



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE ORELLANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE DOS BIOFILTROS USANDO ESTROPAJO  
COMÚN (*Luffa cylindrica*) Y YANCHAMA (*Poulsenia armata*) EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado por optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORAS: RUBY GERMANIA CONDE GARCIA**

**MISHELL CELENA ESPINOZA CORAL**

**DIRECTORA: ING. JENNIFER ALEXANDRA OREJUELA ROMERO M.Sc.**

El Coca – Ecuador

2024

© 2024, Ruby Germania Conde García, Mishell Celena Espinoza Coral

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo, la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

Nosotras, Ruby Germania Conde García y Mishell Celena Espinoza Coral, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 25 de junio de 2024



**Ruby Germania Conde Garcia**  
**220040622-7**



**Mishell Celena Espinoza Coral**  
**220013369-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE DOS BIOFILTROS USANDO ESTROPAJO COMÚN (*Luffa cylindrica*) Y YANCHAMA (*Poulsenia armata*) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**, realizado por las señoritas: **RUBY GERMANIA CONDE GARCIA Y MISHELL CELENA ESPINOZA CORAL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Carlos Mestanza Ramón Ph.D. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2024-06-25
Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero M.Sc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2024-06-25
Ing. Hugo Rolando Sánchez Quispe M.Sc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2024-06-25

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera muy especial a mi familia. A mis padres, Dixon y Silvia, quienes han sido el pilar más importante en mi vida; gracias a su incansable lucha y sacrificios, he tenido la oportunidad de estudiar y alcanzar esta meta tan significativa. A mis queridas hermanas, Thalia, Kerly y Sofía, por estar siempre a mi lado. Ustedes son mi fuente de motivación más grande, inspirándome a superarme día a día. También quiero expresar mi gratitud a mis abuelos y tíos, quienes han estado al pendiente, brindándome valiosos consejos para alcanzar cada uno de mis objetivos.

Ruby

A mis amados padres Mauro Espinoza y Rosa Coral, mis pilares fundamentales, cuyo amor, sacrificio y apoyo constante han iluminado cada paso de mi viaje académico. Su aliento constante y fe en mis capacidades ha sido mi mayor inspiración. A mis amados hermanos, Sandra, Patricia, Jackeline, Richard, Alexander y Anahi con quienes he compartido risas, retos y momentos inolvidables a lo largo de este camino. Cada palabra de ánimo, cada consejo y cada gesto de respaldo fueron fuentes de inspiración que impulsaron mi determinación. Su aliento incondicional y comprensión han hecho que este viaje sea aún más significativo. A mis queridos sobrinos y cuñados, por la paciencia que demostraron cuando las responsabilidades académicas me mantenían ocupada. Sus palabras de aliento, energía positiva y creencia en mis capacidades han sido un recordatorio constante de la importancia de perseverar incluso en los momentos más difíciles. Por último, dedico este trabajo a mí, por mi arduo esfuerzo durante estos cuatro años, por aquellas noches sin dormir, por aquellos días en los que no veía salida. A pesar de todo perseveraré utilizando aquellas experiencias como motivación para cumplir mi meta. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han formado parte esencial de mi trayectoria académica. Gracias por ser mi fuente de fortaleza y motivación.

Mishell

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, expresamos nuestro sincero agradecimiento a Dios, fuente de toda sabiduría y fortaleza, por guiar nuestros pasos a lo largo de esta travesía académica. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por habernos permitido ser parte de ella y formarnos académicamente. Agradecemos a nuestra directora la Ing. Jennifer Orejuela y a nuestro asesor el Ing. Hugo Sánchez cuya orientación experta y dedicación fueron fundamentales para la culminación de esta investigación. Sus valiosos comentarios y sugerencias han enriquecido considerablemente la calidad de este trabajo. Agradecemos profundamente a nuestras familias por ser la fuente inagotable de aliento, por sus sacrificios incansables y creer en nosotras. Su respaldo incondicional ha sido la brújula que nos ha guiado en este viaje educativo. A nuestros amigos, por su incondicional apoyo y amistad durante los años de estudio de nuestra carrera.

Ruby & Mishell

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Hipótesis.....	5
1.4.1. <i>Hipótesis nula</i> .....	5
1.4.2. <i>Hipótesis alternativa</i> .....	6

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Aguas residuales.....	7
2.1.1. <i>Tipos de aguas residuales</i> .....	7
2.1.1.1. <i>Aguas residuales domésticas</i> .....	7
2.1.1.2. <i>Aguas residuales municipales</i> .....	7
2.1.1.3. <i>Aguas residuales industriales</i> .....	7
2.2. Caracterización de las aguas residuales.....	8
2.2.1. <i>Características físicas</i> .....	8

2.2.1.1. <i>Temperatura</i> .....	8
2.2.1.2. <i>Turbidez</i> .....	8
2.2.1.3. <i>Color</i> .....	8
2.2.1.4. <i>Olor</i> .....	9
2.2.1.5. <i>Conductividad eléctrica</i> .....	10
2.2.2. <b>Características químicas</b> .....	10
2.2.2.1. <i>Materia orgánica</i> .....	10
2.2.2.2. <i>Potencial Hidrógeno (pH)</i> .....	10
2.2.2.3. <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i> .....	11
2.2.2.4. <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> .....	11
2.2.3. <b>Características biológicas</b> .....	11
2.2.3.1. <i>Bacterias</i> .....	11
2.2.3.2. <i>Virus</i> .....	12
2.2.3.3. <i>Coliformes fecales</i> .....	13
2.3. <b>Biofiltros</b> .....	13
2.3.1. <b>Partes de biofiltros</b> .....	14
2.3.1.1. <i>Lechos filtrantes</i> .....	14
2.3.1.2. <i>Arena sílica</i> .....	14
2.3.1.3. <i>Grava</i> .....	15
2.3.1.4. <i>Fibras de origen vegetal</i> .....	16
2.4. <b>Fibras vegetales</b> .....	16
2.4.1. <i>Yanchama (Poulsenia armata)</i> .....	16
2.4.2. <i>Estropajo común (Luffa cylindrica)</i> .....	17
2.5. <b>Tiempo de retención hidráulico</b> .....	18

### CAPÍTULO III

3. <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
3.1. <b>Tipo de Investigación</b> .....	19

3.2.	<b>Área de estudio</b> .....	19
3.2.1.	<i>Mapa de ubicación</i> .....	20
3.3.	<b>Diseño de la investigación</b> .....	20
3.3.1.	<i>Diseño Experimental</i> .....	20
3.4.	<b>Metodología</b> .....	21
3.4.1.	<i>Primera fase: Caracterización física y química de las fibras de Luffa cylindrica y Poulsenia armata</i> .....	21
3.4.1.1.	<i>Obtención de la fibra de Luffa cylindrica</i> .....	21
3.4.1.2.	<i>Obtención de la fibra de Poulsenia armata</i> .....	22
3.4.1.3.	<i>Caracterización física de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata</i> .....	22
3.4.1.4.	<i>Caracterización química de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata</i> .....	23
3.4.2.	<i>Segunda fase: Construcción de los biofiltros</i> .....	25
3.4.3.	<i>Tercera fase: Análisis físico-químico del agua previo al tratamiento</i> .....	26
3.4.3.1.	<i>Muestreo del agua residual</i> .....	26
3.4.3.2.	<i>Análisis de los parámetros</i> .....	26
3.4.4.	<i>Cuarta fase: Determinar la eficacia de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata en la remoción de contaminantes de las aguas residuales</i> .....	32

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	33
4.1.	<b>Procesamiento, análisis e interpretación de resultados</b> .....	33
4.1.1.	<i>Primera fase: Caracterización física y química de las fibras de Luffa cylindrica y Poulsenia armata</i> .....	33
4.1.1.1.	<i>Caracterización física de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata</i> .....	33
4.1.1.2.	<i>Caracterización química de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata</i> .....	35
4.1.2.	<i>Segunda fase: Construcción de los biofiltros</i> .....	36
4.1.3.	<i>Tercera fase: Análisis físico-químico del agua previo al tratamiento</i> .....	38
4.1.4.	<i>Cuarta fase: Determinar la eficacia de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata en la remoción de contaminantes de las aguas residuales</i> .....	38

4.1.4.1. <i>Gráficas de dispersión de la curva de calibración de metales pesados</i> .....	38
4.1.4.2. <i>Resultados de los parámetros en estudio de las muestras de agua</i> .....	42
4.1.4.3. <i>Análisis de varianza de los Biofiltros con el diseño completamente al azar</i> .....	44
4.2. <b>Discusión</b> .....	55
4.3. <b>Comprobación de la hipótesis</b> .....	58

## **CAPÍTULO V**

5. <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	59
--	----

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Características de aguas residuales con relación al color .....	9
<b>Tabla 2-2:</b> Compuestos olorosos asociados con aguas residuales .....	9
<b>Tabla 2-3:</b> Rangos Aproximados de DBO.....	11
<b>Tabla 2-4:</b> Principales bacterias patógenas en aguas residuales .....	12
<b>Tabla 2-5:</b> Principales microorganismos patógenos presentes en aguas residuales .....	13
<b>Tabla 3-1:</b> Curva de calibración de Cadmio .....	28
<b>Tabla 3-2:</b> Curva de calibración de Cobre.....	29
<b>Tabla 3-3:</b> Curva de calibración de Manganeseo .....	29
<b>Tabla 3-4:</b> Curva de calibración de Níquel.....	30
<b>Tabla 3-5:</b> Curva de calibración de Hierro .....	30
<b>Tabla 3-6:</b> Curva de calibración de Pomo .....	31
<b>Tabla 3-7:</b> Curva de calibración de Zinc .....	31
<b>Tabla 4-1:</b> Resultados de la caracterización física de las fibras.....	33
<b>Tabla 4-2:</b> Registro fotográfico de las fibras en el Stereoscopio y microscopio óptico con cámara integrada .....	34
<b>Tabla 4-3:</b> Resultados de la caracterización química de las fibras.....	36
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados del Análisis físico-químico del agua previo al tratamiento .....	38
<b>Tabla 4-5:</b> Resultados del Análisis físico-químico del agua tratada en el Biofiltro de Estropajo común ( <i>Luffa cylindrica</i> ).....	43
<b>Tabla 4-6:</b> Resultados del Análisis físico-químico del agua tratada en el Biofiltro de Yanchama ( <i>Poulsenia armata</i> ) .....	43
<b>Tabla 4-7:</b> Porcentaje de remoción de los parámetros en estudio .....	44
<b>Tabla 4-9:</b> Análisis de varianza sobre la DQO .....	44
<b>Tabla 4-10:</b> Prueba de Tukey para análisis de DQO .....	45
<b>Tabla 4-11:</b> Análisis de varianza sobre la Turbidez .....	46
<b>Tabla 4-12:</b> Prueba de Tukey para análisis de Turbidez.....	46
<b>Tabla 4-13:</b> Análisis de varianza sobre la Cadmio .....	47
<b>Tabla 4-14:</b> Prueba de Tukey para análisis de Cadmio.....	47
<b>Tabla 4-15:</b> Análisis de varianza sobre el Cobre .....	48
<b>Tabla 4-16:</b> Prueba de Tukey para análisis de Cobre .....	48
<b>Tabla 4-17:</b> Análisis de varianza sobre el Manganeseo.....	49
<b>Tabla 4-18:</b> Prueba de Tukey para análisis de Manganeseo.....	50
<b>Tabla 4-19:</b> Análisis de varianza sobre el Níquel.....	51

<b>Tabla 4-20:</b> Prueba de Tukey para análisis de Níquel .....	51
<b>Tabla 4-21:</b> Análisis de varianza sobre el Hierro .....	52
<b>Tabla 4-22:</b> Prueba de Tukey para análisis de Hierro.....	52
<b>Tabla 4-23:</b> Análisis de varianza sobre el Zinc .....	53
<b>Tabla 4-24:</b> Prueba de Tukey para análisis de Zinc.....	53
<b>Tabla 4-25:</b> Análisis de varianza sobre el Plomo .....	54
<b>Tabla 4-26:</b> Prueba de Tukey para análisis de Plomo.....	55

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Arena sílica .....	15
<b>Ilustración 2-2:</b> Grava.....	15
<b>Ilustración 2-3:</b> Fibra vegetal.....	16
<b>Ilustración 2-4:</b> Fibra de Yanchama .....	17
<b>Ilustración 2-5:</b> Fibra de Estropajo común.....	17
<b>Ilustración 4-1:</b> Diseño AutoCAD de la Estructura del Biofiltro .....	37
<b>Ilustración 4-2:</b> Diseño AutoCAD de la distribución de los lechos filtrantes en el Biofiltro ....	37
<b>Ilustración 4-3:</b> Gráfica de la curva de calibración del Cadmio .....	39
<b>Ilustración 4-4:</b> Gráfica de la curva de calibración del Cobre.....	39
<b>Ilustración 4-5:</b> Gráfica de la curva de calibración del Manganeso .....	40
<b>Ilustración 4-6:</b> Gráfica de la curva de calibración del Níquel.....	40
<b>Ilustración 4-7:</b> Gráfica de la curva de calibración del Hierro .....	41
<b>Ilustración 4-8:</b> Gráfica de la curva de calibración del Plomo .....	41
<b>Ilustración 4-9:</b> Gráfica de la curva de calibración del Zinc .....	42
<b>Ilustración 4-10:</b> Remoción de DQO con los tratamientos .....	45
<b>Ilustración 4-11:</b> Ilustración 4-2: Remoción de Turbidez con los .....	46
<b>Ilustración 4-12:</b> Remoción de Cadmio con los tratamientos .....	48
<b>Ilustración 4-13:</b> Remoción de Cobre con los tratamientos .....	49
<b>Ilustración 4-14:</b> Remoción de Manganeso con los tratamientos.....	50
<b>Ilustración 4-15:</b> Remoción de Níquel con los tratamientos .....	51
<b>Ilustración 4-16:</b> Remoción de Hierro con los tratamientos.....	53
<b>Ilustración 4-17:</b> Remoción de Zinc con los tratamientos.....	54
<b>Ilustración 4-18:</b> Remoción de Plomo con los tratamientos.....	55

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE ESTROPAJO COMÚN (*Luffa cylindrica*)

**ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS FIBRAS DE ESTROPAJO COMÚN (*Luffa cylindrica*) Y YANCHAMA (*Poulsenia armata*)

**ANEXO C:** CONSTRUCCIÓN DE LOS BIOFILTROS

**ANEXO D:** MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL

**ANEXO E:** ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL EN EL LABORATORIO

**ANEXO F:** TABLA 9: DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE- ANEXO 1- ACUERDO MINISTERIAL 097-A, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

## RESUMEN

El crecimiento demográfico, la industrialización, las prácticas agrícolas y la urbanización provocan un aumento de la demanda de agua y, por tanto, un incremento proporcional de las aguas residuales. El vertido sin tratar de estas aguas residuales es una de las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos. En este contexto, se realizó la evaluación de dos sistemas de biofiltración utilizando Estropajo común (*Luffa cylindrica*) y Yanchama (*Poulsenia armata*) para el tratamiento de aguas residuales del Barrio Flor de Pantano, perteneciente al Cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, con el objetivo de facilitar su posterior descarga a cuerpos de agua dulce. La metodología implementada tuvo un enfoque cuantitativo, que implicó la recolección de datos físicos y químicos tanto antes como después del proceso de biofiltración. Estos datos fueron obtenidos mediante el análisis de las fibras vegetales mencionadas anteriormente, así como del agua residual utilizada. Los biofiltros estuvieron compuestos por cuatro medios filtrantes: algodón, arena sílice, fibras de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*, y grava. El tratamiento se llevó a cabo con un tiempo de retención hidráulica de 12 horas. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para determinar la eficacia tanto del biofiltro como de las fibras utilizadas en su construcción. La aplicación de este método demostró que el biofiltro de Yanchama (*Poulsenia armata*) fue más eficaz en la eliminación de contaminantes como Demanda Química de Oxígeno (DQO), turbidez, cadmio, cobre, hierro y zinc. Sin embargo, ambos tratamientos fueron deficientes en la reducción de níquel y plomo. Estos resultados sugieren que el biofiltro de Yanchama resulta ser una opción prometedora para su aplicación en plantas de tratamientos de aguas residuales, reduciendo costos de implementación, asegurando que la descarga de aguas sea limpia y no afecte a los cauces naturales.

**Palabras clave:** <AGUAS RESIDUALES>, <CONTAMINACIÓN>, <BIOFILTROS>, <ESTROPAJO COMÚN (*Luffa cylindrica*)>, < YANCHAMA (*Poulsenia armata*)>, <EFICACIA>.

Cristian Tenelanda S.

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.  
0604686709



0905-DBRA-UPT-2024

## ABSTRACT

Population growth, industrialization, agricultural practices, and urbanization increase water demand and, therefore, a proportional increase in wastewater. The untreated discharge of this wastewater is one of the main sources of pollution of water resources. In this context, the evaluation of two biofiltration systems was carried out, using common stonecrop (*Luffa cylindrica*) and Yanchama (*Poulsenia armata*) for wastewater treatment from Flor de Pantano neighborhood, in Francisco de Orellana canton, in Orellana province, to facilitate its subsequent discharge into freshwater bodies. The methodology implemented had a quantitative approach, which involved collecting physical and chemical data both before and after the biofiltration process. These data were obtained by analyzing the plant fibers stated above and the wastewater used. The biofilters were composed of four filter media: cotton, silica sand, *Luffa cylindrica* and *Poulsenia armata* fibers, and gravel. The treatment was carried out with a hydraulic retention time of 12 hours. A completely randomized experimental design was used to determine the effectiveness of both the biofilter and the fibers used in its construction. The application of this method showed that Yanchama (*Poulsenia armata*) biofilter was more effective in the removal of pollutants such as Chemical Oxygen Demand (COD), turbidity, cadmium, copper, iron, and zinc. However, both treatments were deficient in nickel and lead reduction. These results suggested that Yanchama biofilter is a promising option for application in wastewater treatment plants, reducing implementation costs, and ensuring that water discharge is clean and does not affect natural waterways.

**Key words:** <WASTEWATER>, <CONTAMINATION>, <BIOFILTERS>, <COMMON STRAIN (*Luffa cylindrica*)>, <YANCHAMA (*Poulsenia armata*)>, <EFFICACY>.



### Reviewed by

Lic. Licett Ramos I., Mgs.

**ENGLISH PROFESSOR**

C.I 0603066960

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital para la vida y juega un papel fundamental en diversas actividades diarias (Robalino, 2021, pág. 20). Sin embargo, al ser utilizada se mezcla con diversas sustancias y microorganismos que deben ser eliminados previo a ser devuelta al ambiente natural (Cross y Castañares, 2023, pág. 14). Esta mezcla heterogénea representa un riesgo de contaminación para cuerpos de agua receptores, como: ríos, lagunas, lagos y mares, lo que pone en peligro la flora y fauna de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Cóndor, 2019, pág. 23).

