales pesados como arsénico (As), bario (Ba), berilio (Be), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), selenio (Se) y zinc (Zn) superan los valores permitidos, lo que genera preocupación sobre el impacto ambiental y la posible contaminación de los cultivos agrícolas.

El parámetro ECA-3 es de vital importancia, ya que, según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), la calidad del agua de riego es crucial para garantizar que el agua utilizada en los cultivos no contenga niveles de contaminantes que puedan afectar la salud humana ni la calidad de los productos agrícolas. La remediación de aguas contaminadas con metales pesados y otros contaminantes es, por lo tanto, esencial para la sostenibilidad del riego agrícola en el distrito de Cuchumbaya.

FITORREMEDIACIÓN

Con el objetivo de remover contaminantes mediante procesos naturales, se empleó la especie macrófita *Eichhornia crassipes* debido a su alta eficacia demostrada en estudios recientes. Los resultados obtenidos en el presente trabajo confirmaron reducciones significativas en parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), metales pesados como cadmio (Cd), cromo (Cr), manganeso (Mn), berilio (Be), así como en la conductividad eléctrica del agua, lo cual valida su potencial como herramienta de fitorremediación eficiente.

La eficacia de *Eichhornia crassipes* ha sido confirmada en múltiples investigaciones recientes. Por ejemplo, Calderon & Salinas (2023) realizaron una revisión de 18 estudios en los

que esta especie logró importantes reducciones en DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas, demostrando su capacidad para adaptarse a diversas condiciones y mantener su efectividad. Asimismo, Ballón (2021) reportó que esta planta alcanzó remociones del 95.24% en DBO5, 93.03% en DQO y 92.86% en aceites y grasas, en un sistema de tratamiento ubicado en el distrito de Yarabamba, Arequipa.

Montano (2022) en un estudio sobre cuerpos de agua contaminados por minería informal, comprobó la remoción de metales pesados como Cd (96.59%), Cu (77.42%), Zn (93.81%) y Mn (99.90%) mediante el uso de *Eichhornia crassipes*, posicionando a esta especie como altamente efectiva frente a contaminantes inorgánicos en ambientes severamente impactados.

Del mismo modo, Lopez (2022) evaluó el uso combinado de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas, logrando eficiencias superiores al 90% en la reducción de sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, DBO y DQO. Aunque la combinación fue ligeramente más eficaz, *Eichhornia crassipes* demostró por sí sola una capacidad de remoción sobresaliente.

Finalmente, Cárdenas et al. (2023) destacaron que esta especie también es efectiva para tratar aguas contaminadas con plomo (Pb), alcanzando una remoción de 44.38%, mientras que *Lemna minor* obtuvo un 46.77%. Esto respalda su utilidad no solo en ambientes domésticos, sino también en contextos de contaminación por metales pesados.

Riesgo Ecologico

- **Introducción de especie fitorremediadora**

Causa: Probable escape accidental del jacinto a cuerpos naturales.

Fundamentación: *Eichhornia crassipes* es catalogada como una planta invasora ad que posee un potencial reproducido y de ampliación muy alto en ambientes acuáticos, donde están presentes aguas enriquecidas en nutrientes. Su desmedido crecimiento provoca disminución del oxígeno disuelto en el agua, lo que repercute de forma negativa en peces y en plantas nativas, entre otros, eutrofización y alteraciones de carácter severo de los ecosistemas acuáticos. Además, produce efectos socioambientales, al ser un refugio de mosquitos, por clausurar los canales, interferir en la agricultura o la infraestructura hídrica, etc. (Guevara Granja. & Ramírez Cando, 2015)

Consecuencia:

- Desplazamiento de flora nativa.

- Reducción del oxígeno disuelto.
- Incremento de eutrofización.
- **Acumulación de metales pesados o contaminantes en biomasa**

Causa: Absorción de contaminantes en raíces y hojas.

Fundamentación: El Jacinto de agua, basa su funcionamiento en la acumulación de metales pesados y factores de contaminación en su biomasa vegetativa, dado que su elevada capacidad de absorción por las raíces y las hojas se introduce y continúa allí donde adquiere un papel vital dentro de la fitorremediación. El proceso comienza en las raíces, donde los contaminantes (metales pesados) son adsorbidos por grupos funcionales tales como hidroxilos y carboxilos, y posteriormente son translocados a los tallos y el follaje. (Barroso Rangel, López Alvarado, Gutiérrez Vargas , Álvarez Varga, & Serafín Muñoz, 2022)

Consecuencia:

- Riesgo al descargar la biomasa sin tratamiento.
- Transferencia a fauna si se usa como forraje (prohibido).
- **Medidas de control y mitigación y aprovechamiento posterior**
 - Uso de gorgojos para evitar la proliferación
 - Instalar barreras físicas para evitar escape de la planta..
 - Control mensual de crecimiento (podas técnicas).
 - Disposición segura de la biomasa contaminada (incineración o compostaje controlado).
 - Ceniza para ladrillos.
 - Conversión a biochar para aprovechamiento posterior

BIOFILTRO

En cuanto al cumplimiento del objetivo de la remoción de contaminantes con el biofiltro compuesto de carbón activado, cascarilla de arroz y piedra pómez se logró obtener a través de análisis de laboratorio resultados que nos expresan una consistencia en la remoción de 4 contaminantes los cuales son; Be, Cd, Cr y Mn.

El presente estudio logró validar la eficacia de un sistema de tratamiento compuesto por un biofiltro híbrido (carbón activado, cascarilla de arroz y piedra pómez) y la aplicación de fitorremediación con *Eichhornia crassipes*, alcanzando reducciones importantes en metales pesados como cadmio (Cd), cromo (Cr), manganeso (Mn) y berilio (Be), así como mejoras en

parámetros fisicoquímicos como DBO, DQO y conductividad. Este enfoque combinado promueve soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas contaminadas en contextos rurales o semiurbanos.

En cuanto al biofiltro, la mayor efectividad se atribuye al carbón activado derivado de cascarilla de arroz, cuyas propiedades adsorbentes han sido ampliamente respaldadas. Según Roncal & Villanueva (2021), este material logró remover más del 95% de metales como Cd, Pb, Cr, As, Cu, Fe y Zn en efluentes industriales, posicionándolo como un recurso clave por su bajo costo y alta eficiencia. La cascarilla de arroz no solo funciona como materia prima para la activación, sino también como soporte fibroso con capacidad de retención adicional, mientras que la piedra pómez actúa como medio poroso que optimiza el tiempo de contacto y la filtración física.

Por su parte, la fitorremediación con *Eichhornia crassipes* complementó el tratamiento mediante procesos de rizofiltración y fitovolatilización. Su efectividad ha sido confirmada por varios estudios recientes. Montano (2022) reportó reducciones de hasta 96.59% en cadmio, 77.42% en cobre, 93.81% en zinc y 99.90% en manganeso en aguas impactadas por minería, demostrando el potencial de esta especie para eliminar metales pesados. Además, Calderon & Salinas (2023), en una revisión de 18 estudios, concluyeron que *Eichhornia crassipes* es consistentemente eficaz en la reducción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas.

Asimismo, la combinación de especies vegetales también se ha mostrado eficiente. Lopez (2022) evaluó el uso conjunto de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, obteniendo eficiencias superiores al 90% en la remoción de sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, DQO y DBO. En una línea similar, Cárdenas et al. (2023), encontraron que tanto *Lemna minor* (46.77%) como *Eichhornia crassipes* (44.38%) fueron efectivas en la remoción de plomo (Pb), aportando evidencia del potencial de estas especies para tratamientos de aguas contaminadas con metales pesados.

Estos hallazgos refuerzan el enfoque de tratamiento utilizado en la presente investigación, donde la combinación de tecnologías naturales —biofiltración y fitorremediación— no solo demostró ser eficaz, sino también viable en términos económicos y ambientales. Su aplicación práctica puede contribuir significativamente al saneamiento de aguas contaminadas en zonas afectadas por actividad agrícola, minera o urbana, alineándose con los principios de economía circular y desarrollo sostenible.

Riesgo Ecológico

- **Lixiviación de contaminantes adsorbidos**

Causa: El carbón activado y la cascarilla de arroz saturan con metales pesados u orgánicos durante el filtrado, liberándolos al percolar agua o por degradación del material.

Consecuencias:

- Contaminación secundaria de suelos y cuerpos de agua cercanos, afectando la biota acuática y reduciendo la biodiversidad.

- **Ecotoxicidad del material de desecho**

Causa: Acumulación de biomasa microbiana y nutrientes en la piedra pómez o arena genera residuos tóxicos al final del ciclo de vida del biofiltro.

Fundamentación: El carbón activado captura contaminantes hidrofóbicos, incluidos metales pesados, gracias a sus poros y a interacciones iónicas y de Van der Waals. La cascarilla de arroz también retiene cationes por su alto contenido de sílice, pero pierde eficacia cuando se satura o cuando el pH supera 7, pudiendo liberar los contaminantes retenidos. En biofiltros usados para tratar residuos petroleros se ha observado que, tras la saturación del medio, aparecen lixiviados con Cr(VI) entre 2 y 5 mg/L, lo que implica un riesgo directo para las aguas subterráneas. (Díaz Rodríguez, y otros, 2022)

Consecuencias:

- Inhibición del crecimiento vegetal en suelos receptores y daño a organismos indicadores como semillas o invertebrados, complicando la disposición final.

- **Medidas de control y mitigación y aprovechamiento posterior**

- Colocar mallas finas y capas de retención para evitar arrastre.
- Tratar lixiviados con zeolita o coagulantes automáticos.
- Reutilizar arena/piedra pómez lavada en biofiltros secundarios, concreto poroso humedales artificiales; quemar cascarilla para energía y ceniza silíceas, o procesarla en biochar activado
- Monitorear saturación mensual del carbón y cascarilla.
- Convertir carbón y cascarilla saturados en biochar por pirolisis para fitorremediación secundaria

CONCLUSIONES

El fin de esta investigación fue desarrollar un tren de tratamiento, para lo cual se diseñó dicho tren y se implementó en un entorno real, con el fin de realizar las pruebas necesarias. Los resultados demostraron que el tren de tratamiento tiene un impacto positivo en la remoción de contaminantes. Este trabajo contribuye con una evaluación práctica, realizada en un contexto real, de un sistema combinado de tratamiento (biofiltro y fitorremediación con *Eichhornia crassipes*), orientado a abordar la compleja contaminación por metales pesados en las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya, una zona directamente afectada por actividades mineras y antropogénicas. A diferencia de estudios previos, que generalmente se enfocan en componentes individuales o pruebas de laboratorio, esta investigación proporciona datos sobre la interacción sinérgica de ambas tecnologías en condiciones ambientales locales.

- Se logró realizar un plan de muestreo y análisis de calidad de las aguas de riego del distrito de Cuchumbaya siguiendo la metodología propuesta por el ANA (2016), ya con los resultados obtenidos del muestreo respaldaron la sospecha de la contaminación presente por metales pesados y contaminantes derivados de la minería y actividades antropogénicas. Se logró realizar un tren mediante la aplicación de un biofiltro y técnicas de fitorremediación en cuanto a las características de nuestro biofiltro fueron de arena gruesa(5.5 cm), piedra pómez(3 cm), carbón activado(9.5 cm), cascarilla de arroz(30 cm) y la fitorremediación llegó a contar con 15 plantas situadas en contenedor de vidrio de 10 litros de capacidad de agua con las dimensiones, altura de 10 cm, largo 80 cm y ancho 50 cm.
- Los resultados de este estudio respaldan la capacidad del biofiltro compuesto por carbón activo de coco, piedra pómez y cascarilla de arroz para adsorber eficazmente los contaminantes presentes en aguas contaminadas mayormente por metales pesados, lo que sugiere su potencial como solución sostenible y económica en el tratamiento de este tipo de aguas, sin embargo, debemos mencionar que los contaminantes donde tuvo consistencia en disminución fueron: Be, Cd, Cr, Mn, se presentó también aumento en SST y Ph, donde se tuvo inconsistencia en cuanto a resultados fue en los siguientes contaminantes: Oxígeno disuelto, aceites y grasas, temperatura, Dbo, As, B, Ba, Cu, Li, Mg, Pb, Se, Zn.
- Los resultados de este estudio respaldan la capacidad de la planta *Eichhornia crassipes* para adsorber eficazmente los contaminantes presentes en aguas contaminadas mayormente por metales pesados, lo que sugiere su potencial como solución sostenible y económica en el tratamiento de este tipo de aguas, sin embargo, debemos mencionar que los contaminantes donde tuvo consistencia en disminución fueron: Oxígeno disuelto, Dbo, Mn, Be, Cd, Cr, se

presentó también aumento en Temperatura, aceites y grasas, Ph, Se, donde se tuvo inconsistencia en cuanto a resultados fue en los siguiente contaminantes: Sólidos totales, As, B, Ba, Cu, Li, Mg, Pb, Zn.

- Los resultados de este estudio respaldan la capacidad de remoción de contaminantes del tren de tratamiento compuesto por el biofiltro y la fitorremediación con ***Eichornnia crassipes***, resaltando que en los contaminantes donde se llegó a tener consistencia de remoción fueron: Oxígeno disuelto (74%), Ba (58%), Be (90%), Cd (99%), Cr (90%), Cu (42%), Mn (97%).

RECOMENDACIONES

Uno de los principales limitantes de esta investigación fue que se llevó a cabo durante la temporada húmeda. Por lo tanto, se recomienda extender el estudio a otras estaciones del año, como la temporada seca, ya que los resultados podrían variar debido a las características propias de cada temporada.

- Se aconseja tener en cuenta el análisis de las cantidades y el tipo de materiales empleados en la edificación del biofiltro, como la arena gruesa, la piedra pómez, el carbón activado, la cascarilla de arroz y la arena fina, lo que podría tener una variabilidad en términos de eficacia.
- Se recomienda probar con otras capas filtrantes o sustratos considerando las cantidades que se usaron en esta investigación, es importante que siga los lineamientos y metodología de este proyecto para ver en cuanto varían los resultados y la delimitación temporal solo si amerita, esta recomendación debe aplicarse en los meses de diciembre y abril que abarca el periodo de temporada seca, todo esto con el propósito de llegar a tener otros resultados y perspectivas y nutrir este campo de investigación
- Se recomienda realizar este tren de tratamiento con un posible cambio de planta fitorremediadora por ejemplo: *Pistia stratiotes*, *Lemna spp*, *Hydrilla verticillata*, etc. pero considerando aun los componentes del biofiltro, para así poder tener una mejor visión de cuan eficiente y cuanto llegan a cambiar los resultados con solo el cambio de especie fitorremediadora.

REFERENCIAS

- Aaron, D. (2022). *Diseño de un biofiltro a escala a base de carbón activado y zeolita para el tratamiento de agua de una laguna de oxidación*. [Tesis de grado]: Universidad Agraria de Ecuador. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/DELGADO%20PINTO%20GERSON%20AARO N.pdf>
- Agarwal, P., & Rani, R. (2022). Strategic management of contaminated water bodies: Omics, genome-editing and other recent advances in phytoremediation. *Environmental Technology & Innovation*, 27(102463), 1-16. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102463>
- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE. (Diciembre de 2019). Presentación de resultados finales del proyecto piloto de remoción de metales pesados. *Boletín de Proyecto remoción de Metales Pesados, Embajada de Suiza*. Obtenido de Cooperacion Suiza en peru: <https://www.cooperacionsuiza.pe/innovacion-y-tecnologia-que-mejora-la-calidad-del-agua-presentacion-de-resultados-finales-del-proyecto-piloto-de-remocion-de-metales-pesados-2/>
- Agroideas. (2020). *MEJORAMIENTO DE LA PRODUCCION COSECHA Y POS COSECHA DEL CULTIVO DE PRODUCTORES AGROPECUARIO*. Obtenido de https://www.agroideas.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/MODELO_PNT_OREGANO.pdf
- Aguilar, J., & Cubas, N. (2021). Contaminación agrícola por uso de aguas residuales. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(13). doi:<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.98>
- Ambrocio, B., & Quiroz, G. (2021). *Fitorremediación de aguas contaminadas con mercurio utilizando Eichhornia crassipes, Cajamarca*. [Tesis de grado]: Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Obtenido de Universidad privada del norte: https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28971/Ambrocio%20Sernaque%20Betsy%20Lorena_Quiroz%20Briones%20Gina%20Marianella.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arroyave, M. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisorio. *Revista EIA*(1), 33-38. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763003.pdf>
- ATRESMEDIA. (Marzo de 15 de 2017). La piel de naranja podría utilizarse para limpiar las aguas contaminadas. *Corporación de Medios de Comunicación Hazte Eco*. Obtenido de HAZTE ECO: https://www.atresmedia.com/hazte-eco/actualidad/piel-naranja-puede-servir-limpiar-aguas-contaminadas_201703155943e97d0cf22592e317aee9.html
- Auchterlonie, J., Eden, C., & Sheridan, C. (2021). The phytoremediation potential of water hyacinth: A case study from Hartbeespoort Dam, South Africa. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37, 31-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.03.002>
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/209>
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). Resolución Administrativa. nro. 047-2017-ANA-AAAI C-O/ALA.MOQ. Obtenido de <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/30-ra-0047-2017-2.pdf>
- Ayme, M., & Ramos, M. (2020). *Eichhornia crassipes, Lemna minor y Pistia stratiotes como sorbentes de plomo, cobre y zinc en el tratamiento de aguas residuales*. [Tesis de Grado]: Universidad Cesar Vallejo. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/62605>

- Ballón, K. (2021). *Fitorremediación de aguas Fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie Eichhornia crassipes en el distrito de Yarabamba, Arequipa*. [Tesis de grado]: Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12579>
- Banco Mundial - BM. (2006). Biofiltro : una opcion sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequenas localidades. *Boletín del Banco Mundial*, 11-23. Obtenido de <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/943351468247792589/biofiltro-una-opcion-sostenible-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-pequenas-localidades>
- Barroso Rangel, D., López Alvarado, H., Gutiérrez Vargas, S., Álvarez Varga, A., & Serafín Muñoz, A. (2022). *Guanajuato Rumbo al Desarrollo Sustentable, Etapa-2.0: Caracterización del material lignocelulósico proveniente de Eichhornia crassipes dentro del rol de biorremediación en aguas contaminadas*. Obtenido de Jóvenes en la ciencia: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3711>
- Bhaskar, J., & Singh, V. (2013). Absorción de agua y propiedades compresivas del compuesto epóxico reforzado con partículas de cáscara de co. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(1). Obtenido de <https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol4/15-JMES-325-2012-Bhaskar.pdf>
- Calderon, L., & Salinas, D. (2023). *Fitorremediación con Eichhornia Crassipes la remoción de DQO Y DBO5 en aguas residuales domiciliarias de la ciudad de Cajamarca*. [Tesis de grado]: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/36219>
- Cárdenas, R., Ponce, M., Llaque-Fernández, I., Villar, J., & Cárdenas, K. (2023). Phytoremediation with Eichhornia Crassipes and Lemna Minor L. in Water Contaminated with Heavy Metals – Trujillo. *LACCEI*, 7(4). doi:<https://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2023.1.1.442>
- Carhuaricra, P. (2019). *Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, limnobium laevigatum y eichhornia crassipes para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de pacaypampa*. [Tesis de grado]: Universidad De Huánuco. Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/1598>
- Carreño, C. (2016). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <https://www.ecoediciones.mx/wp-content/uploads/2016/04/Biotecnolog%C3%ADa-ambiental-de-aguas-y-aguas-residuales-2da-Edici%C3%B3n-1.pdf>
- Casals, F., Sánchez-González, J., Anastácio, P., & Ariño-Plana, A. (2020). *Guía de las Especies Exóticas e Invasoras de los Ríos, Lagos y Estuarios de la Península Ibérica*. Sociedade Ibérica de Icaología. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/342717170_Guia_de_las_Especies_Exoticas_e_Invasoras_de_los_Rios_Lagos_y_Estuarios_de_la_Peninsula_Iberica
- Castellanos, I., Mejía, I., & Sierra, K. (2020). *Diseño de un filtro a base de cascarilla de arroz recuperada*. [Tesis de grado]: Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Industrial. Obtenido de Repositorio javeriana: <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/8e0b5ce1-5b9d-4804-a159-4fe0b19e3426/content>
- Centro de Operaciones Emergencia Regional - COER. (2021). *Informan Sobre las Acciones en el Marco de la Emergencia por Contaminación Hídrica del Rio Coralaque. Gobierno Regional de Moquegua*. Obtenido de NFORMAN SOBRE LAS

ACCIONES EN EL MARCO DE LA EMERGENCIA POR CONTAMINACIÓN
HÍDRICA DEL RIO CORALAUQUE:

<https://www.coer.regionmoquegua.gob.pe/informan-sobre-las-acciones-en-el-marco-de-la-emergencia-por-contaminacion-hidrica-del-rio-coralauque/>