En países en vías de desarrollo las aguas residuales a menudo carecen de un tratamiento adecuado, provocando contaminación del entorno circundante (Camargo, 2021, pág. 9). Situación que se debe en gran parte a los altos costes que se generan durante la implementación, mantenimiento y operación de los sistemas convencionales para el mejoramiento de la calidad del agua (Gallegos y Peñafiel, 2022, pág. 9). Esta situación resalta la urgencia de soluciones sostenibles para abordar eficazmente el tratamiento de aguas residuales, garantizando así la protección del medio ambiente y la salud pública (Torres, 2018, pág. 12).

En la actualidad se emplean varios métodos de tratamiento de aguas residuales, siendo uno de ellos el uso de biofiltros (Quijia, 2018, pág. 32). Estos sistemas son altamente eficientes debido a la capacidad de remoción de contaminantes, como: sólidos, DQO, DBO5, fósforo, hierro y nitrógeno, obteniendo porcentajes de remoción del 90% (Muñoz y Vasquez, 2018, pág. 14). En ciertos sistemas de biofiltración, se utilizan fibras vegetales como medio filtrante (Pavón, 2021, pág. 34). Debido a su estructura, estas fibras poseen la capacidad de eliminar y desactivar agentes patógenos presentes en el agua (Martín et al., 2023, pág. 5).

En el año 2005, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Centro de Recherche Industrielle de Québec (CRIQ) llevaron a cabo un proyecto en México destinado al tratamiento de aguas residuales domésticas en entornos tropicales y subtropicales. En este proyecto, se implementó la técnica de biofiltración utilizando materiales orgánicos autóctonos como casahuate, jacarandá, tabachín, bagazo de caña de azúcar y fibras de coco. Los resultados obtenidos a través de ensayos a escala de laboratorio demostraron una eficacia significativa en la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en un 98,7%, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un 84% y los huevos de helmintos en un 96,93% (Toapanta, 2018, pág. 23).

En su investigación, (Figuroa, 2018, pág. 10), planteó la creación de dos sistemas de filtración biológica utilizando diferentes materiales de relleno. Uno de estos tratamientos empleó filamentos derivados de la planta *Furcraea andina*, comúnmente conocida como cabuya mientras que el otro método empleó fragmentos de madera provenientes de *Eucalyptus globulus*, también denominado

eucalipto. Con el fin de tratar aguas residuales procedentes de una piscícola. Estas aguas presentaban una carga química considerable de materia orgánica y amonio. El estudio confirmó que los biofiltros que emplean materiales orgánicos, como la cabuya y el eucalipto, resultan eficaces para mejorar la calidad del agua. Además, se destacó la utilidad de estos sistemas en entornos rurales debido a su bajo costo y practicidad.

La Yanchama (*Poulsenia armata*) y el Estropajo común (*Luffa cylindrica*) son dos fuentes distintas de fibra vegetal utilizadas en aplicaciones industriales. La *Poulsenia armata* se obtiene de la corteza del árbol del género *Ficus*, perteneciente a la familia *Moraceae*, recolectada en estado silvestre durante todo el año (Achote, 2022, pág. 34). Por otro lado, la *Luffa cylindrica*, una planta de la familia *Cucurbitaceae*, produce una fibra firme obtenida a partir del fruto seco, donde se aprovechan sus propiedades específicas en aplicaciones comerciales (Loannis y Loannis, 2020, pág. 1). Estas fibras pueden desempeñarse como agentes filtrantes en el proceso de tratamiento de aguas residuales debido a su estructura porosa y la composición de su tejido fibroso.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

El crecimiento de la población, industrialización, prácticas agrícolas y la urbanización aumentan la demanda de agua y, por lo tanto, la cantidad de aguas residuales generadas. La liberación no tratada de estas aguas emerge como una primordial fuente de contaminación para los recursos hídricos. Cuando estos efluentes llegan a cuerpos de agua, inducen alteraciones sustanciales en los parámetros de calidad. Lo que facilita la propagación de enfermedades en aquellos que consumen agua proveniente de estas fuentes contaminadas.

Las aguas residuales presentan altos niveles de carga contaminante, caracterizada por: metales pesados, turbiedad, demanda química de oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO), Fósforo total (PT) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), provocando daños a los ecosistemas acuáticos y terrestres. Por ello se deben reducir las cargas contaminantes a los límites permisibles.

Según el (Censo Ecuador, 2022), la población residente en Orellana alcanzó 59,104 personas. En comparación a los censos de 2001 y 2010, donde se registraron 21,020 y 45,225 habitantes, respectivamente. Esto implica un crecimiento promedio por año del 4% durante el período de 2001 a 2022. De acuerdo con el Plan De Ordenamiento Territorial del Cantón Francisco de Orellana, la principal actividad económica que se desarrolla es la extracción petrolera, puesto a que es la que más contribuye al PIB nacional, seguido por las actividades de administración pública, enseñanza, agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (Ramírez, 2023, págs. 302-303).

En la provincia de Orellana, específicamente en el Cantón Francisco de Orellana, ubicado en la Región Amazónica Ecuatoriana, se produce alrededor de 6000 m<sup>3</sup> de aguas residuales (Montezuma, 2015, pág. 16). En el área, se estableció una instalación para el tratamiento de aguas residuales desde el año 2007, la cual opera con una tasa de flujo constante de 100 litros por segundo (Guerrero y Regalado, 2021, págs. 16-17). No obstante, la PTAR en cuestión no trata adecuadamente el agua residual, lo que conlleva a su liberación directa en los cuerpos de agua cercanos (Guerrero y Regalado, 2021, pág. 17).

La descarga de aguas residuales sin previo tratamiento afecta el equilibrio en el que se encuentran las especies endémicas, provocando efectos adversos en los ecosistemas acuáticos de forma directa e indirectamente en los ecosistemas terrestres, sumándose a los daños o efectos provocados en la salud de los pobladores que habitan en la zona (Pérez, 2019, pág. 22). Entre las

patologías transmitidas por vectores, se destacan: diarrea, hepatitis, anomalías congénitas cardíacas, hepáticas y renales. La magnitud de estas afectaciones puede variar según la cantidad y tipo de contaminantes presentes en el agua, así como la duración y frecuencia de la exposición (Intriago et al., 2023, pág. 3).

## **1.2. Objetivos**

### **General**

Evaluar dos biofiltros usando Estropajo común (*Luffa cylindrica*) y Yanchama (*Poulsenia armata*) en el tratamiento de aguas residuales procedentes del Barrio Flor de Pantano del Cantón Francisco de Orellana para su posterior descarga a cuerpos de agua dulce.

### **Específicos**

- Caracterizar física y químicamente la fibra de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*.
- Construir dos biofiltros empleando *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* en el tratamiento de aguas residuales.
- Realizar un análisis físico-químico del agua residual previo al tratamiento.
- Determinar la eficacia de la *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* en la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

## **1.3. Justificación**

Los biofiltros, integrados por lechos filtrantes de grava, arena y fibras vegetales, emergen como una alternativa prometedora en la depuración eficaz de aguas residuales, evitando la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos por vertidos directos (Herrera y Rey, 2018, pág. 24). Este enfoque ecológico mejora la calidad de las aguas grises, reduciendo impactos, antes de descargarlas a los cauces naturales (Medina, 2020, pág. 7). A diferencia de las plantas de tratamiento convencionales, los biofiltros generan gastos mínimos de mantenimiento y representan una alternativa más sostenible para una infraestructura urbana sustentable (Loro, 2018, págs. 17-18).

El departamento de Ingeniería Civil del Politécnico de Kaduna en Nigeria realizó un estudio utilizando un filtro piloto con *Luffa cylindrica*. En donde se evidenció una capacidad moderada del 48,33% en la eliminación de SST, 18,15% en turbidez, 10% en dureza, 16% en cloruros y 16,66% en nitrógeno amoniacal (Adie et al., 2013, pág. 2). Un estudio realizado menciona la capacidad de las esponjas de *Luffa cylindrica* en cuanto a la remoción de Cadmio mediante agitación y percolación, alcanzando un 99.80% de remoción. Además, se observó que la esponja adsorbe

cadmio en un amplio rango de pH (4.0 a 6.0), eliminando la necesidad de ajustar el pH en muchos tratamientos. Estos resultados respaldan la idoneidad de la esponja vegetal para remediar efluentes con cadmio debido a su alta capacidad de retención de iones (Lindino et al., 2014, pág. 7).

La distribución geográfica de *Poulsenia armata* abarca bosques subtropicales y tropicales altamente húmedos, así como bosques primarios que no están sujetos a inundaciones, en Centroamérica se presenta en Belice, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua, El Salvador, Panamá y al sur en Colombia, Ecuador y Bolivia (iNaturalist Ecuador, 2023). En la región amazónica de Ecuador, esta especie crece de forma natural, siendo su fibra utilizada en la elaboración de artesanías y vestimentas tradicionales. Por tanto, resulta prometedor investigar el potencial de esta fibra para el tratamiento de aguas residuales, ya que podría introducir métodos novedosos y sostenibles para afrontar el problema de la contaminación del agua.

La *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*, con sus propiedades porosas y capacidad de retención de partículas, se perfilan como materiales ideales para la construcción de estos biofiltros. Es esencial realizar una comparación detallada para determinar cuál de ellos ofrece un rendimiento óptimo en la eliminación de contaminantes y reducción de la carga orgánica.

La relevancia de esta investigación reside en la implementación de biofiltros utilizando Estropajo común (*Luffa cylindrica*) y Yanchama (*Poulsenia armata*) para el tratamiento de aguas residuales. A través de un análisis comparativo de diversos parámetros, incluyendo la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez, pH, Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Plomo (Pb), se determinará cuál de los dos biofiltros es más eficaz en el tratamiento de aguas residuales. Para lograr esto, se llevará a cabo una recolección de muestras directamente de una tubería que recoge agua residual del Barrio Flor de Pantano, perteneciente al Cantón Francisco de Orellana, Provincia de Orellana. Dicha tubería descarga estas aguas residuales directamente al Río Payamino. Este análisis busca determinar la capacidad de los biofiltros para purificar el agua residual, ofreciendo así posibles soluciones innovadoras en el proceso de tratamiento de aguas contaminadas.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis nula**

El biofiltro que contine Yanchama (*Poulsenia armata*) no reduce la concentración de contaminantes en todos los parámetros analizados, como la turbidez, DQO, Cd, Ni, Pb, Mn, Fe, Zn y Cu en comparación con el biofiltro de estropajo común (*Luffa cylindrica*) en el tratamiento de aguas residuales del barrio Flor de Pantano del Cantón Francisco de Orellana.

#### ***1.4.2. Hipótesis alternativa***

El biofiltro que contiene Yanchama (*Poulsenia armata*) reduce la concentración de contaminantes en todos los parámetros analizados, como la turbidez, DQO, Cd, Ni, Pb, Mn, Fe, Zn y Cu, en comparación con el biofiltro de estropajo común (*Luffa cylindrica*) en el tratamiento de aguas residuales del barrio Flor de Pantano del Cantón Francisco de Orellana.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales representan una mezcla compleja de sustancias físicas, químicas y biológicas que pueden ser perjudiciales para la salud humana si no se tratan adecuadamente. Estos desechos, generados por actividades humanas en hogares, industrias y comunidades, contienen sustancias dañinas que, al llegar a ríos u otros cuerpos de agua, alteran su calidad y pueden tener efectos negativos (Nasamues, 2021, pág.21).

América Latina, se caracteriza por tener una gran disponibilidad de agua dulce, cuenta con alrededor de un tercio de los recursos hídricos a nivel mundial y una media de aproximadamente 22000 m<sup>3</sup> de agua por persona al año. A pesar de esta abundancia, únicamente se trata el 20 % de las aguas residuales provenientes de áreas urbanas. Esta escasa tasa de tratamiento genera desafíos importantes en la gestión sostenible del recurso, resultando en un desperdicio significativo de agua en la región (Montero et al., 2020, pág. 2).

##### 2.1.1. Tipos de aguas residuales

###### 2.1.1.1. Aguas residuales domésticas

Proviene de las actividades diarias del ser humano, tanto en viviendas como en instalaciones comerciales, públicas y privadas. Estas aguas, que contienen excretas como heces y orina, son recolectadas mediante sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al medio ambiente. (Osorio et al., 2021, pág. 231).

###### 2.1.1.2. Aguas residuales municipales

Son aquellas provenientes tanto de los efluentes domésticos como de las pequeñas industrias y otras actividades realizadas en las áreas urbanas (comercios, oficinas, restaurantes, mercados de abasto, etc.) y que incrementan los contaminantes con algunos componentes que pueden resultar indeseables para los tratamientos convencionales (Martínez, 2018, pág. 36).

###### 2.1.1.3. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son el resultado de la actividad manufacturera, generadas en varias etapas de la transformación de materias primas y representan un riesgo de contaminación para la vida silvestre y las plantas del área. Estas aguas se originan en talleres o empresas donde se emplea agua en procesos de producción, manipulación o transformación, abarcando desde

residuos líquidos hasta aguas utilizadas en los procedimientos y en la refrigeración (Medina y Patiño, 2021, pág. 13).

## **2.2. Caracterización de las aguas residuales**

### **2.2.1. Características físicas**

#### **2.2.1.1. Temperatura**

Este parámetro en particular se determina a través de la captación de radiación en las capas más superficiales del agua, lo cual tiene un impacto directo en la capacidad de disolución de sales, grasas y, en general, en todas las propiedades químicas y microbiológicas del agua (Aguilar, 2020, pág. 10).

La temperatura en los sistemas de tratamiento de aguas residuales es un elemento crucial debido a su capacidad para cambiar las propiedades del agua, influir en los organismos acuáticos, ajustar la concentración de oxígeno disuelto y modificar la rapidez de las reacciones químicas y la actividad bacteriana (Ramírez, 2021, pág. 2).

#### **2.2.1.2. Turbidez**

Esta condición, desde una perspectiva química puede originarse por la presencia partículas inorgánicas tales como arcillas y silicatos, así como aniones en solución, metales pesados tanto en estado disuelto como en suspensión, materia orgánica y boro en cantidades reducidas (Campoverde, 2019, pág. 48).

La turbidez se ha reconocido como un parámetro crucial para evaluar la calidad del agua, tanto en su fuente como en el proceso de tratamiento para uso humano. Esto se debe a que constituye una medida ágil, rentable, económica y comprensible para quienes manejan los sistemas de tratamiento (Hachi, 2018, pág. 27).

#### **2.2.1.3. Color**

El color presente en las aguas residuales se origina debido a la presencia de material coloidal, partículas suspendidas y sustancias disueltas. Además, el color se emplea como indicador para evaluar la condición del agua residual. Por otro parte, los desechos industriales que tiñen el agua son un signo claro de la contaminación de los cuerpos de agua; incluso pequeñas cantidades de pigmento afectan a la estética del entorno y tienen un impacto significativo en los procesos naturales de auto regeneración del recurso hídrico, lo que conlleva a graves consecuencias para la vida acuática (Osorio, 2021, pág. 6).

**Tabla 2-1: Características de aguas residuales con relación al color**

<b>Color</b>	<b>Característica del agua</b>
Café claro	Agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga.
Gris claro	Agua que ha sufrido algún grado de descomposición. Agua que ha permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección.
Gris oscuro o negro	Aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno).

**Fuente:** Delgadillo et al., 2010 pág.64

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2023.

#### 2.2.1.4. Olor

Las emisiones de olores provenientes de las aguas residuales ya sean almacenadas o en tratamiento, pueden ser de origen orgánico e inorgánico y se manifiestan en forma gaseosa. Los gases inorgánicos predominantes son el amoníaco y sulfuro. A pesar de que ambos compuestos suelen generarse por actividades biológicas, los vapores de naturaleza orgánica pueden ser el resultado de la liberación directa de residuos químicos. Es relevante señalar que la emisión mayoritaria de estos olores se origina a partir del proceso de descomposición anaeróbica de compuestos orgánicos que incorporan tanto azufre como nitrógeno (Lozada y Giraldo, 2019, pág. 17).

**Tabla 2-2: Compuestos olorosos asociados con aguas residuales**

<b>Compuestos olorosos</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Olor característico</b>
Amoniaco	$\text{NH}_3$	Amoniacal
Cotrilmercaptano	$\text{CH}_3 - \text{S} - \text{CH}_3$	Zorrillo
Dimetilsulfuro	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{SH}$	Vegetales descompuestos
Etilmercaptano	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{SH}$	Repollos descompuestos
Metilmercaptano	$\text{CH}_3 - \text{SH}$	Repollos descompuestos
Sulfuro de Hidrógeno	$\text{H}_2\text{S}$	Huevos podridos
Eskatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{NH}$	Material fecal
Tiocresol	$\text{CH}_3 - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{SH}$	Zorrillo, rancio

**Fuente** (Coronel, 2015, pág.8)

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2023.

#### 2.2.1.5. *Conductividad eléctrica*

La conductividad eléctrica del agua (CE) se define como la capacidad para conducir la corriente eléctrica, siendo esta capacidad proporcional a la concentración de sales disueltas en su composición. Cuando estas sales se disocian, se forman iones que permiten el transporte de la corriente eléctrica. Dentro de este proceso la temperatura juega un papel importante, puesto que influye en la solubilidad de sales presentes en el agua, lo que tiene un efecto directo en las variaciones de la conductividad en función de la temperatura del agua (Solís et al., 2018, págs. 2-3).

El flujo de corriente eléctrica ocurre mediante el movimiento de iones con carga positiva (cationes) y negativa (aniones) en un entorno acuoso entre un polo cargado positivamente (cátodo) y otro cargado negativamente (ánodo). Este fenómeno se cuantifica en unidades de Siemens (S). La magnitud de la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la concentración de cationes y aniones presentes en el medio acuoso. En consecuencia, un valor más elevado de conductividad eléctrica indica una mayor cantidad total de sales disueltas en el agua (Iturri et al., 2022, pág. 17).

#### 2.2.2. *Características químicas*

##### 2.2.2.1. *Materia orgánica*

La composición de las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales está mayormente constituida por proteínas (40 - 60%), carbohidratos (25 - 50%) y grasas y aceites (8 - 12%). Este parámetro juega un rol crucial en la evaluación del estado o la calidad de cuerpos acuáticos como lagos, estanques, aguas residuales y ríos. Su determinación se lleva a cabo a través de pruebas como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (COT). A medida que la muestra contiene una mayor cantidad de materia orgánica, los microorganismos requieren una cantidad superior de oxígeno para llevar a cabo su oxidación (Condori y Torres, 2019, págs. 36-37). Es de relevancia recalcar que la demanda bioquímica de oxígeno continúa siendo uno de los métodos más empleados para la caracterización de las aguas residuales (Menéndez y Dueñas, 2018, pág. 2).

##### 2.2.2.2. *Potencial Hidrógeno (pH)*

El pH es una medida que refleja el grado de acidez o alcalinidad presente en una solución y se cuantifica en una escala del 0 al 14. En contextos de adsorción de metales en diversos adsorbentes en soluciones acuosas, el pH se vuelve un parámetro importante, dado que los iones de hidrógeno desempeñan un papel importante como adsorbentes altamente competitivos (Castillo y Díaz, 2022, pág. 27).

En el inicio del tratamiento de aguas residuales, se evidencia una variación significativa del pH, contrastando con la consistencia observada en las etapas posteriores. Esto indica que, en cada fase del proceso, el entorno se adapta para mantener un nivel de pH equilibrado que promueva el óptimo crecimiento de los microorganismos (Duque et al., 2018, pág. 6).