Contraloría general de la república. (Octubre de 2024). Agua de la presa Pasto Grande contiene elementos dañinos para el consumo humano. *Oficio N.º 016-2024-OCI/0805-SOO*. Obtenido de Oficio N.º 016-2024-OCI/0805-SOO :
https://apps8.contraloria.gob.pe/SPIC/srvDownload/ViewPDF?CRES_CODIGO=2024CSI080500016&TIPOARCHIVO=ADJUNTO

David, D., Alvarez, D., & Zamarra, J. (2022). *Descripción de las investigaciones sobre el uso de las plantas*. [Tesis de grado]: Universidad de Antioquia. Obtenido de Repositorio institucional de antioquia: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Defensoría del Pueblo. (05 de octubre de 2024). Defensoría del Pueblo exige a Minem celeridad en cierre definitivo de actividades de minera que viene afectando cuencas ubicadas en Arequipa y Moquegua. Obtenido de
<https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-exige-a-minem-celeridad-en-cierre-definitivo-de-actividades-de-minera-que-viene-afectando-cuencas-ubicadas-en-arequipa-y-moquegua/>

Delgadillo-López, A., González-Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2). Obtenido de
<https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

Diario el Peruano. (21 de Noviembre de 2023). Ejecutivo presenta plan por contaminación del río Coralauque, en Moquegua. *Diario Oficial del Bicentenario*. Obtenido de El peruano: <https://www.elperuano.pe/noticia/228400-ejecutivo-presenta-plan-por-contaminacion-del-rio-coralauque-en-moquegua>

Díaz Rodríguez, Y., Mendiola Lau, L., González Suárez, A., Navarro Sosa, Y., Acosta Díaz, S., & Chao Reyes, C. (2022). *Biofiltration of liquid effluents from the oil industry with natural materials*. Obtenido de Ingeniería Hidráulica y Ambiental:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000100012

Díaz, D. (2019). *Usos potenciales de cascarilla de arroz en el departamento de Casanare*. [Tesis de grado]: Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Colombia. Obtenido de Repositorio UTA:
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30131/80811242.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, G. (2020). *Evaluación del rendimiento de lenteja de agua (Lemna minor L.) con cuatro dosis de abono orgánico gallinaza e incorporación de la planta acuática como parte integral de la dieta alimenticia de aves de traspatio en la aldea moritas bajas, Pachalum, Quiché*. [Tesis de grado]: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/40/40_0114.pdf

Estévez, C. (2023). *Estructura laminar (no tejido) a base de materiales lana y cabello humano para limpieza de petróleo derramado en agua dulce a escala de laboratorio*. [Tesis de pregrado]: Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas . Obtenido de
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15217>

Flores, A. (2020). *Contaminación del embalse Pasto Grande por elementos químicos tóxicos y su efecto en los productores primarios*. [Tesis de Maestría]: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Obtenido de
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/916a6d03-8fcd-4d4a-a0ef-8b745c0a5f86/content>

- Gallego-Alarcón, I., & García-Pulido, D. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1). doi:<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-06>
- García, S., & Saldarriaga, L. (2020). *Análisis del desempeño de un biofiltro con adsorbentes convencionales y no convencionales para el tratamiento de agua de producción petrolera ubicadas en el sector de caño Lima, Araucanía (Arauca)*. [Tesis de grado]: Universidad El Bosque. Obtenido de <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/7475463d-5e4a-4682-b07f-993b0167d652/content>
- Guevara Granja, M. F., & Ramírez Cando, L. J. (2015). *Eichhornia crassipes*, SU INVASIVIDAD Y POTENCIAL. Obtenido de LA GRANJA, Revista de ciencias de la vida: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047267001.pdf>
- Gutiérrez, I., Montoya, A., & Erazo, A. (2022). *Condiciones de hidrólisis para la obtención de queratina a partir del residuo de cabello humano generado en las peluquerías*. [Tesis de grado]: Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Química. Obtenido de <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7579/Tesis-Gutierrez-Montoya-Erazo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Selección de la muestra*. Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Herrera, W., & Rey, A. (2018). *Implmentación de biofiltro como agente depurador de aguas residuales del conjunto aranjuez ii, en el municipio de villavicencio meta*. [Tesis de grado]: Universidad Cooperativa de Colombia. Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, Villavicencio. Obtenido de Repositorio Institucional UCC: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/4174>
- Huamani, E., Huayta, D., & Ortega, D. (2021). *Eficiencia de remoción de la especie Hydrocotyle bonariensis (redondita de agua) y Eichhornia crassipes (jacinto de agua) en las aguas residuales del río Shullcas*. [Tesis de grado]: Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11100>
- Huertos, E., & Baena, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 48-60. Obtenido de Revista de la sociedad española de mineralogía: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6404529>
- Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. (Octubre de 2021). Contaminación de la Cuenca de los Ríos Tambo y Coralaque en la Región Moquegua y Arequipa. *RPI N° 192 - 11/10/2021 / COEN - INDECI*. Obtenido de Plataforma del Estado Peruano: <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2021/10/REPORTE-DE-PELIGRO-INMINENTE-N%C2%BA-192-11OCT2021-POR-CONTAMINACI%C3%93N-DE-LA-CUENCA-DE-LOS-R%C3%8DOS-TAMBO-Y-CORALAAQUE-EN-LA-REGI%C3%93N-MOQUEGUA-Y-AREQUIPA-40.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. (2021). Contaminación de los Ríos Coralaque y Tambo en el Departamento de Moquegua. *I.E. N° 069 - 24/1/2021 / COEN - INDECI*. Obtenido de I.E. N° 069 - 24/1/2021 / COEN - INDECI : <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/12/INFORME-DE-EMERGENCIA-N%C2%BA-069-24ENE2021-CONTAMINACI%C3%93N-DE-LOS-RIOS-CORALAAQUE-Y-TAMBO-EN-EL-DEPARTAMENTO-DE-MOQUEGUA-55.pdf>

- Iturralde, X., & Hernández, A. (2022). Biofiltración de aguas residuales de industrias arroceras de San Jacinto de Yaguachi, Ecuador mediante cascarilla de arroz. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5.
doi:<https://doi.org/10.46380/rias.v5.e271>
- Jácome, X., & Escobar, A. (2022). Biofiltración de aguas residuales de industrias arroceras de San Jacinto de Yaguachi, Ecuador mediante cascarilla de arroz. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*.
doi:<https://doi.org/10.46380/rias.v5.e271>
- Jiménez, E., & Villegas, A. (2005). Diseño de un sistema de biofiltración para la remoción de estireno. *Revista EIA*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n3/n3a02.pdf>
- Kadlec, R., & Wallace, S. (2008). *Tratamiento de humedales*. Prensa CRC.
doi:<https://doi.org/10.1201/9781420012514>
- León, R., Pernía, B., Siguencia, R., Franco, S., Noboa, A., & Cornejo, X. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas. *Enfoque UTE*, 9(4). doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.286>
- Li, J., Xu, C., Zhang, Y., Tang, X., Qi, W., & Wang, Q. (2018). Gravity-directed separation of both immiscible and emulsified oil/water mixtures utilizing coconut shell layer. *Journal of Colloid and Interface Science*, 511.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.09.111>
- Lopez, A. (2022). *Fitorremediación con Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes en aguas residuales domésticas del vertimiento Atun quebrada, Yurimaguas 2022*. [Tesis de grado]: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/144568>
- Losada, V., Romero, A., Cuéllar, L., & Bautista, A. (2021). *Evaluación de la eficiencia de biofiltros artesanales para la remoción de la carga contaminante en aguas grises*. Desarrollo e Innovación en Ingeniería. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8749415>
- Manjarres, D. (2023). *Evaluación de un biofiltro de lombrices para la disminución de la carga orgánica en las aguas residuales del Camal Municipal de Pelileo*. [Tesis de grado]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad De Ciencias. Obtenido de Escuela superior politecnica de chimborazo: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22108>
- Martínez, I., Santiago, C., Hernández, L., & Aguilar, F. (2021). Tratamiento de agua residual de beneficio de café mediante un biofiltro de bajo costo. *Revista Ingeniantes*, 8(1). Obtenido de <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes8no1vol1/8%20Biofitro%20c%20afe.pdf>
- Micronics Engineered Filtration Group - Micronics. (2023). *Aguas residuales industriales: ¿Qué es y de dónde viene?* Obtenido de Engineered Filtration Group: <https://www.micronicsinc.com/es/filtration-news/what-is-industrial-wastewater/>
- Ministerio de Energía y Minas - MINEM. (13 de Julio de 2024). MINEM impulsa declaratoria de Emergencia la cuenca del río Coralaque en Moquegua y denuncia a minera Aruntani. *Plataforma del Estado Peruano*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/988373-minem-impulsa-declaratoria-de-emergencia-la-cuenca-del-rio-coralaque-en-moquegua-y-denuncia-a-minera-aruntani>
- Ministerio del Ambiente - MINAM . (18 de Junio de 2020). *Proyecto Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema TDPS*. Obtenido de SINIA: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/proyecto-gestion-integrada-recursos-hidricos-sistema-tdps>

- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2011). *Compendio de la Legislación Ambiental Peruana* (Vol. 5). Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio_05_-_calidad_ambiental_2.pdf
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (Junio de 2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM*, págs. 8-10. Obtenido de Ministerio del ambiente: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España - MITECO. (2020). *Elodea canadensis Michx.* Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/elodea_canadensis_tcm30-70101.pdf
- Mocha, J., Moreira, F., & Alcívar, F. (2021). *Filtro gravitatorio con piedra pómez molida para el tratamiento primario de aguas residuales porcinas*. [Tesis de licenciatura]: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Obtenido de <https://agris.fao.org/search/en/providers/124692/records/669e7a4000eb85b7d72b8967>
- Molinos & Cía. (2024). *Uso Eficiente del Agua en el Cultivo de Papa*. Obtenido de Molinos & Cía: <https://www.molinosycia.com/uso-eficiente-del-agua-cultivo-de-papa/>
- Montano, A. (2022). *Efectividad de la fitorremediación utilizando Eichhornia crassipes para reducir Mg, Zn, Cu y Cd en las aguas de la cuenca baja del río Moche*. [Tesis de grado]: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/39620>
- Montaño, F. (08 de Agosto de 2021). Minera Aruntani fue sancionada 21 veces por el OEFA, pero sigue contaminando ríos de Moquegua y Arequipa. *Convoca*. Obtenido de MINERA ARUNTANI FUE SANCIONADA 21 VECES POR EL OEFA, PERO SIGUE CONTAMINANDO RÍOS DE MOQUEGUA Y AREQUIPA: <https://convoca.pe/agenda-propia/minera-aruntani-fue-sancionada-21-veces-por-el-oefa-pero-sigue-contaminando-rios-de>
- Morales, E., & Rivera, S. (2015). Ocurrencia de *Batrachospermum macrosporum* y su fase Chantransia (=Audouinella macrospora) en la cuenca del río Yacuma (Beni, Bolivia). *Acta Nova*, 7(1). Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v7n1/v7n1_a03.pdf
- Morales, E., Reyes, J., Quiñones, L., & Milla, M. (2019). Efecto del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la depuración del agua residual del colector Santa Lucía-Chachapoyas. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(4). Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2673/2706>
- N°047-2017-ANA-AAA, R. a. (26 de Mayo de 2017). *Plataforma del estado peruano*. Obtenido de Plataforma del estado peruano: <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/30-ra-0047-2017-2.pdf>
- Navidad, E. (2024). *Eficiencia de tres sistemas por vermifiltración para la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas*. [Tesis de grado]: Universidad Nacional Federico Villarreal. Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Obtenido de Repositorio UTA: <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/10430/Navidad%20Carascal%20C%20Eder%20Richard%20%28FIGAE%20%20T%C3%ADtulo%20profesional%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Neaman, A. (2022). Fitoextracción de metales desde suelos contaminados: Una idea utópica. *Idesia (Arica)*, 40(4), 3. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000400002>
- Nestares P., A., Camargo S., M., & Bráñez T., L. (2018). *CULTIVO DE ALFALFA MEDIANTE UNA PROPUESTA*. Obtenido de INIA:

- <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/326495b9-812e-46cf-8b68-7e3baef77e6d/content>
- Neves, D., Lima, C., Furlanetto, A., & Oliveira, S. (2022). Seasonal variation in the phytoremediation by *Pontederia crassipes* (Mart) Solms (water hyacinth) and its associated microbiota. *Ecological Engineering*, 183(106744). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106744>
- Núñez, F. (2021). *Jacinto de Agua y tiempo de permanencia en el proceso de fitorremediación de las Lagunas PTAR-El Indio*. [Tesis de maestro]: Universidad Nacional de Piura. Obtenido de Escuela posgrado: <https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a184069b-1a9b-4b79-a93c-d6c0e54fc1bd/content>
- Ocampo, M., & Santa, C. (2022). Tratamiento de aguas residuales. *Oficina de Información Científica y Tecnológica - INCyTU*. Obtenido de https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf
- Pabón, S., Benítez, R., Sarría, R., & Gallo, J. (2021). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de eliminación. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 10. doi:<https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- PCM. (2021). *D.S. N° 135-2021-PCM*. Moquegua.
- Pizarro, H. (2022). Aguas Residuales Agrícolas: Características, Impactos y Soluciones Sostenibles. *Instituto del agua*. Obtenido de institutodelagua: <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/aguas-residuales-agricolas-caracteristicasaguas-residuales/>
- premiertechaqua. (2020). *Aguas residuales*. Obtenido de Premier Tech: <https://www.premiertechaqua.com/es-es/aguas-residuales/por-que-ecoflo-utiliza-un-filtro-de-fragmentos-de-cascara-de-coco#sustainability>
- Presidencia del Consejo de Ministros - PCM. (Agosto de 2021). Decreto Supremo que prorroga el Estado de Emergencia en los distritos de Mejía, Mollendo e Islay de la provincia de Islay, del departamento de Arequipa, por peligro inminente ante contaminación hídrica. *Decreto Supremo N° 147-2021-PCM*. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1978978-3>
- Presidencia del Consejo de Ministros - PCM. (23 de Mayo de 2021). Estado de Emergencia en los distritos de Chojata, Matalaque, Quinistaquillas, Coalaque, Omate y La Capilla de la provincia de General Sánchez Cerro y en los distritos de Carumas, Cuchumbaya y San Cristóbal del departamento de Moquegua. *D.S. N°103-2021-PCM*. Obtenido de D.S. N°103-2021-PCM: https://busquedas.elperuano.pe/api/visor_html/1955636-1
- Prieto, A. (2019). *Implementación y evaluación de dos filtros de cascarilla de arroz y luffa para el tratamiento de agua de escorrentía de techo del Edificio I de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*. [Tesis de maestro]: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/963>
- Red Canaria de Alerta Temprana de Especies Exóticas Invasoras - REDEXOS. (2025). *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. *Gobierno de Canarias*. Obtenido de <https://www.biodiversidadcanarias.es/exos/especie/E09549>
- Rivera, M., Barahona, W., Costales, J., Lalvay, X., & Guachichullca, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 228-245. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>
- Roncal, N., & Villanueva, C. (2021). Eficiencia del carbón activado de cascarilla de arroz como adsorbente en remoción de metales pesados de efluentes industriales-Cajamarca

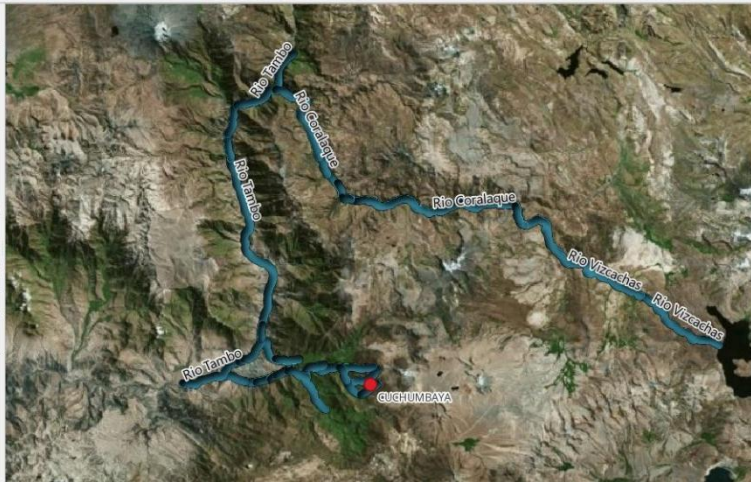
2021. *Universidad Privada del Norte*, [Tesis de grado]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/29031>
- Sandoval, B. (21 de Abril de 2022). *Eficiencia de la vetiveria (Chrysopogon zizanioides) en la rizofiltración de suelos agrícolas contaminados con metales, en el caserío de Plazapampa – distrito Salpo – provincia Otuzco – La Libertad*. [Tesis de grado]: Universidad Privada del Norte. Obtenido de Repositorio institucional UPN: <https://hdl.handle.net/11537/30808>
- Sandoval, L., & Yupanqui, J. (2023). *Aplicación del carbón activado granular y carbón activado en polvo como filtrantes para la mejora de la calidad de agua del río Alameda, Ayacucho*. [Tesis de grado]: Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13861/9/IV_FIN_107_T_E_Sandoval_Yupanqui_2023.pdf
- Santasmasas, C. (2018). Aguas grises: origen , composición y tecnologías para su reciclaje. *Asociación Española de Empresas del Sector del Agua*. Obtenido de AQUAESPÑA: https://aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Pildora_08-Grises_origen.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (Niviembre de 2016). *Ciclos Horarios de Precipitación en el Perú utilizando información satelital*. Ministerio del ambiente. Obtenido de Plataforma del estado peruano: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-34.pdf>
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental - SPDA. (30 de Abril de 2018). Moquegua: Ordenan cerrar depósito de minera Aruntani por contaminar río Coralaque. *OEFA*. Obtenido de Moquegua: Ordenan cerrar depósito de minera Aruntani por contaminar río Coralaque: <https://www.actualidadambiental.pe/moquegua-ordenan-cerrar-deposito-de-minera-aruntani-por-contaminar-rio-coralaque/>
- Solis, J. (2023). *Influencia del empleo de un filtro ablandador multimedia en la reducción de la concentración de carbonatos presentes en el agua para consumo humano del centro poblado Casa Blanca del distrito de Santiago-Ica-2021*. [Tesis de maestro]: Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Obtenido de Repositorio UNICA: <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ad475fe5-2b44-4f11-a676-c6f2adcc7510/content>
- Sousa, V., Quadros, D., Oliveira, T., Teixeira, R., Silva, M., & Nascimento, R. (2014). Evaluación de nuevos adsorbentes de cáscara de coco modificados químicamente con ácido tánico para la eliminación de Cu (II) de aguas residuales. *Applied Polymer Science*, 131(18). doi:10.1002/app.40744
- Tapia, F., & Villavicencio, A. (2007). Uso de Biofiltros para mejorar la calidad del agua de riego. *Boletín INIA N, 170*. Obtenido de Biblioteca Digital INIA: https://www.arcuma.com/tutoriales/Uso_de_Biofiltros_para_Mejorar_el_Agua_de_Riego.pdf
- Tejada-Tova, C., Paz-Astudillo, I., Villabona-Ortíz, A., Espinosa-Fortich, M., & López-Badel, C. (2018). Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 211-221. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n2/ind03218.pdf>
- Torrado, N., Ortega, F., Martínez, G., & Fernández, I. (2010). Análisis del ciclo de vida de la fitorremediación en vertederos industriales. *Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos (Madrid)*, 3. Obtenido de <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/2085>
- Tribunal de Fiscalización Ambiental - OEFA/TFA. (Octubre de 2021). Se confirma la Resolución N° 0043-2021-OEFA/DSEM del 05 de marzo de 2021 mediante la cual se

- ordenó a Aruntani S.A.C. el cumplimiento de las tres medidas preventivas descritas en el Cuadro N° 1 de la presente resolución. *Resolución N° 338-2021-OEFA/TFA-SE*. Obtenido de Plataforma del estado peruano: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2390178/Resoluci%C3%B3n%20N%C2%B0%20338-2021-OEFA/TFA-SE.pdf>
- Universidad Católica San Pablo - UCSP. (23 de Enero de 2017). *Metales pesados*. Obtenido de Facultad de Ciencias de la Salud - FACSA: <https://www.facsa.com/metales-pesados/>
- Vásconez, V. (2017). *Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento Ocaña del Cantón Quero*. [tesis de pregrado]: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27232>.
- Vergara, D. (2015). Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia. *Tecnológico de Antioquia*, 7(1), 99 - 107. Obtenido de <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/25>
- Villanueva, A., & López, H. (2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco. *Revista de Tecnología y Sociedad*, 4(7), 33. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5815442>
- Wei, Z., Gu, H., Le, Q., Peng, W., Lam, S., Yang, Y., . . . Sonne, C. (2021). Perspectives on phytoremediation of zinc pollution in air, water and soil. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 24(100550). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100550>

ANEXOS

Anexo A

Geo referencia

Georeferenciación
Cuando se vaya a campo se ejecutará un aspecto más concreto del punto donde se tomará la muestra de agua del distrito de Cuchumbaya para el análisis. De momento se tiene una georreferencia muy general pauteando en qué punto sería el muestreo, una vez en el desarrollo del trabajo ya en el campo el punto de muestreo se podrá georreferenciar ya con coordenadas exactas.