### 2.2.2.3. *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un indicador crucial al estudiar y clasificar el agua que no es apta para el consumo humano. Las mediciones de DBO establecen la cantidad total de oxígeno necesaria para estabilizar el carbono orgánico, mientras también indican la capacidad de descomposición biológica y la presencia de materia orgánica en un área específica. Este enfoque ayuda a determinar cuán eficientemente las bacterias comúnmente presentes en aguas contaminadas metabolizan este compuesto (Galindo y Wendy, 2022, pág. 11).

### 2.2.2.4. *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Se refiere al total de materia orgánica, independientemente de su capacidad de descomposición, y se representa por la proporción de oxígeno en mg/l requeridos mediante el uso de dicromato potásico para oxidar estos compuestos orgánicos. La concentración de material presente en el agua de entrada se describe utilizando el término de Demanda Química de Oxígeno (DQO), el cual actúa como un indicador indirecto de la cantidad de compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales (Castillo y Díaz, 2022, pág.27).

**Tabla 2-3: Rangos Aproximados de DBO**

<b>Tipo de fluido</b>	<b>Rango Aprox. DBO mmg/L</b>
Agua pura	0-20
Agua levemente contaminada	20-100
Agua medianamente contaminada	100-500
Agua muy contaminada	500-3000
Agua extremadamente contaminada	3000-15000

**Fuente:** (Llumiquina, 2020, pág. 20)

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2023.

## 2.2.3. *Características biológicas*

### 2.2.3.1. *Bacterias*

Las bacterias son consideradas los microorganismos más diminutos que viven de manera independiente en la naturaleza. Son capaces de proliferar y replicarse utilizando los nutrientes

disponibles en su entorno. Presentan una notable capacidad de reproducción y adaptación. Ciertas especies tienen la habilidad de generar formas de resistencia que les permiten permanecer inactivos en condiciones desfavorables (Andrade y Carrasco, 2021, pág.35).

La mayoría de estos organismos contaminantes pueden provenir de heces o estar involucrados en la descomposición de materiales biodegradables. Su existencia está condicionada por el pH del agua y la temperatura en la que se encuentren. Estos organismos son una de las principales causas del olor desagradable emitido por aguas residuales no tratadas (Arana y Mancero, 2022, págs. 19-20).

**Tabla 2-4: Principales bacterias patógenas en aguas residuales**

<b>Bacteria</b>	<b>Fuente</b>	<b>Periodo de incubación</b>	<b>Enfermedad</b>
<i>E. coli</i>	Hombre	1 a 6 días	Diarreas, vómitos
<i>Salmonela</i>	Hombre y animales	8-48 horas	Diarreas acuosas
<i>Salmonela Typhi</i>	Heces humanas y animales	7-28 horas	Fiebre tifoidea
<i>Salmonela Paratyphi</i>	Hombre	7-28 horas	Fiebre paratifoidea
<i>Otras salmonelas</i>	Hombre	1 a 7 días	Intoxicación
<i>Shigella spp</i>	Hombre	9 horas a 7 días	Disenteria bacilar
<i>Vibrio Cholerae</i>	Hombre		Cólera
<i>Otros Vibrios</i>	Hombre		Diarreas
<i>Campylobacter spp</i>	Hombre y animales		Diarreas y septicemias
<i>Yersinia enterocolítica</i>	Hombre y animales	1 a 5 días	
<i>Leptospira icterocolítica</i>	Ratas		Leptopirosis

**Fuente:** (Coronel, 2015, pág. 12)

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2023.

### 2.2.3.2. Virus

Las aguas residuales representan un medio de propagación de numerosas enfermedades, incluyendo aquellas originadas por virus. Una particularidad de estos es su capacidad para inducir infecciones o patologías en niveles de concentración extremadamente reducidos (Barreto, 2020, págs. 4-5).

Se propagan por la vía fecal-oral y se expulsan a través de las heces de personas infectadas. Debido a la influencia de aguas residuales contaminadas por estos virus con frecuencia, se contaminan varios tipos de cuerpos de agua, como ríos, lagos, áreas de recreación acuática,

sistemas de riego agrícola y suministros de agua potable. La cantidad de virus presente en el agua es variable, lo que impide su uso como marcadores confiables en entornos acuáticos (Victoria et al., 2021, pág. 2).

**Tabla 2-5: Principales microorganismos patógenos presentes en aguas residuales**

<b>Bacterias</b>	<i>Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Legionella spp, Yersinia enterocolítica, Campylobacter.</i>
<b>Virus</b>	<i>Enterovirus, rotavirus, adenovirus.</i>
<b>Protozoos</b>	<i>Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba histolytica, Balantidium coli.</i>
<b>Helmintos</b>	<i>Ascaris, Trichuris, Tenia.</i>
<b>Cianobacterias</b>	<i>Anabaena, Microcystis.</i>

**Fuente:** (Armengol, 2017, pág. 20)

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2023.

#### 2.2.3.3. *Coliformes fecales*

Consisten en un conjunto limitado de microorganismos, con propiedades indicativas de la calidad sanitaria en alimentos y agua. Estos organismos son específicos como marcadores de contaminación fecal de procedencia tanto del ser humano como en animales, puesto que se hallan en las heces debido a su presencia en la microbiota intestinal. Es relevante destacar su capacidad para llevar a cabo el proceso de fermentación de la lactosa a temperaturas de 44°-45°C (Moreno, 2018, pág. 31).

### 2.3. Biofiltros

Es un proceso que permite depurar las aguas residuales procedentes de diversas actividades humanas utilizando medios de filtración biológicos o medios granulares como arena, antracita, etc (Peralta, 2018, pág. 31).

Esta tecnología se distingue por su simplicidad, dado que no requiere la adición de nutrientes, coagulantes, floculantes u otros aditivos. Es suficiente con que el agua a tratar posea las propiedades que favorecen la existencia de organismos vivos, manteniendo un rango de pH entre 6,2 y 7,8 (Cóndor, 2019, pág. 37).

### **2.3.1. Partes de biofiltros**

#### *2.3.1.1. Lechos filtrantes*

Son materiales granulares con dimensiones moleculares para captar sólidos en agua mediante absorción o intercambio iónico. La eficacia de la filtración requiere que los sólidos puedan penetrar profundamente dentro del lecho filtrante y no bloquearlo en la superficie (Pino et al., 2021, pág. 85).

Según (Robalino, 2021) el medio filtrante ocupa generalmente entre el 50 y 70% de la altura total del biofiltro y sus principales finalidades son (pág. 30):

- Facilitar el contacto entre el efluente y los sólidos biológicos contenidos en el biofiltro.
- Proporciona una distribución homogénea del flujo dentro del biofiltro.
- Favorece la acumulación significativa de biomasa.
- Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean sacados del sistema de tratamiento.
- Servir de soporte para la formación de la biopelícula que es el principal mecanismo de remoción de contaminantes.
- Los factores considerados al seleccionar el material del lecho filtrante abarcan la granulometría, porosidad, permeabilidad y resistencia física al desgaste provocado por las aguas residuales (Pavón, 2021, pág. 33) . A continuación, se describen los materiales utilizados como medios filtrantes:

#### *2.3.1.2. Arena sílica*

Es un compuesto resultante de la combinación del Silicio con el Oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de Oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO<sub>2</sub>, se produce por trituración de piedra o arena de sílica de textura abierta, cribada a distribución de grano necesaria (Pino et al., 2021, pág. 85).

La arena de sílice se obtiene mediante el proceso de trituración, molienda y lavado de sílice de alta calidad. Se emplea como medio granular filtrante en el tratamiento de agua potable y residual. En cuanto a sus características físicas, se destaca por ser de gránulo duro. El tamaño de grano de las partículas es variable y cribable, presentando principalmente un color que oscila entre marrón y gris (Susunaga et al., 2020, pág. 89).



**Ilustración 2-1: Arena sílica**

**Fuente:** Córdoba y Dueñas, 2016

### 2.3.1.3. Grava

Es de origen geológico, resulta de la desintegración o descomposición de rocas provocada por procesos climáticos naturales. Además, puede tener un origen artificial cuando piedras como: caliza, granito, basalto, dolomita y cuarzo son sometidas a un proceso de corte. Este material, se encuentra en lechos de ríos y se caracteriza por tener un tamaño de partícula que varía entre 2 y 256 milímetros (Arias y Gonzabay, 2022, pág.19).

La utilización de grava representa una alternativa económica y eficiente para la separación de materia orgánica, como grasas y aceites, en sistemas de tratamiento de aguas. Su función principal radica en disminuir la velocidad del flujo de agua, distribuyéndola de manera uniforme para la captura y eliminación progresiva de gérmenes contaminantes (Merino, 2017, pág. 3).



**Ilustración 2-2: Grava**

**Fuente:** (Ríos, 2023, pág.63)

#### 2.3.1.4. *Fibras de origen vegetal*

Las fibras vegetales son el principal componente estructural de los tejidos vegetales y se encuentran en diferentes partes de la planta, como: el tallo, hojas, flor, fruto y la semilla. Están compuestas principalmente por celulosa, lignina, pectina y hemicelulosa (González, 2022, pág.17).

La producción mundial de fibras ha experimentado un aumento notable en las últimas dos décadas, pasando de 58 millones de toneladas en 2000 a 109 millones de toneladas en 2020. A pesar de la incertidumbre causada por la pandemia y otros factores, se proyecta un aumento adicional del 34%, alcanzando 146 millones de toneladas en 2030 (Díaz et al., 2022 pág. 19).

Este incremento se debe a sus ventajosas propiedades tales como: su bajo coste, biodegradabilidad o su carácter sostenible (Materioteca de Galicia, 2021, pág. 6). Principalmente son usadas en el tratamiento de aguas residuales debido a los beneficios que aporta en su capacidad de adsorción de partículas de los cuales su función es eliminar micropartículas de desechos que contiene el agua (Martín et al., 2023, pág. 5).



**Ilustración 2-3: Fibra vegetal**

**Fuente:** (Vázquez y Munguía, 2015 pág.38)

## 2.4. Fibras vegetales

### 2.4.1. *Yanchama (Poulsenia armata)*

Es una fibra extraída de la corteza de los árboles del género *Ficus*, que pertenece a la familia *Moraceae*, ha sido utilizada ancestralmente en la confección de máscaras y ropa. En la actualidad, las poblaciones de estas especies se encuentran en estado silvestre y pueden ser recolectadas en cualquier época del año. El proceso de extracción implica cortar el árbol, retirar la corteza, alargarla y estirla mediante golpes suaves, para luego proceder al blanqueamiento al sol (Franco, 2002, pág. 18).



**Ilustración 2-4: Fibra de Yanchama**

Fuente: (Vargas et al., 2016)

#### **2.4.2. Estropajo común (*Luffa cylindrica*)**

Es una planta de la familia de las cucurbitáceas, con crecimiento indeterminado y origen en América (Loeza et al., 2018, pág. 1). Presenta una raíz fibrosa, con tallo trepador que puede subir en los árboles tropicales y alcanzar más de 15 metros de longitud. Sus hojas son lobuladas y de gran tamaño que le permite a la planta realizar los procesos de fotosíntesis de forma eficiente. El fruto es alargado, cilíndrico, liso de color verde, con un tamaño de 20 a 60 cm (Cerda, 2019, págs. 31-34).

Las fibras de *Luffa cylindrica* se destacan por ser renovables, biodegradables y poseen alta resistencia. El fruto presenta una estructura única con un sistema vascular fibroso natural compuesto por cordones, distinto de otras fibras. Este material lignocelulósico contiene un 63% de celulosa, 19,4% de hemicelulosa, 11,2% de lignina, 3,2% de extractivas y 0,4% de cenizas. Estas fibras son versátiles y poseen un potencial de ingeniería que las hace eficaces como refuerzo en diversas aplicaciones (Anastopoulos y Pashalidis, 2020, pág. 3).



**Ilustración 2-5: Fibra de Estropajo común**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2023.

## **2.5. Tiempo de retención hidráulico**

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la duración que el agua residual permanece en el filtro durante la fase de reacción. Un mayor TRH ha demostrado reducir la materia orgánica, mejorando así el rendimiento del proceso. Por ende, se prefieren tiempos de reacción prolongados para obtener mayores eficiencias de eliminación (Cedeño, Lascano 2023, pág. 31).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de Investigación

**Tipo de estudio:** Aplicado porque tiene como finalidad directa el tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de biofiltros aplicando fibras de Estropajo común (*Luffa cylindrica*) y Yanchama (*Poulsenia armata*) para su posterior descarga en cuerpos de agua dulce.

**Por el tipo de enfoque:** Es cuantitativo porque se recogerán datos físicos y químicos antes y después de la biofiltración, durante un periodo de 48 horas.

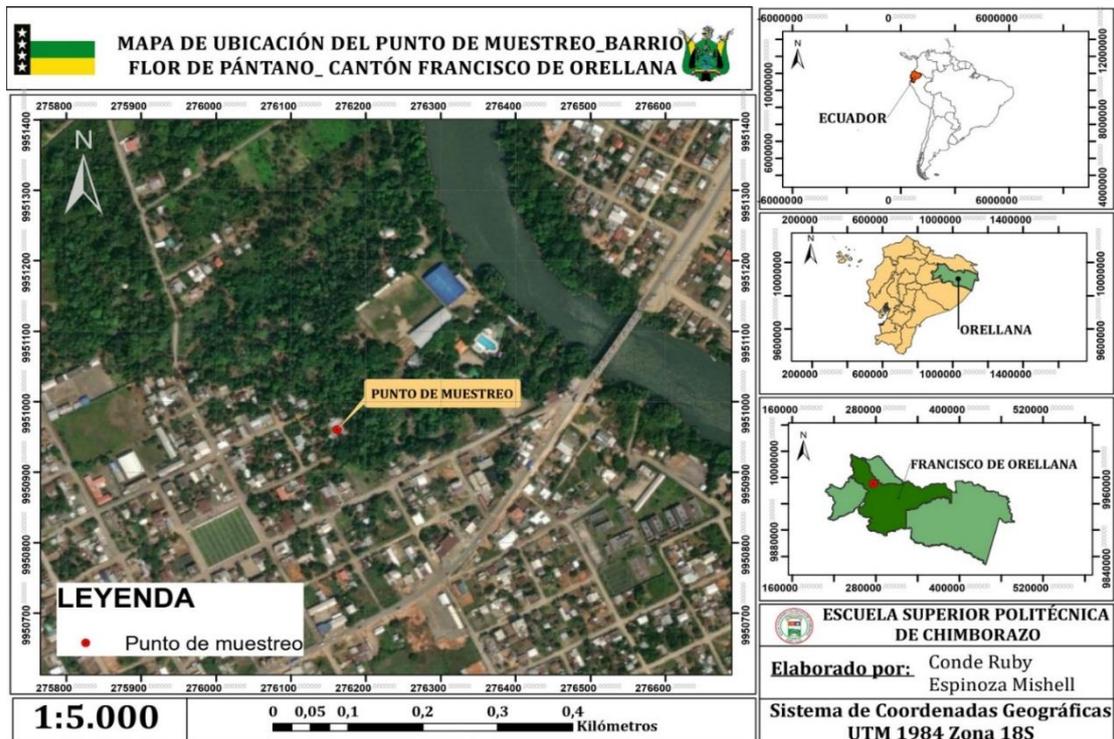
**Por el diseño de investigación:** Experimental puesto que se manipulan dos variables independientes que corresponden al biofiltro A (*Luffa cylindrica*) y el biofiltro B (*Poulsenia armata*), los cuales generarán un efecto en una variable dependiente que es la calidad del agua residual posterior al tratamiento.

**Alcance:** El alcance de esta investigación busca determinar la eficacia de los biofiltros y de las fibras empleadas en su construcción.

#### 3.2. Área de estudio

El estudio se realizó en una residencia situada Cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana. Las muestras de agua residual fueron tomadas de una tubería que recoge el agua residual del Barrio Flor de Pantano perteneciente al Cantón Francisco de Orellana.

### 3.2.1. Mapa de ubicación



### 3.3. Diseño de la investigación

#### 3.3.1. Diseño Experimental

El método ANOVA con un factor de clasificación también llamado Diseño Completamente al Azar (DCA) sirve para comparar distintas poblaciones y evaluar su variabilidad, dado que considera la variación entre poblaciones y el error aleatorio.

El análisis estadístico que se utilizó fue ANOVA de un factor, y el método de Tukey en el software SPSS como herramienta estadística, permitiendo determinar si existen diferencias significativas entre las medias de dos componentes o más grupos, teniendo en la investigación dos componentes:

- Un biofiltro A Estropajo común (*Luffa cylindrica*)
- Un biofiltro B Yanchama (*Poulsenia armata*)

Dentro del ANOVA de un factor, se consideran las pruebas de supuestos para comprobar si el tratamiento es significativo o no, en donde:

Teniendo en cuenta la hipótesis nula y alternativa:

$H_0 = Sig < 0.05$ , se rechaza la  $H_0$

$H_0 = Sig > 0.05$ , se acepta la  $H_0$

### **3.4. Metodología**

La metodología de esta investigación se compuso por cuatro fases que abarcan los cuatro objetivos específicos planteados. Los resultados obtenidos del agua tratada fueron comparados con el Acuerdo Ministerial 097-A, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE-Anexo 1-Tabla 9 que corresponde a la descarga de agua a un cuerpo de agua dulce.

#### **3.4.1. Primera fase: Caracterización física y química de las fibras de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata***

##### *3.4.1.1. Obtención de la fibra de *Luffa cylindrica**

- *Método de cosecha manual*

La planta inicia su fase de floración aproximadamente a los 60 días después de germinar. Al llegar al tercer mes, comienza a generar frutos y completa su desarrollo en el quinto mes. Su capacidad productiva es continua y puede extenderse a lo largo de dos ciclos de producción, siendo recomendable reiniciar el proceso de siembra nuevamente una vez completados estos ciclos.

Durante la fase de cosecha, se llevó a cabo la identificación de las *Luffa cylindrica* maduras, prestando atención al cambio en el color de la cáscara, que adquirió tonalidades amarillo pálido o marrón claro. Este cambio se asoció con un peso liviano y una textura fibrosa al tacto, indicando la madurez del fruto.

La recolección se realizó empleando tijeras podadoras esterilizadas para evitar infecciones en las plantas. Para alcanzar los frutos en zonas de difícil acceso, se utilizó un malayo de 2 metros de altura. Los frutos fueron cortados con cuidado para preservar aquellos que aún estaban en proceso de crecimiento, recolectándose un total de 40 *Luffas cylindricas* en sacos de propileno. Estos sacos presentan características de alta impermeabilidad asegurando una mayor protección contra la humedad y a su vez evitando que la *Luffa cylindrica* pierda su calidad.

Posteriormente, se procedió a una limpieza suave utilizando una toalla de microfibra para eliminar la suciedad y los residuos de la piel de la *Luffa cylindrica*. Se utilizó este tipo de toalla puesto que es suave al tacto y no genera pelusa. Aquellas con exceso de humedad en su interior fueron dejadas

al sol por varios días para reducir la humedad y facilitar la extracción de la cáscara. Una vez secas por completo, se utilizó un bisturí para retirar la piel exterior y revelar la esponja fibrosa en su interior (Ramírez, 2019, págs. 60-61).