Como se puede visualizar en la imagen, el agua que desemboca de la represa Pasto grande se desliza por el río vizcachas, uniéndose posteriormente con el río Coralaque, para luego seguir uniéndose y pasar a ser el río Tambo donde finalmente termina llegando al distrito de Cuchumbaya para ser usada para el riego de sus cultivos.

Anexo B

Cálculo de dimensiones biofiltro

Cálculo de Dimensiones Biofiltro
– A piedra – B Carbón activado – C cascarilla de arroz
Medias filtrantes
• Fundamentación para la piedra pómez
En la investigación de García & Saldarriaga (2020) se ha establecido una dimensión de piedra pómez de 3 cm para su tratamiento filtrante. Al referirnos a otra investigación relacionada con la piedra pómez, específicamente la de Jiménez & Villegas (2005), encontramos que también proponen una dimensión de 3 cm para el filtro de piedra pómez. Como primera alternativa para nuestra investigación, se definieron dos rangos de altura de piedra pómez, siendo estos de 8 cm y 12 cm.

	Altura mínima	Altura máxima
Piedra pómez	8 cm	12cm

$$(\rho) = \text{piedra pómez} = 0.4 - 0.9 \text{ gr/ m}^3 = 0.7 \text{ gr/ m}^3$$

altura	Resultados	Tiempo
3 cm (15,16cm)	remoción de hidrocarburos con un 98,18%.	120 minutos

- Fundamentación para carbón activado

Según la investigación de Sandoval & Yupanqui (2023), en su investigación sobre procesos de fitorremediación, se recomienda el uso de carbón activado de coco con una dimensión de 25 cm de su biofiltro por lo apropiado y relacionado con nuestra investigación por lo cual se tomó en cuenta como una base para la presente investigación. En un principio, consideramos como primera opción un envase con un diámetro de 15 cm y alturas de 15 cm y 18 cm (Aaron, 2022).

	Altura mínima	Altura máxima
Carbón activado	6 -15cm	8-18cm

$$(\rho) = \text{carbón activado} = 4,5 \text{ gr/ m}^3$$

altura	Resultados	Tiempo
9.5 cm	metales pesados 93% DBO5 y DQO 96%	30 minutos

- Fundamentación para cascarilla de arroz

En la investigación titulada "Implementación y evaluación de dos filtros de cascarilla de arroz y luffa para el tratamiento de agua de escorrentía de techo del Edificio de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito" realizada por Prieto (2019), se destaca la cascarilla de arroz como un medio filtrante relevante con características deseables para el tratamiento de agua. Jácome & Escobar (2022) utiliza una altura de 30 cm en su biofiltro. Considerando esta referencia, optamos por dos valores cercanos, siendo 20 cm y 25 cm.

	Altura mínima	Altura máxima
Cascarilla de arroz	20cm	25cm

$$(\rho) = \text{carbón activado} = 1.42 \text{ gr/ m}^3$$

Anexo C

Fitorremediación

Fitorremediación
Según la información recopilada por la Red Canaria de Alerta Temprana de Especies Exóticas Invasoras (REDEXOS, 2025); se han evaluado las estructuras de las plantas, tienen un diámetro aproximado de 10 a 15 cm , para esta investigación se tomarán plantas que sean alrededor de los 10 cm, en el recipiente donde van a estar ubicadas las plantas tiene una dimensión de 80 cm de largo, 50 de ancho, una altura de 22.5 cm y un área de 0.2 m ² , si se procede a calcular el área circular de la planta de 0.01 m ² y se hace una comparativa con el área total del envase de 0,4 m ² se puede aproximar que el número de plantas que puede entrar aquí es de 20, sin embargo por practicidad y cuidado el espacio de cada una se tomará 15 plantas en buen estado

Dimensiones del envase

Diámetro de la *Eichhornia crassipes* = 0.1m =10 cm

$$\text{Área}_{EC} = L * L$$

$$\text{Á}_{EC} = 10 * 10$$

$$\text{Á}_{EC} = 100 \text{ cm}^2$$

$$\text{Á}_{EC} = 0.01 \text{ m}^2$$

En nuestra investigación haremos uso de 20 plantas, por lo cual tendríamos que el área total que abarcaran las plantas será de:

$$\text{Área}_{Total} = D_{EC} * N^{\circ} \text{plantas}$$

$$\text{Área}_{Total} = 100 \text{ cm}^2 * 20$$

$$\text{Área}_{Total} = 2000 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área}_{Total} = 0.2 \text{ m}^2$$

0.2 m² sería el valor que nos indica cuanto es el espacio necesario para nuestras plantas en el envase.

Ahora se procederá a calcular la altura de nuestro recipiente haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$V = 10 \text{ L}$$

$$V = 50 \text{ m} \cdot 80 \text{ m} \cdot X$$

$$0.01 = 0.4 X \text{ m}^2$$

$$\frac{0.01 \text{ m}^3}{0.4 \text{ m}^2} = X \text{ m}$$

$$0.025 \text{ m} = X$$

$$2.50 \text{ cm} = X$$

Altura de la planta 20 cm

$$20 \text{ cm} + 2.5 \text{ cm} = x$$

$$22.5 \text{ cm}$$

Agrandamos más para redondear

$$25 \text{ cm}$$

Para tener una mayor libertad y por alternativas de practicidad consideraremos el cuadro de altura para evitar rebalses o molestias a la hora de la experimentación

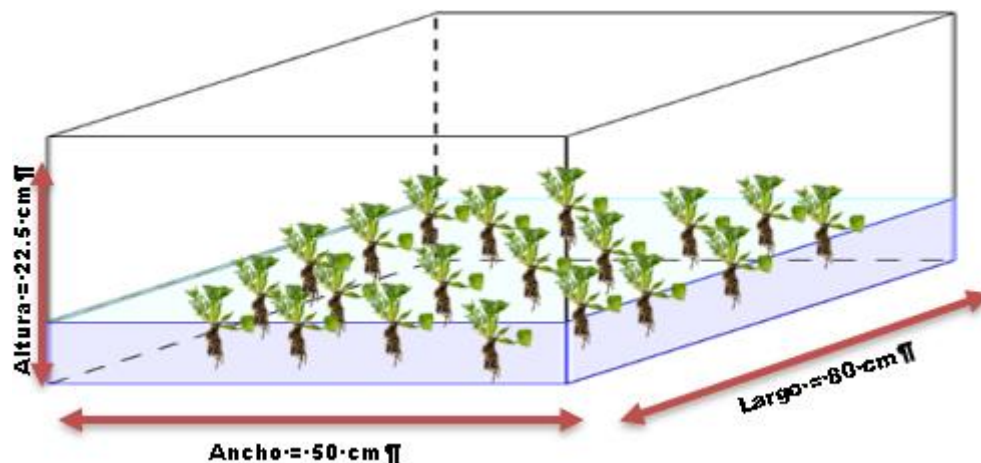
Por lo cual tomando en consideración cada una de las características propias de la plantase diseñó un envase donde se realizará nuestra fitorremediación con las siguientes medidas:

Alto: 22.5 cm

Largo: 80 cm

Ancho: 50 cm

Largo: 80 cm



Litros totales

LB = litros de biofiltro

NB= número de biofiltro

LT = LB*NB

LT = 5.5 L *1

LT = 5.5 litros

LT = 5.5 litros * 1.75 = 9.625 litros = **10 litros**

Anexo D

Formato de Identificación del Punto de Monitoreo

Registro de Identificación del Punto de Monitoreo		
Nombre del cuerpo de agua:		
Clasificación del cuerpo de agua:		
(Categorizado de acuerdo a la R.L. N°282-2010-ANA y modificaciones posteriores)		
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero:		
(Código Plataforma)		
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO		
Código del punto de monitoreo:		
(Según lo indicado en Item 6.3.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)		
Descripción:		
(Origen/Ubicación)		
Accesibilidad:		
(Describir detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)		
Representatividad:		
(Describir el tramo de río o quebrada o la bahía o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)		
Finalidad del monitoreo:		
(Describir la finalidad del punto de monitoreo: Vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una fuente contaminante,)		
Reconocimiento del Entorno:		
(Indicar referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo.)		
UBICACIÓN		
Distrito:	Provincia:	Departamento:
Localidad:		
Coordenadas (WGS84):	Sistema de coordenadas: ☐ Proyección UTM	
	☐ Geográficas	
Norte/Latitud:	Zona:	(17, 18 o 19; para UTM solamente)
Este/Longitud:	Altitud:	(metros sobre el nivel del mar)
Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo (referencia) Fotografía: (tomada a un mínimo de 20 mts. de distancia del punto de monitoreo)		
Elaborado por _____ Fecha _____		

Anexo E

Materiales y equipos necesarios para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

Medios de transporte	Vehículo para transporte terrestre (camioneta) y acuático (embarcación, zodiac, lancha) ¹
Materiales	Cooler grandes y pequeños, frascos de plásticos y vidrio ² , baldes de plástico transparente de primer uso y limpios (4-20 litros de volumen), guantes descartables ³ , mascarillas ³ , pizetas, refrigerantes
Equipos	GPS, correntómetro, multiparámetro ⁴ , cámara fotográfica, botellas hidrográficas, brazo muestreador
Soluciones y reactivos	Agua destilada, preservantes ² , soluciones estándar (pH, conductividad, etc.)
Formatos	Etiquetas (anexo II), registro de datos de campo (anexo I), cadena de custodia (anexo III)
Permisos	Recursos hídricos marinos y lacustres: DICAPI Embalses: operador hidráulico Otros permisos en caso se requieran en la zona de intervención
Material cartográfico	Mapa hidrográfico o marino según corresponda
Indumentaria de protección	Zapatos de seguridad, botas de jebe cortas, botas de jebe musleras, vestimenta de seguridad con cinta reflectiva (pantalón, polo o camisa de manga larga, casaca, chaleco), lentes, casco, gorra, ponchos impermeables, arnés, chaleco salvavidas
Otros	Plumones indelebles, lápices, cinta adhesiva, papel secante, libreta de campo, soga, cinta métrica, linterna de mano, pizarra acrílica o tablero

Anexo F

Conservación preservación de muestras de agua en función al parámetro evaluado.