#### 3.4.1.2. *Obtención de la fibra de Poulsenia armata*

##### - *Método de cosecha manual*

La *Poulsenia armata*, perteneciente al género *Ficus* y clasificada en la familia *Moraceae*, es un árbol cuyas poblaciones en la actualidad se encuentran en estado silvestre y son recolectados en cualquier estación del año (Franco, 2002, pág. 18). Estos árboles pueden alcanzar hasta 30 metros de altura, con una longitud comercial de 14 metros y un diámetro de 90 cm. Su tronco, recto y cilíndrico, presenta espinas cortas. La copa es de forma redonda o irregular, con una densidad limitada. La corteza interna exhibe un tono crema amarillento y exuda un látex dulce de color blanco o rosado, que adquiere tonalidades pardas al entrar en contacto con el aire (Rincón y Sibille, 2006, pág. 3).

El proceso de obtención de fibra inició con el corte selectivo de árboles, priorizando especies en crecimiento juvenil con alturas de 5 a 15 metros y diámetros de 11 a 30 centímetros. Posteriormente, se llevó a cabo la extracción de la corteza externa para obtener las capas de fibra que están adheridas a la misma. En base al conocimiento ancestral de las comunidades indígenas extractoras de este material, el punto de corte se determina mediante la identificación de la "vejiga del árbol", que corresponde a la región donde la corteza presenta menor espesor. Con el objetivo de preservar la fibra y el árbol. Luego, el material se machaca con un mazo de madera para suavizar su textura, extrayendo la fibra en forma de tela. Para asegurar la pureza del material, se lleva a cabo un lavado meticuloso con abundante agua, eliminando cualquier residuo de látex. Finalmente, el material se expone al sol durante un periodo de 23 días para su secado (Torres, 2006, pág. 43).

#### 3.4.1.3. *Caracterización física de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata*

En base a (San Andrés et al., 2023), se llevó a cabo la metodología para realizar la caracterización física de las fibras vegetales, determinado su longitud, diámetro y peso. (pág. 3)

##### - **Determinación de la Humedad**

Para la determinación de la humedad en ambos tipos de fibras se empleó el método gravimétrico. Para lo cual se calculó la masa de una capsula vacía y se cuantifico 3 gramos de muestra dentro de la capsula. La muestra fue sometida en una estufa a una temperatura de (105 +/- para llevar a cabo un proceso de deshidratación durante 24 horas. Posterior a esto se llevó a un desecador y se

registró la masa de la capsula que contenía la muestra. Se realizó dos repeticiones que sustentan los datos obtenidos (Loja, 2017, págs. 44-45). Para el establecimiento de la humedad se empleó la ecuación 1 descrita a continuación:

### **Ecuación 3-1: Determinación de humedad**

$$\%Humedad = \frac{Muestra\ húmeda - Muestra\ seca}{Muestra\ húmeda} * 100$$

- **Determinación de Longitud y diámetro**

En la *Luffa cylindrica* se recolectaron 15 muestras de fibra y se procedió a mediciones precisas de su longitud y diámetro mediante el uso de una regla metálica especializada. Se calculó con exactitud la media de estas dimensiones para obtener un valor representativo. Asimismo, se realizó una minuciosa observación de las características morfológicas de las fibras, como textura y apariencia, utilizando un Stereoscopio óptico con cámara integrada. Esta metodología proporcionó una caracterización detallada de las fibras, arrojando datos significativos sobre su estructura física y propiedades microscópicas.

Durante el análisis de *Poulsenia armata*, se extrajeron 3 muestras representativas de fibra, en la cual se midió su longitud y diámetro utilizando una regla metálica. Luego, se procedió a examinar minuciosamente sus características, incluyendo textura y apariencia, mediante un microscopio óptico equipado con cámara integrada de la marca Euromex, modelo bScope. Este enfoque metodológico permitió obtener datos exactos sobre las propiedades físicas y microscópicas de las fibras de *Poulsenia armata*, lo que contribuyó significativamente al conocimiento detallado de su estructura y composición.

- **Determinación del Peso de la fibra**

Se utilizó una balanza analítica de la marca BAS 31 plus para llevar a cabo la determinación precisa del peso de las fibras vegetales. Esta balanza se empleó para medir el peso de dos muestras representativas, las cuales correspondían a las fibras de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*. Gracias a este método, se logró obtener información detallada sobre las propiedades físicas de las fibras, lo que contribuyó significativamente a una comprensión más profunda de sus características y potenciales aplicaciones.

#### *3.4.1.4. Caracterización química de la Luffa cylindrica y Poulsenia armata*

La caracterización química de la fibra de la *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* se llevó a cabo mediante un análisis de laboratorio con el propósito de determinar la presencia y concentración

de componentes específicos, tales la lignina Klason, celulosa y holocelulosa basado en la metodología establecida por (Barroso, 2010, págs. 79-81).

- ***Determinación de Lignina Klason.***

Se realizó un proceso de hidrólisis, en el cual el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 72% facilitó la descomposición de polisacáridos en oligosacáridos. Posteriormente, mediante el uso de ácido sulfúrico al 4%, se llevó a cabo la transformación de los oligosacáridos resultantes en monosacáridos.

Basado en las directrices de la norma TAPPI T-222 os-74 se determinó la Lignina Klason en ambas variedades de fibra. Inicialmente, se pesó 1 gramo de la muestra exenta de extracto, seguido de la adición de 15 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 72%, con agitación constante. La muestra se sometió a un baño María a una temperatura de  $(20\pm 1)$  °C durante 2 horas, hasta que la muestra adquirió una tonalidad oscura. Posteriormente, se transfirió el contenido a un matraz de destilación. Se introdujo en el matraz 560 ml de agua destilada a una temperatura alta para obtener una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 4%. Luego, el refrigerante se sometió a un proceso de ebullición continua durante 4 horas mediante la técnica de reflujo. Se ensambló el sistema de filtración y se llevó a cabo el proceso de filtrado, calculando previamente el peso del filtro Gooch número 3.

Luego de eso se realizó el lavado del residuo sólido empleando agua destilada a una temperatura elevada. Finalmente se procedió a desecar en un horno a una temperatura de  $105\pm 3$  °C hasta alcanzar una masa constante. Para la interpretación del resultado se empleó la ecuación 2:

**Ecuación 3-2: Determinación de Lignina Klason**

$$\% \text{ lignina} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$

- ***Determinación de Celulosa***

Siguiendo las pautas establecidas por el procedimiento de Kurschner y Hoffer se determinó la Celulosa. Primeramente, se pesó 1 gramo de la muestra sin extractos adicionando 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado. Luego de esto se realizó un baño María de un tiempo aproximado de 30 minutos. Seguidamente se filtró la solución por un filtro Gooch numero 3 previamente pesado. El residuo sólido se sometió a una segunda digestión con 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado, durante 30 minutos a reflujo. Se decantó y por tercera vez se sometió al residuo a una digestión con 100 ml de agua destilada durante 1 hora. Se filtró la solución y se lavó con agua destilada caliente. Se secó el residuo en una estufa a  $105\pm 3$  °C. por

último se enfrió en un desecador y se pesó. Los datos obtenidos se encuentran representados en la ecuación 3.

### **Ecuación 3-3: Determinación de Celulosa**

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$

#### **- Determinación de Holocelulosa**

La determinación de holocelulosa se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas por la Norma ASTM 1104-56. En esta metodología, se midieron con precisión 2 gramos de la muestra exenta de extractos, los cuales fueron transferidos a un matraz de 500 ml. En un baño de agua con temperatura controlada entre (70-80) °C, se introdujeron 160 ml de agua destilada, 1 gramo de clorito de sodio y 0.2 ml de ácido acético glacial, manteniendo la mezcla en reposo durante 1 hora. Posteriormente, este procedimiento se repitió al menos tres veces durante un periodo no inferior a tres horas, añadiendo nuevamente 1 gramo de clorito de sodio y 0.2 ml de ácido acético glacial, hasta que la muestra adquirió una coloración blanca. Tras esperar una hora después de la última incorporación, se procedió a enfriar la muestra en un baño de hielo a una temperatura de 10 °C. La filtración se llevó a cabo mediante papel filtro de tamaño 40, seguido de un enjuague con 500 ml de agua destilada a baja temperatura. El residuo se recolectó en una cápsula de porcelana después de medir su peso inicial y se sometió a un proceso de desecación en una estufa a una temperatura de 105+/-3 °C durante un lapso de 4 horas, hasta alcanzar un peso constante. Los resultados obtenidos se encuentran representados en la ecuación 4.

### **Ecuación 3-4: Determinación de Holocelulosa**

$$\% \text{ Holocelulosa} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$

#### **3.4.2. Segunda fase: Construcción de los biofiltros**

Para la construcción de los biofiltros, se emplearon dos bidones de plástico polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) cuya capacidad es de 20 litros. En la base de cada uno, se practicó un agujero para la disposición de los lechos filtrantes y el agua a tratar, utilizando un bistrú como herramienta adecuada para este propósito. Se construyó un soporte compuesto por ocho palos de un metro de longitud y cuatro centímetros de diámetro, junto con otros ocho de treinta centímetros para la parte superior de los bidones. Esta estructura se ensambló utilizando clavos de diferentes medidas (½ pulgada y 3 pulgadas), un martillo y una cegueta.

Una vez los bidones se aseguraron en el soporte, se dispuso los lechos filtrantes siguiendo un orden específico: se colocó de forma ascendente 90 g de algodón hidrófilo extra absorbente, 6350.29 g de arena sílica , 126 g de fibra de Luffa cylindrica en un bidón y 180 g de fibra de Poulsenia armata en el otro y 4989.52 g de grava. Este diseño estructurado asegura una disposición eficiente de los medios filtrantes, fundamental para el tratamiento efectivo del agua residual.

### **3.4.3. Tercera fase: Análisis físico-químico del agua previo al tratamiento**

#### *3.4.3.1. Muestreo del agua residual*

El muestreo se realizó mediante un método simple tomando la muestra desde una tubería que recoge el agua residual del Barrio Flor de Pantano perteneciente al Cantón Francisco de Orellana, Provincia de Orellana. Cabe mencionar que dicha agua es descargada directamente al Río Payamino. Previo a la toma de muestras se verificó que el equipo de muestreo esté limpio y en condiciones adecuadas. Se utilizó guantes de látex para evitar contaminación y se etiquetó los envases de muestreo con información relevante como la fecha, hora y ubicación. La recolección consistió en la toma de una muestra simple de 40 litros de agua en el punto en específico de descarga. Posterior a esto las muestras fueron trasladadas al laboratorio en condiciones adecuadas para la evaluación de parámetros como: Demanda Química de Oxígeno, Turbidez, Cadmio, Cobre, Níquel, Manganeso, Hierro, Zinc, Plomo y pH (Reutelshöfer y Guzmán, 2015, pág. 12).

#### *3.4.3.2. Análisis de los parámetros*

La metodología establecida para el análisis de los parámetros bajo estudio se rigió en la normativa que presenta el Standard Methods for the Examination of water and wastewater 22ND Edition (Rice et al., 2012, págs. 6-20) .

##### *- pH*

La determinación directa del pH en muestras de aguas naturales y descargas líquidas no aceitosas requiere un proceso cuidadoso de calibración del equipo. Para la medición se utilizó un multiparamétrico adaptado para la medición de pH de modelo HI 3512-01. En este procedimiento, se seleccionan tres buffers precalibrados con valores de pH de 4, 7 y 10 para ajustar y validar la precisión del equipo. Posteriormente, se introduce un volumen adecuado de la muestra en un recipiente de vidrio o plástico limpio, asegurándose de cubrir completamente el electrodo de vidrio. El electrodo y el sensor de temperatura se sumergen en la muestra y se agitan suavemente para lograr homogeneidad y suspensión de sólidos, y se espera hasta que la lectura del pH se estabilice. El valor resultante se registra en el protocolo de trabajo designado (F-PT-01-01). Para

realizar mediciones de pH en otras muestras, es esencial enjuagar el electrodo y repetir los pasos mencionados. Entre determinaciones de diferentes muestras, se lleva a cabo un enjuague del electrodo con agua destilada, seguido de la eliminación de cualquier gota de agua en la punta del electrodo mediante papel absorbente, garantizando así la integridad de las mediciones y la prevención de posibles contaminaciones cruzadas.

- *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Para llevar a cabo el análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se inició encendiendo el Bloque de Digestión E-012, estableciendo la temperatura a 150°C. Se añadieron 2 ml de la muestra, estándar de control (STD 100 ppm) o blanco (agua destilada) en diferentes viales. Luego, se inició el programa al oprimir el botón correspondiente, esperando el sonido BIP que señala la preparación para la digestión. Los viales se colocaron en el Bloque de Digestión E-012 y se esperó un tiempo de 2 horas. Una vez finalizada la digestión, se retiraron los viales, se homogenizaron y se colocaron en una gradilla para enfriar a temperatura ambiente. Tras el enfriamiento, se midió la concentración de DQO. Posteriormente se encendió el Espectrofotómetro UV-VISIBLE E-004, seleccionando la opción REMOTE. Se utilizó una computadora para abrir la aplicación Visión Lite. Luego se elige el método "DQO 3-150 ppm 2020.mqa" y se mide la referencia con el vial estándar de control (agua destilada), presionamos clic en la lista de muestras y se introdujo el código del estándar de control y de la muestra. Finalmente, se procedió a la determinación de DQO mediante la opción de medición.

- *Turbidez*

Para la determinación de la turbidez en las muestras de agua, se empleó un espectrofotómetro UV visible. Primeramente, se emplea una celda, previamente enjuagada, para encerar el equipo con 10 ml de agua destilada. Al ingresar la celda al equipo, se seca suavemente con una toalla para permitir que el haz de luz pueda evaluar la turbidez presente en el agua. Una vez colocada la celda, se pone en funcionamiento el equipo. Posteriormente, se repite el mismo proceso para determinar la turbidez en la muestra de agua residual, asegurándose de mantener las condiciones de calibración previas. Este procedimiento garantiza mediciones precisas y confiables de la turbidez en las muestras de agua analizadas.

- *Metales Pesados*

Las muestras fueron estabilizadas con  $\text{NO}_3$  y luego se filtraron lentamente a través de papel filtro. Posteriormente, se almacenaron en frascos de polietileno y se refrigeraron durante una semana. La preparación de los patrones y las curvas de calibración de cada elemento se detallan a continuación en las siguientes tablas:

- *Cadmio (Cd)*

En el proceso de preparación de la muestra para el análisis de cadmio, se transfieren individualmente 10 mL de cada patrón químico, incluidos el patrón de trabajo 1 y el patrón de trabajo 2, a matraces aforados de 100 mL. A continuación, cada matraz se acidifica con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) para garantizar la estabilidad y precisión de las medidas durante todo el procedimiento analítico. Este protocolo garantiza la correcta preparación de las soluciones patrón antes de su posterior análisis.

**Tabla 3-1: Curva de calibración de Cadmio**

<b>Curva de Calibración: Cadmio (Cd)</b>			
<b>Std #</b>	<b>Preparación</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
Estándar de trabajo 1:	100 mg/L		
Estándar de trabajo 2:	10 mg/L		
Estándar de trabajo 3:	1 mg/L		
Optimización	15,00	1,50	
Std 1	3,00 (a partir de Std. de trabajo 1)	0,03	
Std 2	5,00 (a partir de Std. de trabajo 1)	0,05	
Std 3	1,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,10	228,8
Std 4	15,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,15	
Std 5	20,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,20	

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Cobre (Cu)*

El proceso inicia transfiriendo 10 ml del patrón de trabajo 1 a un matraz aforado de 100 mL. Luego, se acidifica la solución con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>). La acidificación con HNO<sub>3</sub> ayuda a prevenir la formación de precipitados indeseables y a mantener la integridad de la muestra durante el proceso de medición.

**Tabla 3-2: Curva de calibración de Cobre**

<b>Curva de Calibración: Cobre (Cu)</b>			
Estándar de trabajo 1: 100mg/L			
<b>Std #</b>	<b>Preparación</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
Optimización	3,5	3,5	
Std 1	0,3	0,3	
Std 2	0,5	0,5	324,8
Std 3	1,0	1,00	
Std 4	1,5	1,5	
Std 5	2,0	2,00	

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Manganeso (Mn)*

En el procedimiento de análisis del manganeso, se vierten por separado 10 ml de cada patrón químico, incluidos los patrones de trabajo 1 y 2, en matraces aforados de 100 ml. A continuación, se acidifica cada balón con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>).

**Tabla 3-3: Curva de calibración de Manganeso**

<b>Curva de Calibración: Manganeso (Mn)</b>			
Estándar de trabajo 1: 100mg/L			
Estándar de trabajo 2: 10 mg/L			
Estándar de trabajo 3: 1mg/L			
<b>Std #</b>	<b>Preparación</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
Optimización	2,00 (a partir del Std.1)	2,00	
Std 1	5,00 (a partir del Std.3)	0,05	
Std 2	1,00 (a partir de Std.2)	0,10	
Std 3	3,00 (A partir del Std.2)	0,30	279,5
Std 4	5,00 (a partir del Std.2)	0,50	
Std 5	10,00 (a partir del Std.2)	1,00	

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Níquel (Ni)*

Se transfirió 10 ml del patrón químico a un matraz aforado de 100 ml y se acidificó con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>). Del mismo modo, se transfirió 10 ml del patrón de trabajo 1 a otro matraz aforado de 100 ml, se acidificó con HNO<sub>3</sub>.

**Tabla 3-4: Curva de calibración de Níquel**

<b>Curva de Calibración: Níquel (Ni)</b>			
Estándar de trabajo 1: 100 mg/L			
Estándar de trabajo 2: 10 mg/L			
<b>Std #</b>	<b>Preparación</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
Optimización	5,00 (a partir del Std. de trabajo 1)	5,00	
Std 1	2,00 (a partir del Std. de trabajo 2)	0,20	
Std 2	3,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,30	
Std 3	5,00 (A partir del Std. de trabajo 2)	0,50	332,00
Std 4	10,00 (a partir del Std. de trabajo 2)	1,00	
Std 5	15,00 (a partir del Std. de trabajo 2)	1,50	

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Hierro (Fe)*

Se realizó la transferencia de 10 mL del patrón químico y del estándar de trabajo 1 a balones de aforo de 100 mL, seguida de la acidificación con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) en cada caso.

**Tabla 3-5: Curva de calibración de Hierro**

<b>Curva de Calibración: Hierro (Fe)</b>			
Estándar de trabajo 1: 100 mg/L			
Estándar de trabajo 2: 10 mg/L			
<b>Std #</b>	<b>Preparación</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
Optimización	5,00 (a partir de Std. de trabajo 1)	5,00	
Std 1	2,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,20	
Std 2	3,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,30	
Std 3	5,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,50	248,3
Std 4	10,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	1,00	
Std 5	15,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	1,50	

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Plomo (Pb)*

Se añadieron 10 ml del patrón químico y del patrón de trabajo 1 a sus respectivos matraces aforados de 100 ml. En ambos casos, se introdujo ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) para acidificar las soluciones.

**Tabla 3-6: Curva de calibración de Plomo**

<b>Curva de Calibración: Plomo (Pb)</b>			
Estándar de trabajo 1: 100mg/L			
Estándar de trabajo 2: 10 mg/L			
<b>Std #</b>	<b>Preparación</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
Optimización	7,00 (a partir del Std. de trabajo 1)	7,00	
Std 1	3,00 (a partir del Std. de trabajo 2)	0,3	
Std 2	5,00 (a partir de Std. de trabajo 2)	0,5	
Std 3	10,00 (A partir del Std. de trabajo 2)	1,00	217,00
Std 4	15,00 (a partir del Std. de trabajo 2)	1,5	
Std 5	20,00 (a partir del Std. de trabajo 2)	2,00	

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Zinc (Zn)*

Añadir 10 ml del patrón madre a un matraz aforado de 100 ml y enrasar con solución de HNO<sub>3</sub> 0,5 M.

**Tabla 3-7: Curva de calibración de Zinc**

<b>Curva de Calibración: Zinc (Zn)</b>			
Estándar de trabajo 1: 100mg/L			
Estándar de trabajo 2: 10 mg/L			
<b>Std #</b>	<b>Preparación</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
Std 1	1,00	1,00	
Std 2	0,5	0,5	213,86
Std 3	0,25	0,25	

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

**3.4.4. Cuarta fase: Determinar la eficacia de la *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* en la remoción de contaminantes de las aguas residuales.**

Para iniciar el tratamiento, se introdujeron 10 litros de agua residual en cada uno de los biofiltros, con un tiempo de retención hidráulico de 12 horas para ambas repeticiones. La duración total del tratamiento fue de dos días. Posterior a esto se obtuvieron muestras representativas, mismas que fueron sometidas a un análisis físico-químico en el laboratorio. Los datos se procesaron mediante el software estadístico SPSS, con el propósito de llevar a cabo un análisis de varianza (ANOVA) y análisis comparativos mediante el método de Tukey para cada parámetro bajo estudio. El objetivo fue determinar diferencias significativas entre los dos métodos de tratamiento evaluados.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

##### 4.1.1. Primera fase: Caracterización física y química de las fibras de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*

###### 4.1.1.1. Caracterización física de la *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*

El contenido de humedad, la longitud, el diámetro y el peso de las fibras vegetales se determinaron mediante análisis físico. Los resultados figuran en la tabla 4-1.

**Tabla 4-1: Resultados de la caracterización física de las fibras**

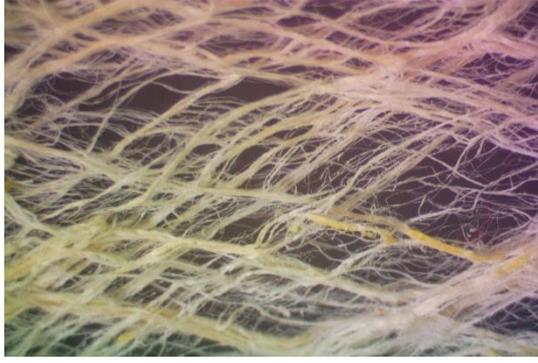
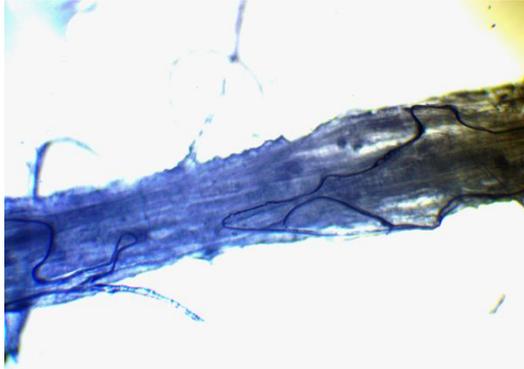
Análisis físico				
Fibras vegetales	Humedad (%)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (g)
<i>Luffa cylindrica</i>	9,349	24,6	5,4	41,39
<i>Poulsenia armata</i>	7,416	100	85	114,47

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

La caracterización física de las fibras de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* proporcionó datos exhaustivos para comprender las propiedades básicas de estos materiales vegetales. La fibra de *Luffa cylindrica* presentó mayor contenido de humedad en comparación con la fibra de *Poulsenia armata*. De igual forma se evidenciaron diferencias significativas entre los dos tipos de fibras en cuanto a longitud, diámetro y peso. Estos resultados proporcionan una visión cuantitativa y comparativa de las propiedades físicas básicas de las fibras de ambas especies, lo que resulta esencial para comprender sus propiedades estructurales.

El análisis de las fibras mediante un Stereoscopio y microscopio óptico con cámara integrada Euromex bScope mostraron diferencias significativas entre las fibras de las especies *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*. Se observó una ramificación más pronunciada en la fibra de *Luffa cylindrica* debido a su estructura bicapa con disposición horizontal en la parte externa y transversal en el interior de la fibra. Esta disposición confiere al material una mayor rigidez. Por otro lado, la fibra de *Poulsenia armata* presenta una textura más fina y está dispuesta en capas superpuestas, lo que brinda una sensación de tejido similar a la tela otorgándole una mayor resistencia y durabilidad.

**Tabla 4-2: Registro fotográfico de las fibras en el Stereoscopio y microscopio óptico con cámara integrada.**

<b>Registro fotográfico</b>	
<b>Stereoscopio óptico con cámara integrada</b>	
<b>Estropajo común (<i>Luffa cylindrica</i>)</b>	<b>Yanchama (<i>Poulsenia armata</i>)</b>
	
<b>Microscopio Óptico con cámara integrada</b>	
<b>Lente N°4</b>	<b>Lente N°4</b>
	
<b>Lente N°10</b>	<b>Lente N°10</b>
	

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### 4.1.1.2. Caracterización química de la *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*

Mediante el análisis químico de las fibras de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* se determinó el contenido de celulosa, holocelulosa y lignina.

##### - *Luffa cylindrica*

Contenido de lignina klason

$$\% \text{ lignina} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$

$$\% \text{ lignina} = \frac{0,39423 \text{ (g)}}{1 \text{ (g)}} * 100$$

$$\% \text{ lignina} = 39,423 \%$$

Contenido de celulosa

$$\% \text{ celulosa} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = \frac{0,43333 \text{ (g)}}{1 \text{ (g)}} * 100$$

$$\% \text{ celulosa} = 43,333 \%$$

Contenido de holocelulosa

$$\% \text{ holocelulosa} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$

$$\% \text{ holocelulosa} = \frac{0,61372 \text{ (g)}}{1 \text{ (g)}} * 100$$

$$\% \text{ holocelulosa} = 61,372 \%$$

##### - *Poulsenia armata*

Contenido de lignina klason

$$\% \text{ lignina} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$

$$\% \text{ lignina} = \frac{0,18611 \text{ (g)}}{1 \text{ (g)}} * 100$$

$$\% \text{ lignina} = 18,611 \%$$

Contenido de celulosa

$$\% \text{ celulosa} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$
$$\% \text{ celulosa} = \frac{0,69837 \text{ (g)}}{1 \text{ (g)}} * 100$$
$$\% \text{ celulosa} = 69,837 \%$$

Contenido de holocelulosa

$$\% \text{ holocelulosa} = \frac{\text{Peso del residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre de extracto}} * 100$$
$$\% \text{ holocelulosa} = \frac{0,88212 \text{ (g)}}{1 \text{ (g)}} * 100$$
$$\% \text{ holocelulosa} = 88,212 \%$$

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 4-3: Resultados de la caracterización química de las fibras**

Análisis químico			
Fibras vegetales	Celulosa (%)	Holocelulosa (%)	Lignina (%)
<i>Luffa cylindrica</i>	43,333	61,372	39,423
<i>Poulsenia armata</i>	69,837	88,212	18,611

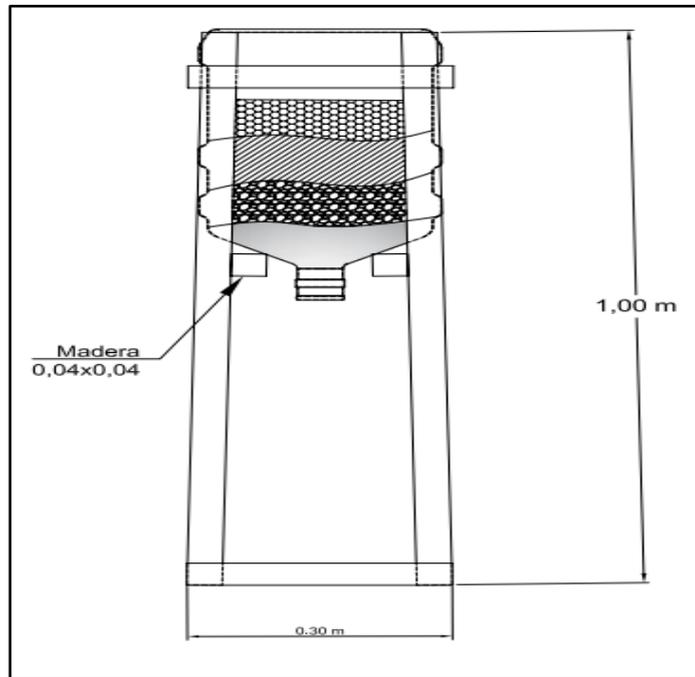
Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Durante el estudio, se tomaron muestras representativas de 100 gramos de cada fibra vegetal para su posterior análisis. Los resultados mostraron que la *Poulsenia armata* tenía un contenido de celulosa del 69,837% y un contenido de holocelulosa del 88,212%. Estos resultados indican la resistencia y durabilidad inherentes de esta fibra. La *Luffa cylindrica*, por su parte, presentó un mayor contenido de lignina, del 39,423%, lo que indica una notable rigidez de esta fibra.

#### 4.1.2. Segunda fase: Construcción de los biofiltros

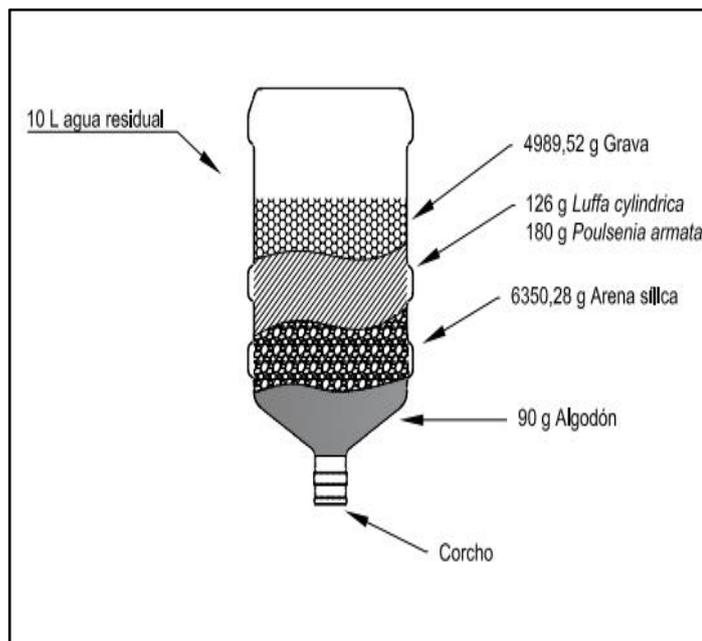
Durante esta fase se procedió al diseño de los biofiltros, que constituyeron la base fundamental para el desarrollo de este estudio. El éxito de la integración de los dos tratamientos se consiguió mediante una estructura robusta consistente en lechos filtrantes de grava, fibras vegetales, arena sílica, algodón y un corcho, este último utilizado para evitar la pérdida de agua durante el proceso de tratamiento. En las siguientes figuras se detallan los materiales filtrantes utilizados en el proceso de tratamiento. La selección de estos materiales se basó en criterios específicos como la

capacidad de retención, la capacidad de adsorción y la resistencia a la degradación, que son cruciales para la eficacia del sistema. Este cuidadoso planteamiento del diseño del biofiltro refuerza la confiabilidad y relevancia de los resultados obtenidos en el estudio.



**Ilustración 4-1: Diseño AutoCAD de la Estructura del Biofiltro**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.



**Ilustración 4-2: Diseño AutoCAD de la distribución de los lechos filtrantes en el Biofiltro**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### 4.1.3. Tercera fase: Análisis físico-químico del agua previo al tratamiento

En esta etapa, se llevó a cabo el análisis del agua inicial que será empleada en los biofiltros de *Poulsenia armata* y *Luffa cylindrica* con el propósito de someterla a un tratamiento subsiguiente. Los parámetros evaluados en dicha muestra de agua incluyeron la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez, pH, así como los niveles de Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Plomo (Pb). Los resultados obtenidos se presentan de manera detallada en la tabla 4-4:

**Tabla 4-4: Resultados del Análisis físico-químico del agua previo al tratamiento**

Análisis físico-químico del agua previo al tratamiento				
Parámetros	Unidad	Resultados Del laboratorio	Valores de referencia	Interpretación
<b>DQO</b>	mg/l	512	200	No cumple
<b>pH</b>	-	6,92	6-9	Cumple
<b>Turbidez</b>	UNT	634,58	-	Cumple
<b>Cd</b>	mg/l	0,0059	0,02	Cumple
<b>Cu</b>	mg/l	0,0370	1	Cumple
<b>Mn</b>	mg/l	0,0656	2	Cumple
<b>Ni</b>	mg/l	0,0145	2	Cumple
<b>Fe</b>	mg/l	2,1959	10	Cumple
<b>Zn</b>	mg/l	0,0480	5	Cumple
<b>Pb</b>	mg/l	0,0223	0,2	Cumple

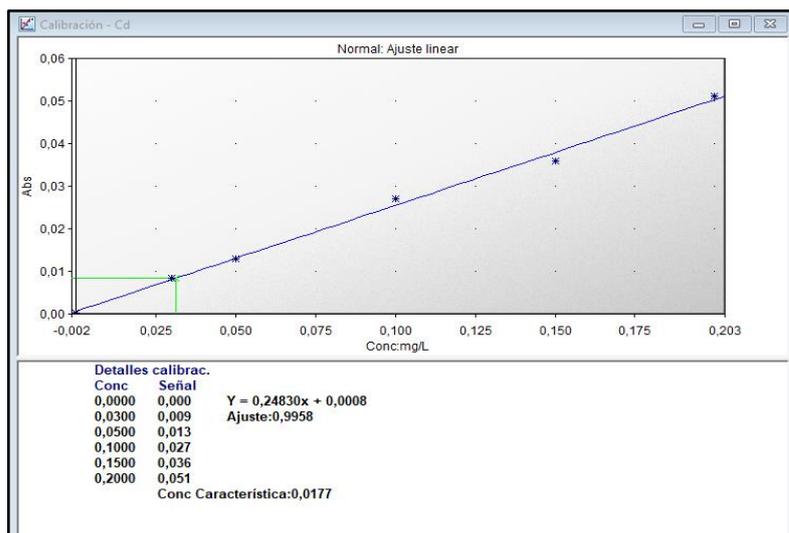
Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### 4.1.4. Cuarta fase: Determinar la eficacia de la *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* en la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

##### 4.1.4.1. Gráficas de dispersión de la curva de calibración de metales pesados.

###### - Cadmio (Cd)

La ilustración 4-3 muestra la curva de calibración del cadmio, la cual presentó una linealidad que indicó un buen ajuste. Debido a que la absorbancia aumenta proporcionalmente al incremento de la concentración de cadmio. La ecuación que modeló esta línea de tendencia fue  $Y = 0,24830x + 0,008$ . Este modelo reflejó la dependencia lineal de Y respecto a X, con una pendiente de 0,24830 y una intercepción de 0,008. Se identificó un valor de concentración característico de 0,0117 mg/L que representó el nivel de concentración de analito capaz de producir una señal clara por encima del nivel de ruido de fondo. Además, el ajuste lineal se caracterizó por un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,9958, evidenciando así su alta precisión.

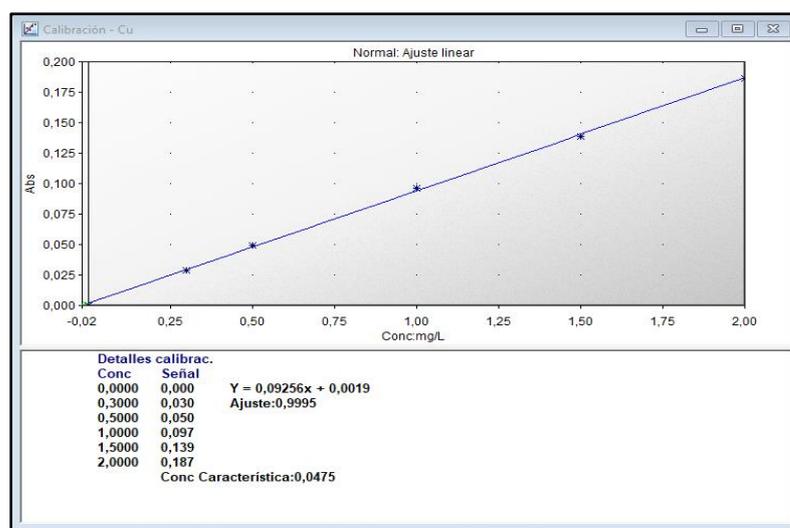


**Ilustración 4-3: Gráfica de la curva de calibración del Cadmio**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Cobre (Cu)*

La curva de calibración del cobre mostró una línea recta ajustada a través del conjunto de puntos de datos. En donde se indicó una relación lineal entre la concentración y la absorbancia en el intervalo analizado. La ecuación de la línea recta  $Y = 0,09256x + 0,0091$  describió el modelo de calibración, donde "y" es la absorbancia, "x" es la concentración y los coeficientes representan la pendiente y la intersección. La concentración característica fue de 0,0475 mg/L, la cual señaló el nivel de concentración de analito que produce una señal clara por encima del ruido de fondo. El ajuste lineal se caracterizó por un valor  $R^2$  de 0,9995, mostrando un excelente ajuste entre los datos experimentales y el modelo lineal, que explicó el 99,95% de la variabilidad de los datos de absorbancia.

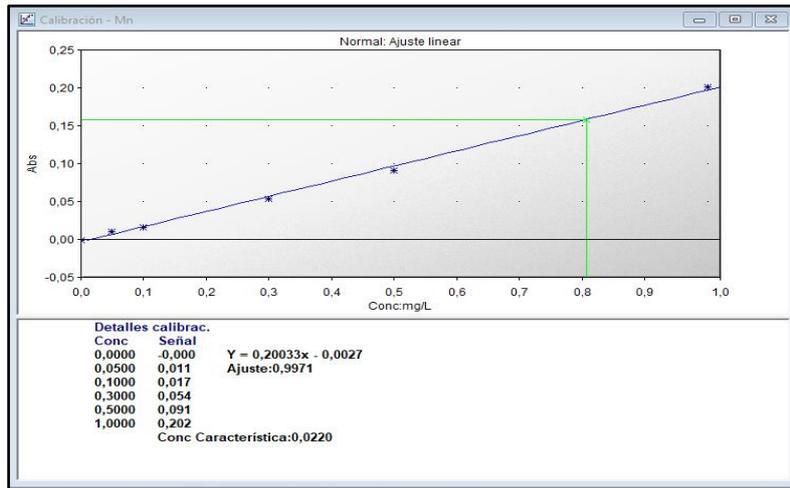


**Ilustración 4-4: Gráfica de la curva de calibración del Cobre**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Manganeso (Mn)*

La curva de calibración del manganeso interpretada en la ilustración 4-5 se caracterizó por la ecuación  $Y = 0,20033x - 0,0027$ , siendo esta la línea de mejor ajuste a los datos. Se destacó por un valor de ajuste de 0,9971, evidenciando una correlación muy fuerte entre la concentración y la absorbancia. Adicionalmente presentó un valor de concentración característica de 0,0220, lo que indica una concentración específica de interés en la curva.