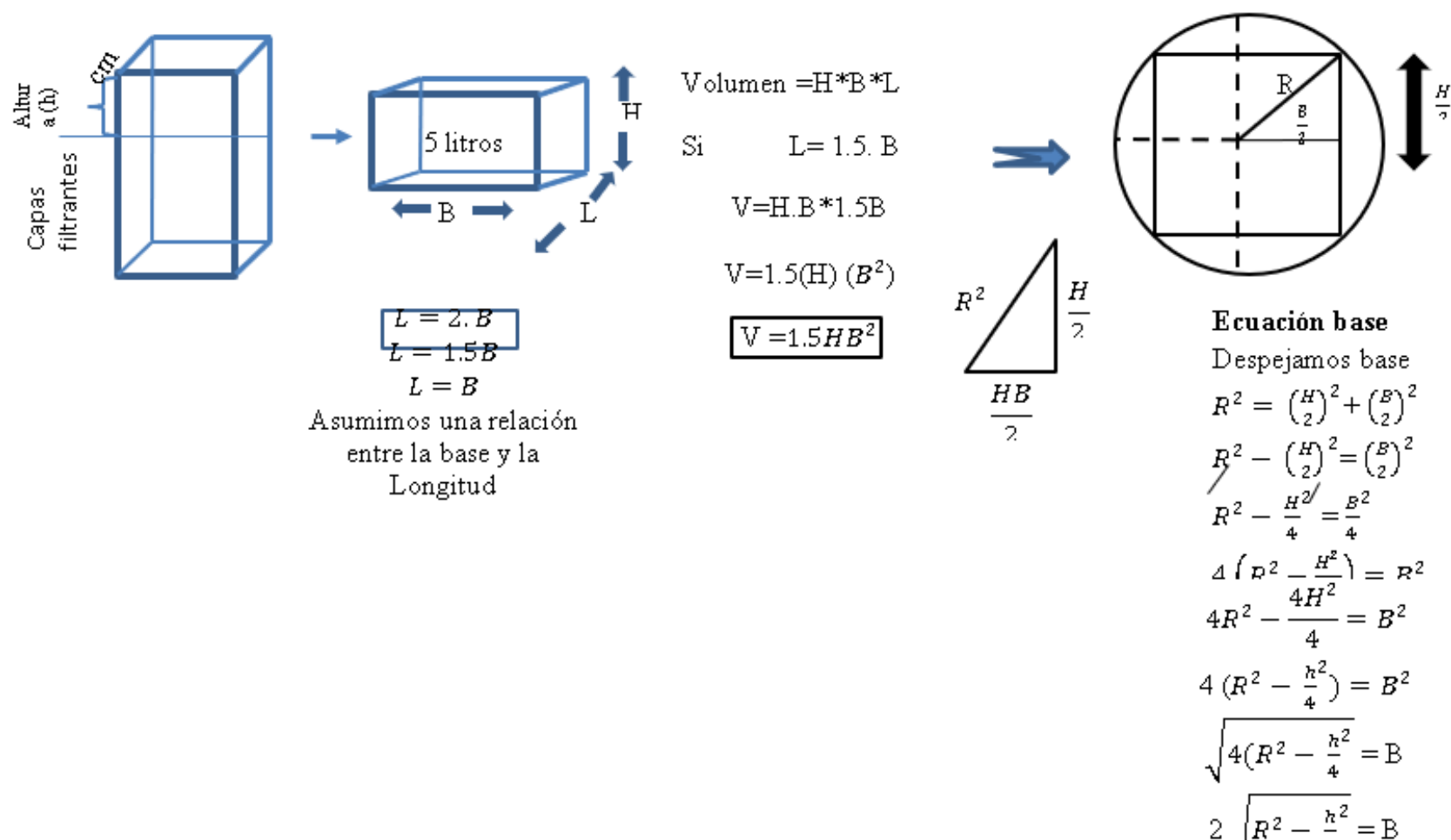
Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i>	24 horas
DBO	Plástico o vidrio	Llenar el recipiente y sellar sin burbujas, almacenar a oscuras o usar botellas oscuras	5 días
Sólidos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	7 días
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i>	Inmediatamente
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Acidificar pH1 – 2 H ₂ SO ₄	6 meses
Aceites y grasas	Vidrio boca ancha	Acidificar pH1 – e con HCl, HNO ₃ o H ₂ SO ₄	1 mes

Nota: Elaborado a base de datos de SENAMHI, 2016

BIHOS LABORATORIOS							
COTIZACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS							
Página 1 de 3							
CODIGO : A-2522-2024							
SOLICITANTE		: BETSY JAQUELINE DELGADO VIZA					
ATENCIÓN		: BETSY JAQUELINE DELGADO VIZA					
EMAIL		: josephacruz110215@gmail.com					
FECHA		: 08/07/2024					
Es grato dirigirse la presente para saludarlo(a), a la vez hacerle llegar la cotización solicitada:							
PRODUCTO:		AGUA SUPERFICIAL				CANTIDAD: 3	
L	M	#	Determinaciones	Vida Útil (a/)	Método	Vías	Precio
FQ	A	153	Sólidos Totales (mg/L)	183	Lab	SMEWW 2540-B	1
FQ	V*	147	Oxígeno Disuelto (mg/L)	8	Lab	SMEWW 4500-O C	1
FQ	V*	157	pH (U de pH)	8	Lab	AOC 973.41	1
FQ	V*	155	Temperatura (°C)	No Aplica	Lab	NTP 254.050	1
FQ	V*	333	Acidos y Grasas (mg/L)	872	Lab	SMEWW 5520 B (M)	1
MB	A	313	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mg/L)	24	Lab	SMEWW 5210-B	1
Costo Unitario							131.01
Total por 3 muestras(s)							394.53
Soles S/ (Incl. IGV)							
DURACIÓN DE LOS ENSAYOS, CANTIDAD DE MUESTRA, CONDICIONES DE TRANSPORTE Y TIEMPO DE VIDA UTIL							
Tiempo de Entrega		8		Días hábiles después de recibida la muestra en el laboratorio.			
Cantidad mínima de muestra requerida ¹		300 Mililitros		Envasado de vidrio con tapa sellada (Vinkler), lleno total, evitando la formación de burbujas, a temperatura de $\leq 8^{\circ}\text{C}$ (FQ)			
		1000 Mililitros		Envasado de vidrio a temperatura de $\leq 8^{\circ}\text{C}$ (FQ)			
		200 Mililitros		Envasado de vidrio y/o polietileno lleno totalmente a temperatura de $\leq 8^{\circ}\text{C}$ (FQ)			
		---		In situ a temperatura de No Aplica (FQ)			
		200 Mililitros		Envasado de vidrio y/o polietileno a temperatura de $\leq 8^{\circ}\text{C}$ (FQ)			
		2000 Mililitros		Frasco de Polietileno de primer uso o vidrio limpio (completamente lleno, sin burbujas), a temperatura de $\leq 8^{\circ}\text{C}$ (MB)			
Condiciones de envío: En contenedor isotérmico sólo o con los Paquetes de acuerdo a la temperatura indicada.							
NOTAS IMPORTANTES							
1. La vida útil es el tiempo máximo que debe transcurrir desde la toma de muestra hasta su ingreso al laboratorio (considerando las condiciones de envío indicadas).							
2. Las cantidades de muestra, tipo de envases indicados y condiciones de transporte son las recomendadas para ejecutar los ensayos. En caso que BIHOS LABORATORIOS le proporcione los envases, las cantidades de muestra están aseguradas para los requerimientos de los ensayos. Para ello, Ud. deberá llenar (de acuerdo a las instrucciones de muestreo alocadas) junto con el material TODOS los envases entregados.							
3. Adicionalmente, los tiempos de vida útil de la muestra indicados son los recomendados por los métodos de ensayo. Si no se siguen estas recomendaciones, BIHOS LABORATORIOS podría observar al momento del ingreso de las muestras. Cualquier observación a la aptitud de muestras durante el ingreso podría llevar a que las determinaciones afectadas, salgan del alcance.							
4. Ante cualquier duda por favor contactarse con el Área de Atención al cliente: (271) 320 - 9 83 76 8883 - 954 06 8810 y estaremos gustosos de atenderlos.							
Gastos Operativos		Cant.		Precio (S/)			
Gastos Operativos		01					
TOTAL		Soles S/ (Incl.IGV)		57,00			

Anexo H

Calculo de las dimensiones del biofiltro



- Sustituimos la anterior relación en la ecuación al volumen del tanque

$$V = 1.5 H * B^2$$

$$V = 1.5 (2\sqrt{R^2 -$$

$$V = 1.5 H (2 R^2 - \frac{H^2}{4})^2$$

$$V = 1.5 H (4)(R^2 - \frac{H^2}{4})$$

$$V = 6H (R^2 - \frac{H^2}{4})$$

$$V = 6HR^2 - \frac{6H^3}{4}$$

$$V = 6HR^2 - \frac{6H^3}{4}$$

$$V = 6 * H * R^2 - 6 * \frac{H^3}{4}$$

- Derivamos la ecuación del volumen respecto a una de las dimensiones del tanque

$$\frac{\partial Vol}{\partial H} = 6 * H * R^2 - \frac{6 * H^3}{4}$$

$$0 = 6 * R^2 - \frac{18}{4} * H^2$$

$$0 = 6 * R^2 - \frac{9}{2} * H^2$$

Despejamos R^2

$$0 = 6 * R^2 - \frac{9}{2} H^2$$

$$\frac{9}{2} H^2 = 6R^2$$

$$\frac{9}{2} H^2 * \frac{1}{6} = R^2$$

$$\frac{3}{4} H^2 = R^2$$

$$\frac{3H^2}{4} = R^2$$

- Obtenemos la relación sustituyendo en la ecuación base

$$R^2 = (\frac{H}{2})^2 + (\frac{B}{2})^2$$

$$\frac{3H^2}{4} = (\frac{H}{2})^2 + (\frac{B}{2})^2$$

$$\begin{aligned}\frac{3H^2}{4} &= \frac{H^2}{4} + \frac{B^2}{4} \\ 3H^2 &= H^2 + B^2 \\ 3 - H^2 &= B^2 \\ 2H^2 &= B \\ \sqrt{2} H &= B\end{aligned}$$

- Sustituimos las relaciones halladas en la ecuación del volumen

$$\begin{aligned}V &= 1.5 H * B^2 \\ V &= 1.5 (H)(\sqrt{2} H)^2 \\ V &= 1.5 (H) (2H^2) \\ V &= 3H^3 \\ \sqrt[3]{\frac{Vol}{3}} &= H\end{aligned}$$

Reemplazamos

Altura

$$\begin{aligned}\sqrt[3]{\frac{Vol}{3}} &= H \\ \sqrt[3]{\frac{0.005}{3}} &= H\end{aligned}$$

Metros 0.1185 = H

Base

$$\begin{aligned}\sqrt{2} H &= B \\ \sqrt{2} (11.85) &= B \\ B &= 16.76 \text{ cm}\end{aligned}$$

Longitud o profundidad

$$\begin{aligned}L &= 1.5 * B \\ L &= 1.5 * 16.76 \\ L &= 1.5 (16.75) \\ L &= 25.14 \text{ cm}\end{aligned}$$

Anexo I

Cálculos de densidad de las capas del biofiltro

Formula:

$$D = \frac{m}{v} \text{ gr/cm}^3$$

D = densidad

m = masa

v= volumen

$$D = \frac{m}{v} \text{ gr/cm}^3$$

- Carbón activado

$$D = \frac{m}{v} \text{ gr/cm}^3$$

Carbón activado $D = 0.6 \text{ gr/cm}^3$

$$V = 25.14 (16.26) (9.5)$$

$$V = 388.34 \text{ cm}^3$$

$$0.6 \text{ gr/cm}^3 = \frac{m}{3883.4 \text{ cm}^3}$$

$$0.6 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 3883.4 \text{ cm}^3 = m$$

$$2330.04 \text{ g} = m$$

- Cascarilla de arroz

$$0.108 \text{ gr/cm}^3$$

$$v = 25.12 (16.26) (30)$$

Cascarilla arroz $D =$

$$v = 12,263.292 \text{ cm}^3$$

$$0.108 \text{ gr/cm}^3 = \frac{m}{12263.293 \text{ cm}^3}$$

$$0.108 \text{ gr/cm}^3 * 12263.293 = m$$

$$1,324.43554 \text{ g} = m$$

- Arena gruesa

Arena gruesa $D = 1100 \text{ kg/cm}^3$

$$v = 25.14 (16.26) (5.5)$$

$$v = 2248.2702 \text{ cm}^3$$

$$1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000000} * \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} = 1.1 \text{ gr/cm}^3$$

$$1.1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{m}{22,48.3 \text{ cm}^3}$$

$$1.1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 2,248.3 \text{ cm}^3 = m$$

$$247.8 \text{ gr} = v$$

- Arena fina

Arena fina $D = 1.44 \text{ gr/cm}^3$ $v = 25.12 (16.26) (30)$

$$v = 25.14 (16.26) (5.5)$$

$$v = 2248.2702 \text{ cm}^3$$

$$1.44 \text{ gr/cm}^3 = \frac{m}{2248.2702 \text{ cm}^3}$$

$$1.44 \text{ gr/cm}^3 * 2248.2702 = m$$

$$3237.50 \text{ g} = m$$

- Piedra pómez

Piedra pómez $D = 0.46 \text{ gr/cm}^3$

$$v = 25.14 (16.26) (3)$$

$$v = 1226.3292 \text{ cm}^3$$

$$0.46 \text{ gr/cm}^3 = \frac{m}{1226.3292 \text{ cm}^3}$$

$$1 \quad 0.46 \text{ gr/cm}^3 * 1226.3292 = m$$

$$564.11 \text{ g} = m$$

Anexo J

Resultados del laboratorio de agua superficial (DBO) del mes de setiembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umecollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucam.edu.pe 🌐 http://www.ucam.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16I24.005424C

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jacqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jacqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial 3

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/09/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/09/2024 al 23/09/2024
Fecha de emisión de informe : 26/09/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	15,45

OBSERVACIONES:

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


R. F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQF04 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo K

Resultados del laboratorio de agua superficial (sólidos totales) del mes de setiembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16I24.005424D

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial 4

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/09/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/09/2024 al 23/09/2024
Fecha de emisión de informe : 26/09/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	mg/L	150

OBSERVACIONES:

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


O.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Anexo L

Resultados del laboratorio de agua superficial (metales pesados) del mes de setiembre



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umecollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16I24.005424B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial 2

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/09/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/09/2024 al 23/09/2024
Fecha de emisión de informe : 26/09/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,003
Al	mg/L	5,224
As	mg/L	0,129
B	mg/L	0,030
Ba	mg/L	0,81
Be	mg/L	0,12
Ca	mg/L	8,505
Cd	mg/L	0,020
Co	mg/L	0,027
Cr	mg/L	0,16
Cu	mg/L	0,24
Fe	mg/L	0,640
K	mg/L	5,857
Li	mg/L	0,007
Mg	mg/L	2,793
Mn	mg/L	0,196
Mo	mg/L	0,057
Na	mg/L	5,765
Ni	mg/L	0,012
P	mg/L	0,095
Pb	mg/L	0,169
Sb	mg/L	0,062
Se	mg/L	0,034
Si	mg/L	33,900
Sn	mg/L	0,073
Sr	mg/L	0,078

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16I24.005424B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial 2

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/09/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/09/2024 al 23/09/2024
Fecha de emisión de informe : 26/09/2024
Página : 2 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ti	mg/L	0,074
Tl	mg/L	0,025
V	mg/L	0,015
Zn	mg/L	2.3

OBSERVACIONES:

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


C.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQPCA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo M

Resultados del laboratorio de agua superficial (Aceites y grasas) del mes de setiembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16I24.005424A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/09/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/09/2024 al 23/09/2024
Fecha de emisión de informe : 26/09/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	< 0,01

OBSERVACIONES:

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


O. F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFCA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Anexo N

Resultados del laboratorio de agua superficial (DBO)) del mes de octubre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1168
✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16J24.005454D

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial D

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/10/2024 al 21/10/2024
Fecha de emisión de informe : 22/10/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	16.01

OBSERVACIONES:

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


O.F. Ricardo A. April Ramírez
CQPCA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo O

Resultados del laboratorio de agua superficial (sólidos totales) del mes de octubre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16J24.005454A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial A

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

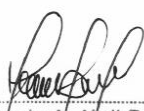
Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/10/2024 al 21/10/2024
Fecha de emisión de informe : 22/10/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	mg/L	333,50

OBSERVACIONES:

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


O. F. Ricardo A. Abril Ramirez
CQFCA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Anexo P

Resultados del laboratorio de agua superficial (metales pesados) del mes de octubre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1168
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16J24.005454C

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial C

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/10/2024 al 21/10/2024
Fecha de emisión de informe : 22/10/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,000
Al	mg/L	3,126
As	mg/L	0,028
B	mg/L	0,005
Ba	mg/L	0,005
Be	mg/L	0,007
Ca	mg/L	154,700
Cd	mg/L	0,043
Co	mg/L	0,008
Cr	mg/L	0,044
Cu	mg/L	0,030
Fe	mg/L	0,052
K	mg/L	16,050
Li	mg/L	0,100
Mg	mg/L	63,740
Mn	mg/L	0,107
Mo	mg/L	0,007
Na	mg/L	159,100
Ni	mg/L	0,010
P	mg/L	0,124
Pb	mg/L	0,060
Sb	mg/L	0,053
Se	mg/L	0,004
Si	mg/L	30,330
Sn	mg/L	0,004
Sr	mg/L	0,005

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16J24.005454C

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial C

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/10/2024 al 21/10/2024
Fecha de emisión de informe : 22/10/2024
Página : 2 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ti	mg/L	0,002
Ti	mg/L	0,002
V	mg/L	0,001
Zn	mg/L	0,021

OBSERVACIONES:

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


O.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFCA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo Q

Resultados del laboratorio de agua superficial (aceites y grasas) del mes de octubre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16J24.005454B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial B

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 16/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/10/2024 al 21/10/2024
Fecha de emisión de informe : 22/10/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	21,00

OBSERVACIONES:

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


C.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFPA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Anexo R

Resultados del laboratorio de agua superficial (aceites y grasas, sólidos totales, metales pesados y DBO) del mes de noviembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA15K24.005485

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 04 unidades x 250 mL
Fecha de recepción : 15/11/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 15/11/2024 al 25/11/2024
Fecha de emisión de informe : 26/11/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standars Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	28,00
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	mg/L	26,00

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic
Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,000
Al	mg/L	1,867
As	mg/L	0,141
B	mg/L	0,098
Ba	mg/L	0,011
Be	mg/L	0,009
Ca	mg/L	10,680
Cd	mg/L	0,0197
Co	mg/L	0,009
Cr	mg/L	0,000
Cu	mg/L	0,047
Fe	mg/L	3,448
K	mg/L	7,619
Li	mg/L	0,136
Mg	mg/L	2,880
Mn	mg/L	0,013
Mo	mg/L	0,000
Na	mg/L	26,900
Ni	mg/L	0,011
P	mg/L	0,203
Pb	mg/L	0,010
Sb	mg/L	0,004
Se	mg/L	0,010

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



INFORME DE ENSAYO N° ANA15K24.005485

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua superficial

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 04 unidades x 250 mL
Fecha de recepción : 15/11/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 15/11/2024 al 25/11/2024
Fecha de emisión de informe : 26/11/2024
Página : 2 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Si	mg/L	13,550
Sn	mg/L	0,004
Sr	mg/L	0,015
Ti	mg/L	0,003
Tl	mg/L	0,004
V	mg/L	0,002
Zn	mg/L	0,014

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	5,50

OBSERVACIONES:

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


C.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo S

Resultados del laboratorio del fitorremediador (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de octubre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 + 51 54 382038 ANEXO 1166
laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe http://www.ucsm.edu.pe Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA04J24.005441A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua fitoremediador

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 500 mL
Fecha de recepción : 04/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/10/2024 al 11/10/2024
Fecha de emisión de informe : 11/10/2024
Página : 1 de 3

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	mg/L	30,00
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	225,50

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic
Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,003
Al	mg/L	0,000
As	mg/L	0,133
B	mg/L	0,080
Ba	mg/L	0,026
Be	mg/L	0,025
Ca	mg/L	13,890
Cd	mg/L	0,000
Co	mg/L	0,028
Cr	mg/L	0,045
Cu	mg/L	0,191
Fe	mg/L	0,093
K	mg/L	14,520
Li	mg/L	0,014
Mg	mg/L	5,131
Mn	mg/L	0,005
Mo	mg/L	0,061



INFORME DE ENSAYO N° ANA04J24.005441A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua fitoremediador

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 500 mL
Fecha de recepción : 04/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/10/2024 al 11/10/2024
Fecha de emisión de informe : 11/10/2024
Página : 2 de 3

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Na	mg/L	11,330
Ni	mg/L	0,012
P	mg/L	0,808
Pb	mg/L	0,069
Sb	mg/L	0,060
Se	mg/L	0,036
Si	mg/L	0,135
Sn	mg/L	0,075
Sr	mg/L	0,108
Ti	mg/L	0,073
Tl	mg/L	0,028
V	mg/L	0,015
Zn	mg/L	0,037

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 ppm	6,95



INFORME DE ENSAYO N° ANA04J24.005441A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua fitoremediador

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 500 mL
Fecha de recepción : 04/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/10/2024 al 11/10/2024
Fecha de emisión de informe : 11/10/2024
Página : 3 de 3

OBSERVACIONES:

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


R. F. Ricardo A. April Ramírez
CQPCA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo T

Resultados del laboratorio del tren de tratamiento (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de octubre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Uniconta CAMPUS UNIVERSITARIO 84-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1188
 ✉ laboratorio@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1150
 AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA04J24.005441B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
 Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
 RUC : No corresponde
 Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
 Descripción de la muestra : Agua biofiltro

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
 Tamaño de muestra : 500 mL
 Fecha de recepción : 04/10/2024
 Fecha de ejecución de ensayo : 04/10/2024 al 11/10/2024
 Fecha de emisión de informe : 11/10/2024
 Página : 1 de 3

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	mg/L	34,00
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	447,00

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,003
Al	mg/L	0,012
As	mg/L	0,132
B	mg/L	0,108
Ba	mg/L	0,073
Be	mg/L	0,007
Ca	mg/L	17,910
Cd	mg/L	0,000
Co	mg/L	0,027
Cr	mg/L	0,044
Cu	mg/L	0,018
Fe	mg/L	0,081
K	mg/L	5,943
Li	mg/L	0,067
Mg	mg/L	5,668
Mn	mg/L	0,005
Mo	mg/L	0,058



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Unacolo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 362038 ANEXO 1166
23 laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 ApBis: 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA04J24.005441B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua biofiltro

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 500 mL
Fecha de recepción : 04/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/10/2024 al 11/10/2024
Fecha de emisión de informe : 11/10/2024
Página : 2 de 3

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic
Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Na	mg/L	26,010
Ni	mg/L	0,012
P	mg/L	0,271
Pb	mg/L	0,134
Sb	mg/L	0,067
Se	mg/L	0,018
Si	mg/L	0,122
Sn	mg/L	0,072
Sr	mg/L	0,139
Ti	mg/L	0,073
Tl	mg/L	0,024
V	mg/L	0,015
Zn	mg/L	0,061

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 ppm	9,25



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacoto CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1198
✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA04J24.005441B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua biofiltro

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 500 mL
Fecha de recepción : 04/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/10/2024 al 11/10/2024
Fecha de emisión de informe : 11/10/2024
Página : 3 de 3

OBSERVACIONES:

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


F. Ricardo A. Abril Ramirez
CQFPA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo U

Resultados del laboratorio del fitorremediador (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de noviembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA04K24.005477B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua fito remediador

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/11/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/11/2024 al 12/11/2024
Fecha de emisión de informe : 13/11/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	26,00
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	mg/L	361,00

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,000
Al	mg/L	0,263
As	mg/L	0,003
B	mg/L	0,048
Ba	mg/L	0,008
Be	mg/L	0,002
Ca	mg/L	14,539
Cd	mg/L	0,004
Co	mg/L	0,006
Cr	mg/L	0,000
Cu	mg/L	0,070
Fe	mg/L	0,130
K	mg/L	10,675
Li	mg/L	0,029
Mg	mg/L	5,401
Mn	mg/L	0,004
Mo	mg/L	0,000
Na	mg/L	22,148
Ni	mg/L	0,002
P	mg/L	0,550
Pb	mg/L	0,013
Sb	mg/L	0,002
Se	mg/L	0,008

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



INFORME DE ENSAYO N° ANA04K24.005477B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua fito remediador

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/11/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/11/2024 al 12/11/2024
Fecha de emisión de informe : 13/11/2024
Página : 2 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Si	mg/L	6,906
Sn	mg/L	0,005
Sr	mg/L	0,002
Ti	mg/L	0,000
Tl	mg/L	0,004
V	mg/L	0,001
Zn	mg/L	0,000

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	0,75

OBSERVACIONES:

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



Firmado digitalmente por:
RICARDO ALONSO ABRIL
RAMIREZ DNI:29651987
RUC:20141637941
Motivo:
Fecha: 14/11/2024 14:30:32-0500

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo V

Resultados del laboratorio del tren de tratamiento (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de noviembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1168
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA04K24.005477A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua biofiltro

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/11/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/11/2024 al 12/11/2024
Fecha de emisión de informe : 13/11/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	17,00
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	mg/L	515,00

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,000
Al	mg/L	0,099
As	mg/L	0,003
B	mg/L	0,015
Ba	mg/L	0,004
Be	mg/L	0,001
Ca	mg/L	31,780
Cd	mg/L	0,001
Co	mg/L	0,003
Cr	mg/L	0,000
Cu	mg/L	0,022
Fe	mg/L	0,063
K	mg/L	4,962
Li	mg/L	0,014
Mg	mg/L	4,360
Mn	mg/L	0,000
Mo	mg/L	0,000
Na	mg/L	27,130
Ni	mg/L	0,008
P	mg/L	0,206
Pb	mg/L	0,010
Sb	mg/L	0,004
Se	mg/L	0,008

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA04K24.005477A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua biofiltro

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/11/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/11/2024 al 12/11/2024
Fecha de emisión de informe : 13/11/2024
Página : 2 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Si	mg/L	21,520
Sn	mg/L	0,004
Sr	mg/L	0,008
Ti	mg/L	0,002
Tl	mg/L	0,001
V	mg/L	0,002
Zn	mg/L	0,000

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	0,20

OBSERVACIONES:

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



Firmado digitalmente por:
RICARDO ALONSO ABRIL
RAMIREZ DNI:29651987
RUC:20141637941
Motivo:
Fecha: 14/11/2024 14:30:18-0500

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo W

Resultados del laboratorio del fitorremediador (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de diciembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1165
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA04L24.005511A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua fito remediador

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/12/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/12/2024 al 11/12/2024
Fecha de emisión de informe : 13/12/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standars Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	49,00
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	mg/L	315,00

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,000
Al	mg/L	0,337
As	mg/L	0,004
B	mg/L	0,013
Ba	mg/L	0,003
Be	mg/L	0,002
Ca	mg/L	26,260
Cd	mg/L	0,000
Co	mg/L	0,002
Cr	mg/L	0,004
Cu	mg/L	0,031
Fe	mg/L	0,057
K	mg/L	3,994
Li	mg/L	0,018
Mg	mg/L	7,403
Mn	mg/L	0,006
Mo	mg/L	0,006
Na	mg/L	66,210
Ni	mg/L	0,009
P	mg/L	0,114
Pb	mg/L	0,016
Sb	mg/L	0,003
Se	mg/L	24,520

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



INFORME DE ENSAYO N° ANA04L24.005511A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua fito remediador

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/12/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/12/2024 al 11/12/2024
Fecha de emisión de informe : 13/12/2024
Página : 2 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Si	mg/L	0,003
Sn	mg/L	0,002
Sr	mg/L	0,008
Ti	mg/L	0,006
Tl	mg/L	0,001
V	mg/L	0,000
Zn	mg/L	0,047

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	12,40

OBSERVACIONES:

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


O.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo X

Resultados del laboratorio del tren de tratamiento (sólidos totales, aceites y grasas, metales pesados y DBO) del mes de diciembre.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA04L24.005511B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua biofiltro

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/12/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/12/2024 al 11/12/2024
Fecha de emisión de informe : 13/12/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS Método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	mg/L	49,00
DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	mg/L	395,50

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994		
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,000
Al	mg/L	0,280
As	mg/L	0,006
B	mg/L	0,012
Ba	mg/L	0,004
Be	mg/L	0,001
Ca	mg/L	47,570
Cd	mg/L	0,000
Co	mg/L	0,002
Cr	mg/L	0,002
Cu	mg/L	0,044
Fe	mg/L	0,062
K	mg/L	6,632
Li	mg/L	0,019
Mg	mg/L	7,114
Mn	mg/L	0,001
Mo	mg/L	0,001
Na	mg/L	62,270
Ni	mg/L	0,009
P	mg/L	0,193
Pb	mg/L	0,015
Sb	mg/L	0,003
Se	mg/L	40,770

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



INFORME DE ENSAYO N° ANA04L24.005511B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Dirección del cliente : Torata s/n Mariscal Nieto Moquegua
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Betsy Jaqueline Delgado Viza
Descripción de la muestra : Agua biofiltro

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 250 mL
Fecha de recepción : 04/12/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 04/12/2024 al 11/12/2024
Fecha de emisión de informe : 13/12/2024
Página : 2 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Si	mg/L	0,002
Sn	mg/L	0,003
Sr	mg/L	0,008
Ti	mg/L	0,007
Tl	mg/L	0,003
V	mg/L	0,000
Zn	mg/L	0,045

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	18,50

OBSERVACIONES:

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


O.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Anexo Y
Panel fotográfico



Foto 1: Primera fitorremediación de Jacintos de agua



Foto 2: Segunda fitorremediación de Jacinto de agua



Foto 3: Tercera fitorremediación de Jacinto de agua



Foto 4: Monitoro durante la ejecución del proyecto



Foto 5: Semana 2 de primera fitorremediación



Foto 6: Semana 2 de segunda fitorremediación



Foto 7: Semana 2 de tercera fitorremediación



Foto 8: Poco vegetación en reconocimiento de entorno



Foto 9: Estación metereologica Umalzo existente en la toma de muestreo



Foto 10: Presencia de agua contaminada en el reconocimiento de entorno



Foto 11: Reconocimiento al entorno del punto de toma de muestra



Foto 12: Reconocimiento al entorno del punto de toma de muestra

Anexo Z

Presupuesto general para la ejecución del proyecto de investigación.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/)	Costo Total (S/)
1	Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	und	15	5	75
2	Contenedores plásticos	und	3	40	120
3	Carbón activado	kg	8	20	160
4	Cascarilla de arroz	kg	15	2	30
5	Piedra pómez	kg	20	2.5	50
6	Arena fina y gruesa	global	1	40	40
7	Mangueras y conexiones	global	1	80	80
8	Frascos de muestreo	und	24	5	120
9	Reactivos y preservación	global	1	30	30
10	Análisis de laboratorio (paquete universitario)	global	1	1300	1300
11	Transporte a campo	viajes	4	8	320

Gasto Total: S/ 2,325

Nota. El presente presupuesto es referencial y corresponde a los costos estimados necesarios para la ejecución del proyecto de investigación.

Anexo AA

Principales cultivos

Principales Cultivos	Agua Necesaria Semanal	Agua Necesaria Anual	Fuente
Alfalfa	4.69 m ³ /ha	244 m ³ /ha	(Nestares P. , Camargo S. , & Bráñez T. , 2018)
Papa	11.54 m ³ /ha	600 m ³ /ha	(Molinos & Cía, 2024)
Orégano	76.92 m ³ /ha	4000 m ³ /ha	(Agroideas, 2020)

Nota: El anexo muestra la descripción de la cantidad necesaria de agua para los principales cultivos en Cuchumbaya.