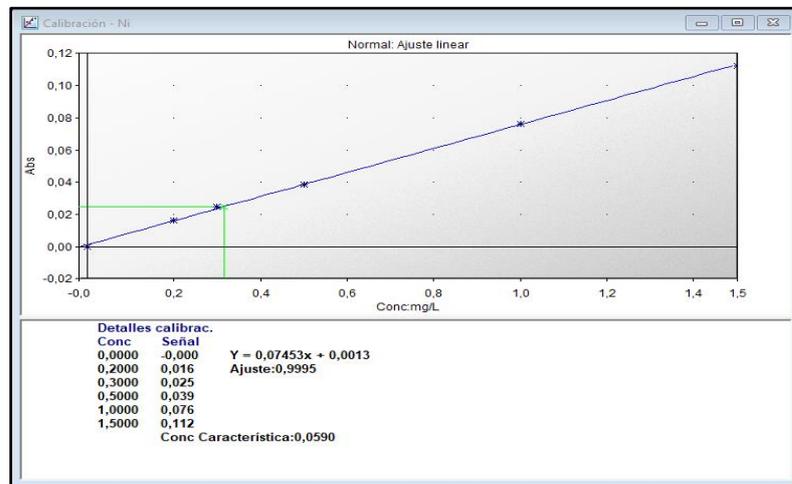


**Ilustración 4-5: Gráfica de la curva de calibración del Manganeso**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- *Níquel (Ni)*

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del níquel se estableció en 0,9995, indicando un ajuste muy preciso de la línea de regresión de los datos recopilados. La ecuación de la recta de regresión lineal fue expresada como  $Y = 0,07543x + 0,0013$ . Además, se evidenció una concentración característica de 0,0590. Esto se detalla en la Ilustración 4-6.

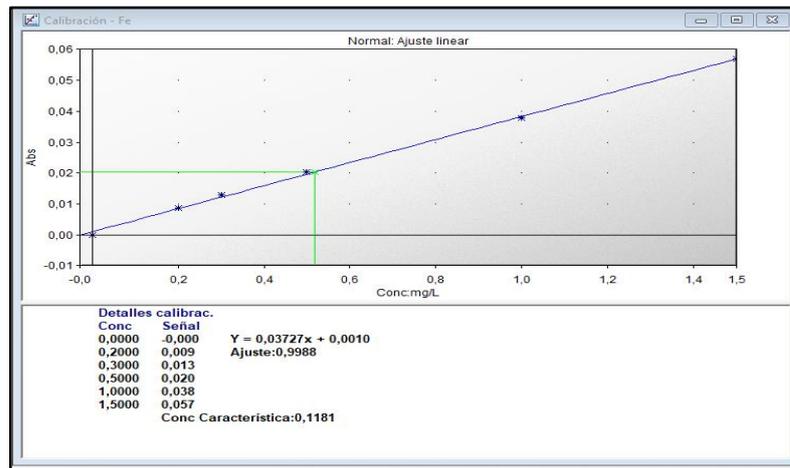


**Ilustración 4-6: Gráfica de la curva de calibración del Níquel**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- Hierro (Fe)

En el eje de abscisas se mostraba la concentración del elemento en miligramos por litro, extendiéndose desde 0,0 hasta 1,5, mientras que el eje de ordenadas se mostró la absorbancia, variando de 0 a 0,06. El análisis de regresión lineal se describió mediante la ecuación  $Y = 0,03727x + 0,0010$ . El valor R-cuadrado fue de 0,9988 indicando una relación lineal muy fuerte dentro del rango de concentraciones evaluado.

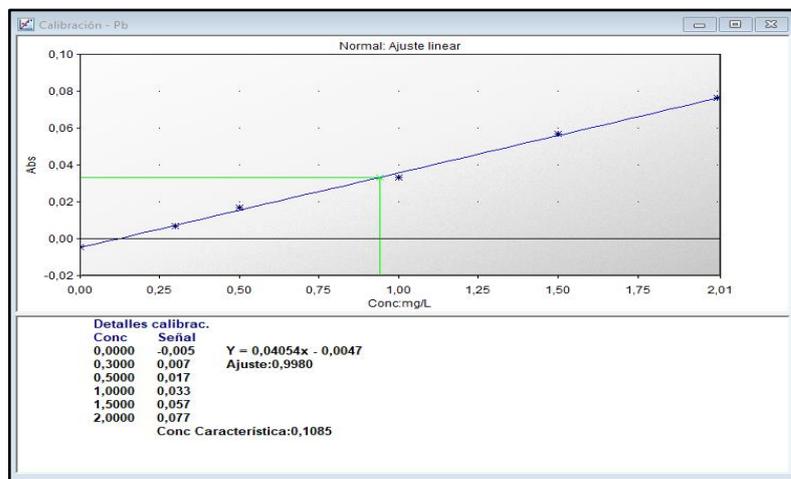


**Ilustración 4-7: Gráfica de la curva de calibración del Hierro**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- Plomo (Pb)

Se identificó un valor de concentración característico de 0,1085 mg/L, que constituyó un punto significativo en la calibración para la detección precisa de este elemento. Los puntos de datos se ajustan a una línea de regresión lineal, indicando una relación lineal adecuada entre la concentración y la absorbancia. La ecuación de la recta de regresión fue expresada mediante la ecuación  $Y = 0,0405X - 0,0045$ .

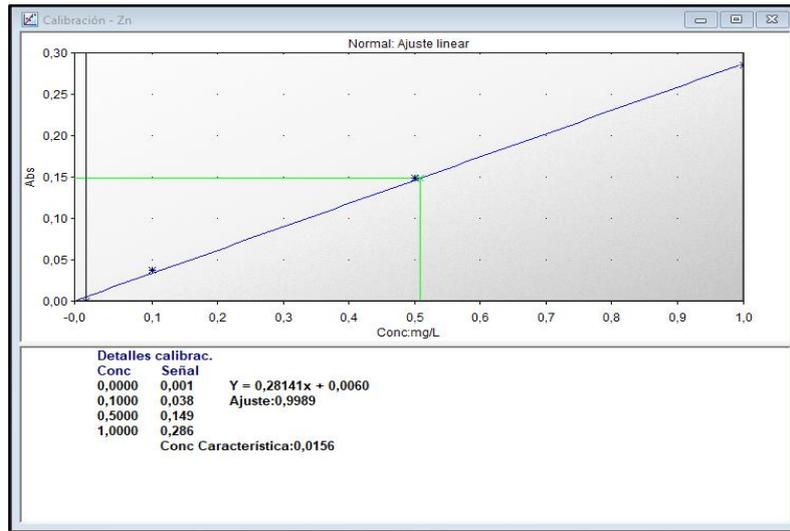


**Ilustración 4-8: Gráfica de la curva de calibración del Plomo**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- Zinc (Zn)

La ilustración 4-9 muestra la curva de calibración del zinc. La línea de regresión lineal positiva señaló que a medida que aumentaba la concentración de zinc, mayor sería la absorbancia. La ecuación de regresión fue expresada como  $Y = 0,36416x + 0,0084$  y el coeficiente de determinación fue 0,9980, demostrando un ajuste muy preciso. Se proporcionaron valores de señal y absorbancia correspondientes a varias concentraciones de zinc como datos de calibración, siendo la concentración característica de 0,0121 una concentración específica de interés.



**Ilustración 4-9: Gráfica de la curva de calibración del Zinc**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

4.1.4.2. Resultados de los parámetros en estudio de las muestras de agua.

El agua residual inicialmente analizada fue sometida a los tratamientos en los biofiltros compuestos por fibra de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata*. Una vez finalizado el tratamiento se tomaron las muestras respectivas de cada repetición correspondiente a cada biofiltro. Los resultados del análisis físico-químico están detallados en la tabla 4-5, mostrando que el biofiltro que contiene *Luffa cylindrica* logró una eliminación del 85,35% de Hierro, 84,77% de Manganeso y del 79,66% de turbidez. Esto confirma su eficacia como tratamiento para reducir significativamente estos tres parámetros en comparación con los demás parámetros evaluados.

**Tabla 4-5: Resultados del Análisis físico-químico del agua tratada en el Biofiltro de Estropajo común (*Luffa cylindrica*)**

<b>Análisis físico-químico del agua tratada en el Biofiltro de <i>Luffa cylindrica</i></b>					
<b>Resultados</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Primera repetición</b>	<b>Segunda repetición</b>	<b>Valores de referencia</b>	<b>Interpretación</b>
<b>DQO</b>	mg/l	158,44	155,97	200	Cumple
<b>pH</b>	-	7,62	7,13	6-9	Cumple
<b>Turbidez</b>	UNT	93,2326	164, 9370	-	Cumple
<b>Cd</b>	mg/l	0,0059	0,0059	0,02	Cumple
<b>Cu</b>	mg/l	0,0350	0,033	1	Cumple
<b>Mn</b>	mg/l	0,0046	0,0155	2	Cumple
<b>Ni</b>	mg/l	0,0120	0,0136	2	Cumple
<b>Fe</b>	mg/l	0,2632	0,3801	10	Cumple
<b>Zn</b>	mg/l	0,0292	0,0340	5	Cumple
<b>Pb</b>	mg/l	0,0223	0,0177	0,2	Cumple

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Los resultados del análisis físico-químico del agua tratada en el biofiltro compuesto por *Poulsenia armata* se detallan en la tabla 4-6. Se evidencia una alta eficacia en la remoción de hierro, alcanzando un porcentaje de eliminación del 97,40%, así como un 95,31% de zinc, 87,98% de turbidez y 83,97% de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Estos hallazgos sustentan que este biofiltro sobresale como el más eficiente para el tratamiento de aguas residuales, dado que logra la eliminación más significativa de un mayor número de parámetros considerados en el estudio.

**Tabla 4-6: Resultados del Análisis físico-químico del agua tratada en el Biofiltro de Yanchama (*Poulsenia armata*)**

<b>Análisis físico-químico del agua tratada en el Biofiltro de <i>Poulsenia Armata</i></b>					
<b>Resultados</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Primera repetición</b>	<b>Segunda repetición</b>	<b>Valores de referencia</b>	<b>Interpretación</b>
<b>DQO</b>	mg/l	73,13	91,03	200	Cumple
<b>pH</b>	-	7,39	7,01	6-9	Cumple
<b>Turbidez</b>	UNT	73,1457	79,3631	-	Cumple
<b>Cd</b>	mg/l	0,0057	0,0056	0,02	Cumple
<b>Cu</b>	mg/l	0,0264	0,0259	1	Cumple
<b>Mn</b>	mg/l	0,0043	0,0354	2	Cumple
<b>Ni</b>	mg/l	0,0137	0,0131	2	Cumple
<b>Fe</b>	mg/l	0,5290	0,6146	10	Cumple
<b>Zn</b>	mg/l	0,001	0,0035	5	Cumple
<b>Pb</b>	mg/l	0,0214	0,0208	0,2	Cumple

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

A partir del análisis previo al tratamiento se elaboró la tabla 4-7 la cual muestra los porcentajes de remoción de cada parámetro. Estos valores se calcularon teniendo en cuenta los resultados obtenidos en cada tratamiento, permitiendo llevar a cabo el análisis estadístico del diseño experimental.

**Tabla 4-7: Porcentaje de remoción de los parámetros en estudio**

% DE REMOCIÓN										
Tratamientos	Rep.	DQO	Turbidez	Cd	Cu	Mn	Ni	Fe	Zn	Pb
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	1R	69,055	85,308	0,000	5,405	93,030	14,286	88,015	39,167	0,000
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	2R	69,537	74,008	0,000	10,811	76,515	2,857	82,691	29,167	19,545
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	1R	85,717	88,473	3,390	28,649	93,485	2,143	97,591	97,917	2,727
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	2R	82,221	87,494	5,085	30,000	46,364	6,429	97,201	92,708	5,455

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### 4.1.4.3. Análisis de varianza de los Biofiltros con el diseño completamente al azar

##### - DQO

En la Tabla 4-7, se muestra el análisis de varianza sobre la remoción de DQO de acuerdo con el modelo y los tratamientos, donde se evidencia que ambos factores presentaron diferencias significativas, ya que el "p-valor" fue de 0,0142, es decir, menor 0,05, cuyo valor es el establecido para interpretar datos significativos. Por lo tanto, ambos tratamientos influyen en la remoción del parámetro químico del agua.

**Tabla 4-8: Análisis de varianza sobre la DQO**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	215,30	1	215,30	69,15	0,0142	
Tratamientos	215,30	1	215,30	69,15	0,0142	
Error	6,23	2	3,11			
Total	221,52	3				

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Al conocer que existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos sobre la remoción de DQO, fue necesario realizar una prueba de Tukey para conocer que tanto se diferencian. En este sentido, en la Tabla 4-8, se detalla que el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*)

tuvo mayor porcentaje de remoción, con un 83,97 %. Valor significativo frente a la media de 69,30% de remoción de DQO del Biofiltro A (*Luffa cylindrica*).

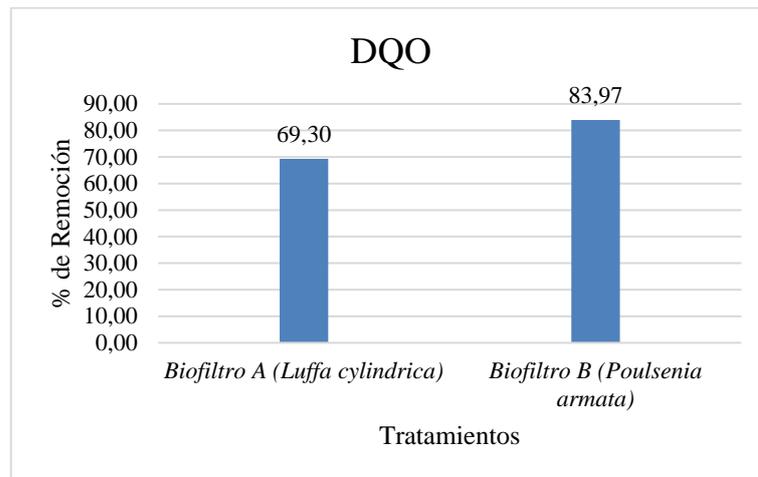
**Tabla 4-9: Prueba de Tukey para análisis de DQO**

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	69,30	2	21,25 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	83,97	2	21,25 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Si bien las tablas nos indican la diferencia que existen entre los tratamientos, es necesario representarlos gráficamente para una mejor comprensión de los datos, lo cual se visualiza en la Ilustración 4-10. Esto demuestra que el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) supera con 14,67% de remoción de DQO al tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*). No obstante, a pesar de que se indique superioridad de un tratamiento a otro, los valores son favorables en ambos casos, ya que se superan el 50%.



**Ilustración 4-10: Remoción de DQO con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### - TURBIDEZ

La Tabla 4-9, en donde se detalla el análisis de varianza sobre la Turbidez, demuestra que los factores correspondientes a el modelo y los tratamientos no presentaron diferencias significativas debido a que el "p-valor" fue de 0,2798, por lo tanto, dichos valores son superiores al establecido para interpretar como valor significativo, el cual debe ser menor a 0,05.

**Tabla 4-10: Análisis de varianza sobre la Turbidez**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	69,31	1	69,31	2,16	0,2798
Tratamientos	69,31	1	69,31	2,16	0,2798
Error	64,32	2	32,16		
Total	133,64	3			

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

De esta forma, si se realiza una prueba de Tukey (Tabla 4-10), también se evidencia mediante las medias que no son valores significativos los tratamientos llevados a cabo con el Biofiltro A y Biofiltro B sobre la remoción de Turbidez. Adicional, la letra de agrupación "A" en común, indica estadísticamente lo mencionado anteriormente.

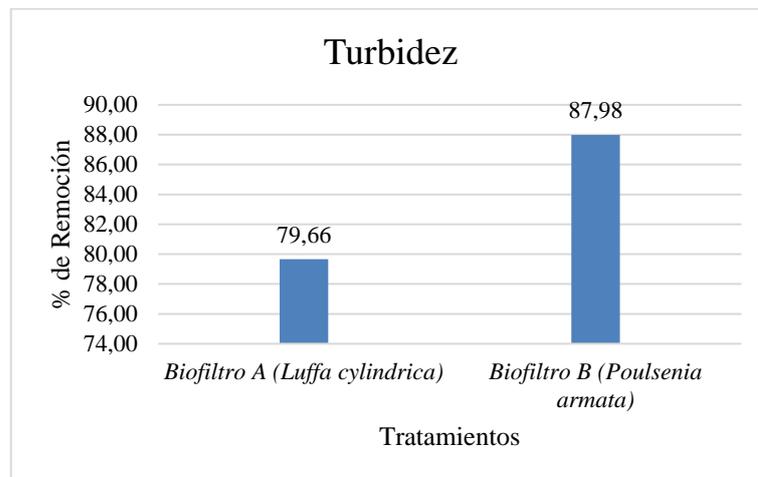
**Tabla 4-11: Prueba de Tukey para análisis de Turbidez**

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	79,66	2	4,01 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	87,98	2	4,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Es importante destacar que, a pesar de que ambos tratamientos no mostraron diferencias significativas, el porcentaje de remoción es alto. Es así como el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) deja atrás solo con el 8,32 % de remoción de Turbidez al tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*), lo cual se visualiza en la Ilustración 4-11.



**Ilustración 4-11: Ilustración 4-2: Remoción de Turbidez con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- **CADMIO**

En relación con la Tabla 4-11, la cual trata sobre el análisis de varianza en cuanto a la remoción de Cadmio, se indica que el modelo y los tratamientos tuvieron resultados favorables ya que presentaron diferencias significativas con un "p-valor" de 0,0377. Lo cual demuestra que ambos factores influyen en la remoción del metal pesado.

**Tabla 4-12: Análisis de varianza sobre la Cadmio**

<b>Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)</b>					
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	17,96	1	17,96	25,00	0,0377
Tratamientos	17,96	1	17,96	25,00	0,0377
Error	1,44	2	0,72		
Total	19,39	3			

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

De esta forma, se realizó la prueba de Tukey (Tabla 4-12), donde se constató que el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) cuenta con un porcentaje bajo de 4,24% de remoción de Cadmio. Sin embargo, es significativo frente al 0% de remoción con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*).

**Tabla 4-13: Prueba de Tukey para análisis de**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,64336

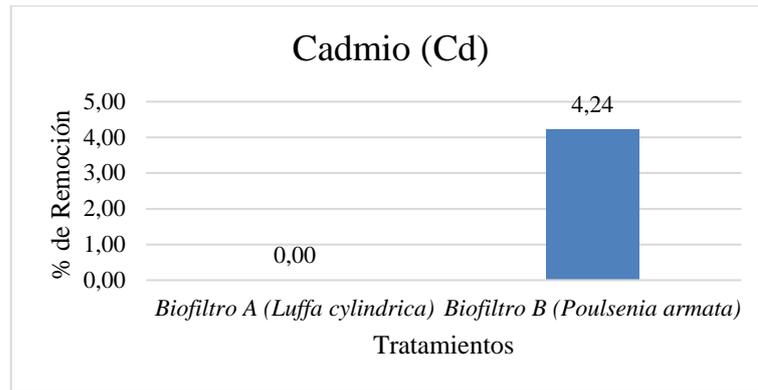
Error: 0,7183 gl:2

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	0,00	2	0,60 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	4,24	2	0,60 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Realizado por:** Conde R., Espinoza M, 2024.

Los valores mencionados en la Tabla 4-12, indican que el tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) no fue el óptimo, ni resultó favorable. No obstante, el porcentaje mediante el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) impresiona si se visualiza en la Ilustración 4-3. Sin embargo, sigue siendo un valor muy bajo de remoción de Cadmio. Esto pone en evidencia que los tratamientos son deficientes para remover Cadmio en las aguas residuales.



**Ilustración 4-12: Remoción de Cadmio con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

## - COBRE

El análisis de varianza sobre la remoción de Cobre se detalla en la Tabla 4-13. En aquella se indica que el modelo y los tratamientos demostraron diferencias significativas ya que el "p-valor" es de 0,0168. Dicho valor es inferior al establecido como estadísticamente significativo, el cual es 0,05. Por tal motivo, se puede interpretar que ambos factores influyen en la remoción de Cobre.

**Tabla 4-14: Análisis de varianza sobre el Cobre**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	450,14	1	450,14	57,99	0,0168
Tratamientos	450,14	1	450,14	57,99	0,0168
Error	15,53	2	7,76		
Total	465,66	3			

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

En este sentido, para conocer las diferencias significativas de los tratamientos, se realizó una prueba de Tukey (Tabla 4-14). La cual detalla que el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) fue el más adecuado con un porcentaje medio de remoción de 29,32% para cobre. Un valor superior al alcanzado por el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) de solamente el 8,11%.

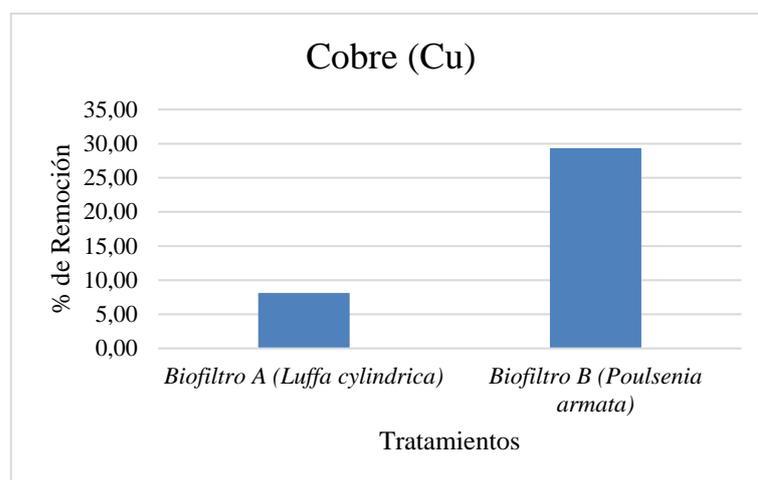
**Tabla 4-15: Prueba de Tukey para análisis de Cobre**

Test: Tukey Alfa=0,05 Error: 7,7625 gl:2			
Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	8,11	2	1,97 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	29,32	2	1,97 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

El Biofiltro B (*Poulsenia armata*) se antepone con un 21,21% más de remoción de Cobre que el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*), tal como se aprecia en la Ilustración 4-13. Si bien el primer tratamiento es el que presenta mejores resultados, aún es un porcentaje bajo de remoción, aunque sea significativo frente al segundo. Motivo por el cual, se puede mencionar que la especie *Poulsenia armata* posee mejores características en sus fibras vegetales, los cuales le permite retener poco el Cobre.



**Ilustración 4-13: Remoción de Cobre con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### - MANGANESO

El modelo y los tratamientos no presentaron diferencias significativas de acuerdo con la Tabla 4-15 sobre el análisis de varianza en cuanto a la remoción de Manganeso. El motivo de dicho resultado fue determinado debido a que el "p-valor" fue de 0,6123, un valor superior al 0,05 denominado valor significativo.

**Tabla 4-16: Análisis de varianza sobre el Manganeso**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	220,46	1	220,46	0,35	0,6123
Tratamientos	220,46	1	220,46	0,35	0,6123
Error	1246,57	2	623,28		
Total	1467,03	3			

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

No obstante, para demostrar lo descrito en la Tabla 4-16, se realizó la prueba de Tukey para evidenciar la media de remoción de cada tratamiento, los cuales fueron altos y se detallan en la Tabla 4-16. La media de remoción con mejor resultado fue el tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa*

*cylindrica*), con un valor de 84,77%. Mientras que el tratamiento con Biofiltro B (*Poulsenia armata*) tuvo un valor de remoción de Manganeso de 69.92%.

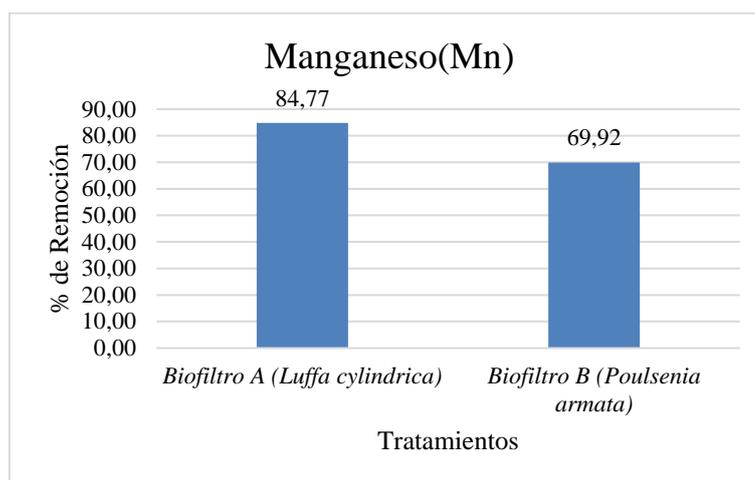
**Tabla 4-17: Prueba de Tukey para análisis de Manganeso**

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	84,77	2	17,65 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	69,92	2	17,65 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Ambos valores son buenos porcentajes de remoción, a pesar de que el tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) tenga una diferencia de 14,85% frente al tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*), tal como se interpreta en la Ilustración 4-14. De esta forma, se demuestra que ambas especies utilizadas son óptimas y adecuadas para la remoción de Manganeso.



**Ilustración 4-14: Remoción de Manganeso con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### - NIQUEL

El análisis de varianza realizado en la Tabla 4-17 sobre la remoción de Níquel, demostró que el modelo y los tratamientos no presentaron diferencias significativas, ya que el "p-valor" de 0,5553 fue superior al considerado como estadísticamente significativo de 0,05. Cuyo valor es muy alto, por lo cual las medias de ambos factores no influyen en la remoción de Níquel.

**Tabla 4-18: Análisis de varianza sobre el Níquel**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18,37	1	18,37	0,49	0,5553
Tratamientos	18,37	1	18,37	0,49	0,5553
Error	74,50	2	37,25		
Total	92,86	3			

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Por tal motivo, se realizó la prueba de Tukey para demostrar que los valores de las medias son iguales estadísticamente, lo cual se evidencia en la Tabla 4-18, donde se agrupan en la letra "A". Adicional, ambos tratamientos no presentan porcentajes altos de remoción ya que el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) alcanzó solamente el 8,57% de remoción de Níquel.

**Tabla 4-19: Prueba de Tukey para análisis de Níquel**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=26,23698

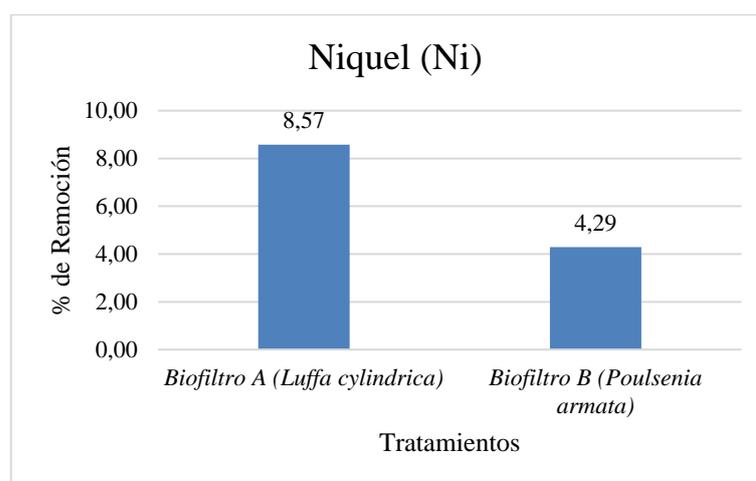
Error: 37,2480 gl:2

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	8,57	2	4,32 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	4,29	2	4,32 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

En la Ilustración 4-15, se visualiza que el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) supera el tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) con apenas el 4,28%. Por lo tanto, se evidencia que ambos tratamientos son deficientes para remover Níquel en las aguas residuales, ya que no alcanzan al menos el 10%.



**Ilustración 4-15: Remoción de Níquel con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

- **HIERRO**

En la Tabla 4-19, se detalla el análisis de varianza sobre la remoción de Hierro. En la cual se demuestra que el modelo y los dos tratamientos empleados presentaron diferencias significativas ya que el "p-valor" fue de 0,0458. Dicho valor es inferior al establecido como estadísticamente significativo de 0,05. Además, se constata que ambos factores influyen en la remoción del metal pesado.

**Tabla 4-20: Análisis de varianza sobre el Hierro**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	145,03	1	145,03	20,36	0,0458
Tratamientos	145,03	1	145,03	20,36	0,0458
Error	14,25	2	7,12		
Total	159,28	3			

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Es así como, para determinar la diferencia de medias estadísticamente, se realizó una prueba de Tukey (Tabla 4-20). En dicha prueba se evidenció que el mejor tratamiento fue el realizado con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*), el cual demostró una remoción de hasta el 97,40%. No obstante, el tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) también presentó un porcentaje alto de remoción de 85,35%.

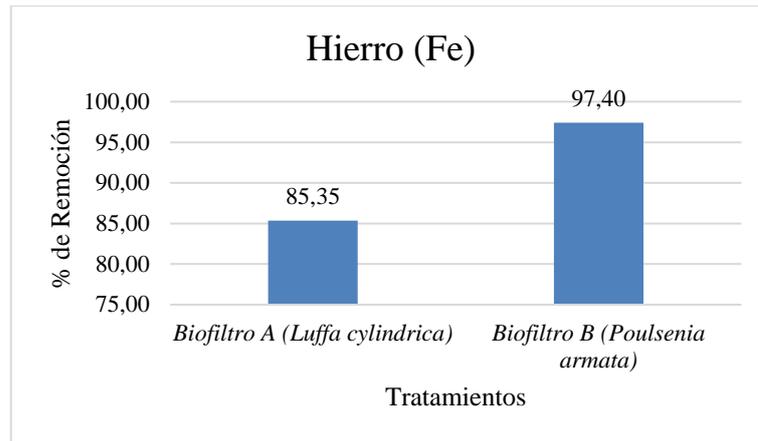
**Tabla 4-21: Prueba de Tukey para análisis de**

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	85,35	2	1,89 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	97,40	2	1,89 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

En este sentido, en la Ilustración 4-16, se observa que el Tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) supera al tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) con 12,05%. Un valor significativo pero aceptable considerando que ambos tratamientos presentaron porcentajes altos de remoción de Hierro. Esto demuestra que ambas especies utilizadas son excelentes para reducir dicho metal pesado, en especial la *Poulsenia armata*.



**Ilustración 4-16: Remoción de Hierro con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

## - ZINC

El análisis de varianza realizado sobre la remoción de Zinc se detalla en la Tabla 4-21, donde se indica que tanto el modelo como los tratamientos presentaron diferencias significativas. Esto debido a que su "p-valor" es inferior al establecido para identificar medias con significancia, la cual es de 0,05. Así mismo, se constata que los factores si influyen en la remoción de Zinc.

**Tabla 4-22: Análisis de varianza sobre el Zinc**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3738,77	1	3738,77	117,63	0,0084
Tratamientos	3738,77	1	3738,77	117,63	0,0084
Error	63,57	2	31,78		
Total	3802,34	3			

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Por otra parte, debido al "p-valor" de 0,0084 sobre los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey (Tabla 4-22). En la cual se comprobó que el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) se antepone con 95,31% de remoción de Zinc ante el 34,17% del tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*). Valores muy distantes y diferentes, razón por la cual, se representan con diferentes letras en la agrupación correspondiente.

**Tabla 4-23: Prueba de Tukey para análisis de Zinc**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=24,23611

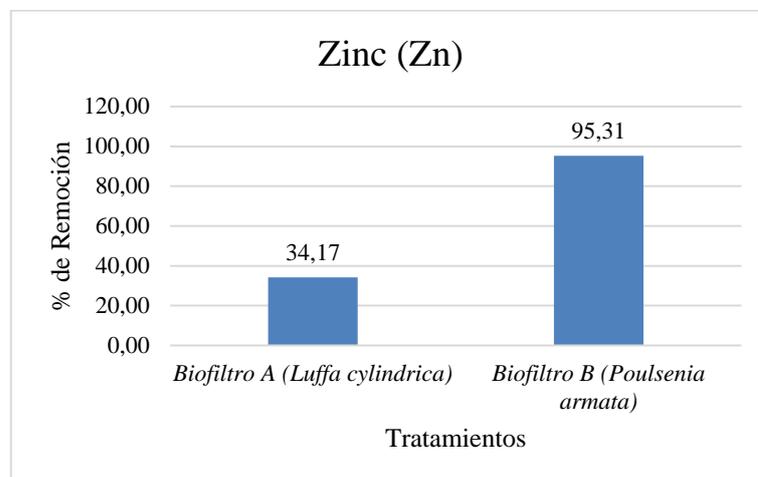
Error: 31,7834 gl:2

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	34,17	2	3,99 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	95,31	2	3,99 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

De esta forma, en la Ilustración 4-17, se visualiza que el tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) supera con 61,14% de remoción de Zinc ante el tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*). Estos datos demuestran que el mejor tratamiento es con la especie *Poulsenia armata* por la gran capacidad para retener con sus fibras el Zinc.



**Ilustración 4-17: Remoción de Zinc con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

#### - PLOMO

En la Tabla 4-23, se realizó el análisis de varianza sobre el Plomo. En dicha tabla se indica que ninguno de los factores, es decir, ni el modelo ni los tratamientos, presentaron diferencias significativas ya que el "p-valor" fue superior a 0,05.

**Tabla 4-24: Análisis de varianza sobre el Plomo**

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32,28	1	32,28	0,33	0,6229
Tratamientos	32,28	1	32,28	0,33	0,6229
Error	194,72	2	97,36		
Total	227,00	3			

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Es así como, a pesar de que los factores demostraron no ser significativos, fue necesario realizar una prueba de Tukey para identificar la diferencia de medias entre tratamientos, lo cual se muestra en la Tabla 4-24. El Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) alcanzó un porcentaje de remoción de 9,77. Mientras que el Biofiltro B (*Poulsenia armata*) alcanzó apenas el 4,09%.

**Tabla 4-25: Prueba de Tukey para análisis de Plomo**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=42,41876

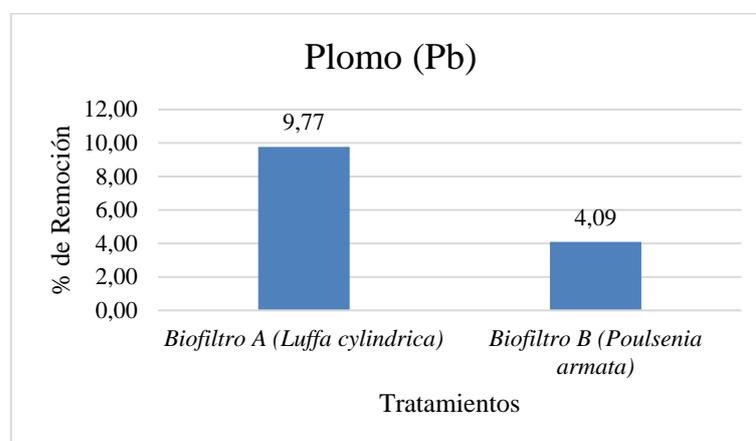
Error: 97,3623 gl:2

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Biofiltro A ( <i>Luffa cylindrica</i> )	9,77	2	6,98 A
Biofiltro B ( <i>Poulsenia armata</i> )	4,09	2	6,98 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

Adicional, en la Ilustración 4-18, se puede interpretar que el tratamiento con el Biofiltro A (*Luffa cylindrica*) supera solo con el 5,68% de remoción de Plomo al tratamiento con el Biofiltro B (*Poulsenia armata*). Sin embargo, son valores muy bajos ya que no alcanzan el 10% de remoción. Esto evidencia que ambas especies son deficientes para retener con éxito el metal pesado.



**Ilustración 4-18: Remoción de Plomo con los tratamientos**

Realizado por: Conde R., Espinoza M, 2024.

## 4.2. Discusión

- Estudios anteriores han coincidido en la caracterización física de las fibras. El análisis del Estropajo común (*Luffa cylindrica*) reveló la presencia de capas fibrosas flexibles y fuertes, entrelazadas por filamentos esponjosos longitudinales alrededor de un tallo central, formando una estructura ramificada de fibras gruesas. Este material, siendo lignocelulósico, ha sido identificado como un potencial bioadsorbente, gracias a la acción de su sistema vascular fibroso, que facilita la eliminación de contaminantes del agua. Por otro lado, la Yanchama (*Poulsenia armata*) presentó fibras más cortas y discontinuas con enlaces débiles, pero su morfología transversal muestra grandes porosidades, lo que le confiere una destacada capacidad para retener agua en su estructura.

En cuanto a la caracterización química, la fibra del estropajo común mostró una mayor presencia de lignina con un 39,423 %, otorgándole una notable rigidez. La lignina, al formar una matriz tridimensional en las paredes celulares, fortalece las fibras vegetales al unir y reforzar los componentes celulares. Esta estructura aumenta su resistencia mecánica. Además, al ser impermeable al agua, protege las fibras de la absorción excesiva, evitando el colapso celular y manteniendo la integridad estructural de la fibra. Al presentar una alta resistencia a la degradación por enzimas y microorganismos protege a las fibras del deterioro causado por factores ambientales como la humedad y la radiación UV, convirtiéndola en una opción viable con relación a costos de mantenimiento (Megías, Molist y Pombal, 2018, pág.1). Sin embargo, la fibra de Yanchama presentó una significativa cantidad de celulosa de 69,837 % y holocelulosa de 88,212 %, indicando una elevada resistencia y durabilidad. Muñoz señala que la celulosa, con su estructura cristalina altamente ordenada, proporciona una notable estabilidad estructural a la fibra, haciéndolas altamente resistentes a la tracción y al estiramiento, lo que garantiza su durabilidad. Además, la holocelulosa, que abarca no solo la celulosa sino también otras hemicelulosas, refuerza aún más estas propiedades al aumentar la cohesión entre las fibras y protegerlas contra la deformación y la degradación química.

Estas características permiten que las fibras sean empleadas en el tratamiento de aguas residuales, siendo así una opción más ecológica para reemplazar a los materiales convencionales en diversas aplicaciones industriales.

- El uso de biofiltros compuestos por fibras vegetales se posiciona como una alternativa altamente eficaz en el tratamiento de aguas residuales. Los hallazgos de esta investigación coinciden con estudios previos realizados por Reyes, Jaimes y Guillen los cuales han explorado el empleo de fibras vegetales como medios filtrantes en biofiltros. Se ha observado que estas fibras contribuyen significativamente a la eliminación de contaminantes, evidenciando niveles de remoción superiores al 70 % en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y logrando una eficacia general del 80% en el proceso de filtración. Estos resultados subrayan el impacto positivo de los biofiltros con fibras vegetales en la mejora de la calidad del agua, lo que apoya a los valores obtenidos en esta investigación. En consecuencia, se confirma que estos biofiltros representan una alternativa prometedora en el tratamiento de aguas residuales, debido a su capacidad para alcanzar altas tasas de eliminación de contaminantes. Esto sugiere que pueden abordar eficazmente problemas específicos relacionados con la calidad de las aguas residuales.
- El análisis inicial del agua residual previo al tratamiento reveló que los parámetros más prominentes fueron la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con una concentración de 512

mg/l, una turbidez de 634,58 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), y una concentración de hierro de 2,1959 mg/l. Respecto a los metales pesados bajo estudio se encontró presencia de cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), zinc (Zn) y plomo (Pb). Pérez et al., señalan que entre los principales metales pesados presentes en las aguas residuales se encuentran el cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn). Es importante destacar que, aunque sus concentraciones son mínimas, su presencia en el agua residual puede ser detectada, lo que respalda a los valores obtenidos en este estudio.

- En investigaciones previas, realizadas por Pereira, Muñoz y Peluffo, se evaluó el rendimiento del estropajo común (*Luffa cylindrica*) como agente de remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales. Se encontró que la fibra de *Luffa cylindrica* demostró ser eficaz en esta tarea, debido a su capacidad como bioadsorbente para retener metales pesados en sus nanoestructuras. A diferencia de esta investigación, los resultados obtenidos en el tratamiento no alcanzaron las expectativas esperadas. Se observó una remoción de carga orgánica como la DQO, del 69.30%. Sin embargo, la remoción de metales pesados como cadmio y plomo fue del 0%, indicando una falta de depuración para estos contaminantes. En cuanto al cobre, se logró una remoción del 8.11%, mientras que la turbidez tuvo una remoción del 79.66% del agua no registró cambios significativos.
- La baja concentración de celulosa y holocelulosa en la *Luffa cylindrica* podría explicar la falta de eficacia en la remoción de metales pesados y la mejora de la turbidez. Estas propiedades son importantes porque ayudan a formar microfibrillas, que tienen una alta capacidad para retener metales pesados y mejorar la turbidez del agua. Por lo tanto, la ausencia de estas propiedades en la *Luffa cylindrica* limita su capacidad para adsorber y retener eficazmente los metales pesados, así como para mejorar la claridad del agua tratada. Por otro lado, la capacidad de la lignina para adsorber carga orgánica como la DQO se debe a su estructura química que contiene grupos funcionales como hidroxilos y metoxilos. Estos grupos pueden interactuar con compuestos orgánicos presentes en el agua residual a través de enlaces débiles, como enlaces de hidrógeno y fuerzas de dispersión, lo que permite que la lignina retenga y atrape contaminantes orgánicos disueltos en el agua.
- Hasta el momento, no se han realizado investigaciones específicas sobre la capacidad de la fibra de *Poulsenia armata* para depurar aguas residuales. Sin embargo, dadas sus características físicas que le confieren la capacidad de retener agua en su estructura, y químicas como mayor presencia de celulosa y holocelulosa permitieron obtener resultados favorables en la remoción de contaminantes.

- La estructura química de esta fibra favorece la formación de microfibrillas compactas mediante la unión de cadenas de celulosa por puentes de hidrógeno, lo que proporcionaría una superficie fibrosa y resistente con una alta capacidad de absorción y retención de contaminantes. Los metales pesados, como el cadmio, el cobre y el zinc, junto con macronutrientes como el hierro, podrían ser adheridos por la fibra mediante procesos de adsorción y la formación de complejos químicos en el agua residual.  
Se cree que estos metales, en forma de iones disueltos, pueden coordinarse con los grupos funcionales de la fibra, formando complejos químicos que contribuyen a su eliminación del agua residual al ser atrapados y retenidos en su estructura. De manera similar, la DQO y la turbidez, asociadas con la materia orgánica y las partículas suspendidas respectivamente, pueden ser retenidas en las microfibrillas de la fibra de *Poulsenia armata* debido a su estructura porosa y capacidad para atrapar partículas en sus intersticios.
- Se presume que por estas razones el biofiltro compuesto de Yanchama removi6 altos porcentajes de DQO (83,97%), turbidez (8,32%), cadmio (4,44%), cobre (29,32%), hierro (97,40%) y zinc (34,17%). Estos hallazgos sugieren que la fibra de *Poulsenia armata* podr3a ser un agente eficaz para la eliminaci3n de ciertos contaminantes. Esto garantiza una opci3n prometedora para su aplicaci3n en plantas de tratamiento de aguas residuales, lo cual conducir3a a la reducci3n de costos de implementaci3n y asegurando que las aguas tratadas sean descargadas de manera limpia, sin impactos negativos en los cuerpos de agua naturales circundantes.

#### **4.3. Comprobaci3n de la hip3tesis**

En este trabajo de experimentaci3n aceptamos la hip3tesis alternativa y descartamos la hip3tesis nula, ya que hemos demostrado de manera concluyente que los biofiltros son efectivos en el tratamiento de aguas residuales. En particular, el biofiltro compuesto de *Poulsenia armata* fue capaz de reducir significativamente el contenido de contaminantes, lo que condujo a una notable mejora de la calidad del agua.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

En este estudio, se comprobó que las fibras de Estropajo común (*Luffa cylindrica*) y Yanchama (*Poulsenia armata*) mostraban diferencias considerables en cuanto a estructura y composición en el análisis físico y químico. Las fibras de *Luffa cylindrica* mostraron una ramificación más fuerte debido a su estructura bicapa, lo que indica una mayor rigidez. En cambio, las fibras de *Poulsenia armata* mostraban una textura más fina y una disposición en capas superpuestas, lo que contribuye a una mayor resistencia y durabilidad. Además, el análisis químico reveló que la fibra de *Poulsenia armata* tiene un alto contenido en celulosa y holocelulosa, lo que facilita la retención de agua, mientras que la *Luffa cylindrica* tiene un mayor contenido en lignina, que le confiere rigidez estructural y resistencia a la tensión y a la presión hidráulica. Estos resultados sugieren que las fibras tienen propiedades que las hacen resistentes a tiempos prolongados, lo que podría ser beneficioso en el tratamiento de aguas residuales.

El diseño de los biofiltros utilizados en esta fase constituyó una parte esencial de la investigación. La combinación de distintos materiales filtrantes como grava, fibras vegetales, arena sílica, algodón y un corcho demostró ser un sistema robusto capaz de combinar con éxito los dos tratamientos. La cuidadosa selección de estos materiales en función de determinados criterios, como la capacidad de retención, la capacidad de adsorción y la resistencia a la degradación, resultó crucial para la eficacia del sistema. Los resultados obtenidos en este estudio, apoyados por la robustez del diseño del biofiltro, refuerzan la fiabilidad y relevancia de los resultados posicionando este enfoque como una valiosa contribución al campo del tratamiento de aguas residuales.

El análisis de la muestra inicial permitió determinar los principales parámetros que dan una imagen completa de la calidad del agua residual que se genera en el Barrio Flor de Pantano. Se encontraron valores significativos de demanda química de oxígeno (DQO) de 512 mg/l, turbidez de 634,58 UNT y un pH de 6,92. Además, se determinaron las concentraciones específicas de contaminantes, con valores de cadmio (Cd) de 0,0059, cobre (Cu) de 0,0370, manganeso (Mn) de 0,0656, níquel (Ni) de 0,0145, hierro (Fe) de 2,1959, zinc (Zn) de 0,0480 y plomo (Pb). Estos resultados proporcionan una base fundamental para el desarrollo de estrategias específicas para la planificación del tratamiento de aguas residuales.

En cuanto a la determinación de la eficacia de las fibras en la remoción de contaminantes se pudo evidenciar diferencias significativas entre los tratamientos para la mayoría de los parámetros estudiados. El biofiltro de *Poulsenia armata* mostró una mayor eficacia de remoción de contaminantes en comparación con el biofiltro de *Luffa cylindrica*. En particular, el biofiltro de *Poulsenia armata* mostró mejores resultados en la eliminación de DQO (83,97%), turbidez (8,32%), cadmio (4,24%), cobre (29,32%), hierro (97,40%) y zinc (95,31%), mientras que ambos tratamientos fueron deficientes en la eliminación de níquel y plomo. Estos resultados sugieren que el biofiltro de Yanchama podría ser una opción más adecuada para el tratamiento de aguas residuales.

## **5.2. Recomendaciones**

Añadir una gran cantidad de fibras de *Luffa cylindrica* y *Poulsenia armata* a cada biofiltro. Las fibras deben estar bien compactadas para eliminar espacios con el fin de retener más agua y facilitar la eliminación de metales y materia orgánica.

Variar el tiempo de retención hidráulico para mejorar la eficacia y la efectividad del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para demostrar una mejor eficacia en todos los parámetros que se analizaron es recomendable realizar más repeticiones con diferentes tiempos de retención hidráulica.

Variar la cantidad de fibras vegetales en el sistema de biofiltración podría garantizar un tratamiento más efectivo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ACHOTE, Mishel.** Intervenciones textiles sobre la yanchama para la aplicación en la indumentaria. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2022. pág. 34. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38507/1/Tesis%20de%20Mishel%20Achte%20final.pdf>
2. **ADIE, D.B, IGBORO, S.B & DAOUDA, N.** “Determination of the Filter Potential of Luffa Sponge (*luffa aegyptiaca*) in Water Quality Analysis”. *American International Journal of Contemporary Research* [En línea], 2013 (Nigeria), Vol. 3, pág. 2. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: [https://www.ajcrnet.com/journals/Vol\\_3\\_No\\_3\\_March\\_2013/11.pdf](https://www.ajcrnet.com/journals/Vol_3_No_3_March_2013/11.pdf)
3. **AGUILAR, Joseph.** Tratamiento de aguas residuales con el uso de microalgas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Científica del Sur. Lima-Perú. 2020. pág. 10. [Consulta 2024-02-27]. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1417/TB-Aguilar%20J-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. **ANASTOPOULOS, Ioannis & PASHALIDIS, Ioannis.** “Environmental applications of *Luffa cylindrica*-based adsorbents”. *Journal of Molecular Liquids*. [En línea], 2020, Vol. 319, pág. 3. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732220343543>
5. **ANDRADE, Jessica & CARRASCO, Viviana.** Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y la determinación de las propiedades fisicoquímicas en la población de Pastocalle para su dimensionamiento. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. 2021. pág. 35. [Consulta: 2024-02-28]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20888/1/UPS%20-%20TTS502.pdf>
6. **ARANA, Samantha & MANCERO, Stibalys.** Evaluación de la remoción de coliformes fecales aplicando pastillas de cloro y ácido peracético en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Cantón Daule, la Aurora. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 2022. págs. 19–20.

[Consulta: 2023-12-09]. Disponible en: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/4871/1/T-ULVR-3919.pdf>

7. **ARIAS, Bryan & GONZABAY, Johnny.** Propuesta de diseño y estudio de un filtro de grava para potabilizar el agua subterránea para el consumo en una finca ubicada en la vía Progreso-Playas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil-Ecuador. 2022. pág. 19. [Consulta: 2024-02-29]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22783/1/UPS-GT003804.pdf>
8. **ARMENGOL, María.** Detección y cuantificación de patógenos en nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales. Reutilización de aguas y fangos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 2017. pág. 20. [Consulta: 2023-12-09]. Disponible en: [https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/90996/01\\_Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/90996/01_Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
9. **BARRETO, Sarah.** “COVID-19 y aguas residuales”. *Revista Cubana de Medicina Tropical* [En línea], 2020, (Cuba), vol. 72 (3), págs. 4–5. [Consulta: 9 diciembre 2023]. ISSN 0375-0760. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/mtr/v72n3/1561-3054-mtr-72-03-e563.pdf>
10. **BARROSO, Miguel.** Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una Biorrefinería. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid-España. 2010. págs. 79–81. [Consulta: 2024-03-05] [https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL\\_BARROSO\\_CASILLAS.pdf](https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf)
11. **CAMARGO, Laura.** Evaluación de la carga contaminante de la quebrada Garzón por la descarga directa de aguas residuales de la red de alcantarillado del Casco Urbano del Municipio de Garzón. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Católica de Colombia, Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2021. pág. 9. [Consulta: 2023-11-21]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/78e638d5-3466-4d66-84ba-a59ca559750c/content>
12. **CAMPOVERDE, Omayra.** 2019. Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Piura, Ingeniería. Piura- Perú. 2019. pág. 48. [Consulta: 2024-02-27]. Disponible en:

<https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/be5fdfe4-76cc-454d-a3b9-c89402a4f18f/content>

13. **CASTILLO, Fernanda & DÍAZ, Humberto.** Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y validarlo mediante un software de simulación y optimización para la Parroquia Crucita, Portoviejo-Manabí. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2022. pág. 27. [Consulta: 2024-02-28]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22938/1/UPS-CT009990.pdf>
  
14. **CEDEÑO, Juan & LASCANO, Miguel.** Determinación del tiempo de retención hidráulica en sistemas plásticos compactos utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ingeniería. Guayaquil-Ecuador. 2023. pág. 31. [Consulta: 2024-02-28]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/21847/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-489.pdf>
  
15. **CENSO ECUADOR. INEC.** [Blog]. Orellana, 2022. [Consulta: 19 noviembre 2023] <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
  
16. **CERDA, Matías.** Propuesta de un sistema natural y biodegradable que contemple el uso de Luffa como agente para la recuperación de suelos erosionados con causa de incendios forestales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica Federico Santa María, Concepción. Valparaíso-Chile. 2019. págs. 31–34. [Consulta 2024-03-01]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48682/3560901543541UTFSM.pdf?>
  
17. **CÓNDOR, Vanessa.** Evaluación de las propiedades físico-químicas de los residuos Oleaginosos y su comportamiento hidráulico como lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Civil y Ambiental. Quito-Ecuador. 2019. pág. 23. [Consulta 2024-03-02]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20429/1/CD%209910.pdf>
  
18. **CÓNDOR, Vanessa.** Evaluación de las propiedades físico-químicas de los residuos Oleaginosos y su comportamiento hidráulico como lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales domésticas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Civil y Ambiental. Quito-Ecuador. 2019. pág. 23. [Consulta 2024-02-28]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20429/1/CD%209910.pdf>

19. **CONDORI, Aracel & TORRES, Gustavo.** Biodegradación de la materia orgánica y producción de Bioelectricidad en Celdas de Combustible Microbiano (CCM) a partir del agua residual doméstica – Lima. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Peruana Unión, Ingeniería y Arquitectura. Lima-Perú. 2019. págs. 36-37. [Consulta 2023-12-04]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1655>
20. **CÓRDOBA, Juan & DUEÑAS, Julián.** 2016. Análisis comparativo de la eficiencia de la filtración con material vítreo frente al uso de antracita-arena para remoción de hierro y manganeso, en las aguas subterráneas del acueducto de Funza. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de la Salle, Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2016. pág. 33. [Consulta 2023-12-20]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1050&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1050&context=ing_ambiental_sanitaria)
21. **CORONEL, Nancy.** Diseño e implementación a escala de un Biofiltro Tohá en la EsPOCH para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la Comunidad Langos la Nube. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2015. pág. 8. [Consulta 2023-12-12]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4802/1/236T0150.pdf>
22. **CORONEL, Nancy.** Diseño e implementación a escala de un Biofiltro Tohá en la EsPOCH para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la Comunidad Langos la Nube. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2015. pág. 12. [Consulta 2023-12-12]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4802/1/236T0150.pdf>
23. **CROSS, Katharine and CASTAÑARES, Laura.** 2023. *Soluciones basadas en la naturaleza para el tratamiento de aguas residuales* [En línea]. IWA Publishing, 2023. [Consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: <https://iwaponline.com/ebooks/book/873/Soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-el>

24. **DELGADILLO, Oscar et al.** *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. [En línea]. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), 2010. [Consulta: 09 diciembre 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
25. **DÍAZ, Mayerly et al.** “Materiales compuestos de fibras naturales y polímero reciclados: mezclas, pretratamientos, agentes de acople y propiedades mecánicas”. *Avances Investigación en Ingeniería*. [En línea], 2022, (Colombia) vol. 19 (1), pág. 19. [Consulta: 2 marzo 2024]. ISSN: 2619-6581. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/7579/7560>
26. **DUQUE, Paola et al.** “Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales: estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios”. *Revista Ciencia UNEMI*. [En línea], 2018, (Ecuador) vol. 11 (28), pág. 6. [Consulta: 2 marzo 2024]. ISSN: 2528-7737. Disponible en: <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/738/667>
27. **FIGUEROA, Johana**. Biofiltros con *Furcraea andina* y *Eucalyptus globulus* para mejorar la calidad del efluente de la piscigranja de Acopalca - Ancash - 2018. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad César Vallejo, Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Lima-Perú. 2018. pág. 10. [Consulta 2023-11-19]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/18369/Figueroa\\_JJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/18369/Figueroa_JJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
28. **FRANCO, Juanita**. Etnobotánica de la Yanchama (*Ficus ssp moraceae*) Amazonas Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana, Ciencias. Bogotá-Colombia. 2002.pág. 18. [Consulta 2023-11-22]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/56000/ETNOBOTANICA.pdf>
29. **FRANCO, Juanita**. Etnobotánica de la Yanchama (*Ficus ssp moraceae*) Amazonas Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana, Ciencias. Bogotá-Colombia. 2002.pág. 18. [Consulta 2023-11-22]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/56000/ETNOBOTANICA.pdf>
30. **GALINDO, Gianmarco & POW SANG Wendy**. Eficacia de remoción de la DBO de agua residual doméstica mediante el uso de purificadores. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad César Vallejo, Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Lima-Perú. 2022. pág.11. [Consulta: 2023-12-06]. Disponible en:

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/103916/Galindo CG-Pow%20Sang\\_GWL%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/103916/Galindo	CG-Pow%20Sang_GWL%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

31. **GALLEGOS, Marco & PEÑAFIEL, Emilio.** Análisis de costos operativos y eficiencias de las PTARs rurales del cantón Cuenca. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Azuay, Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Civil. Cuenca-Ecuador. 2022. pág. 9. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12156/1/17683.pdf>
  
32. **GONZÁLEZ, Romina.** Fibras vegetales de la Región Litoral del Ecuador y su aplicación de tiendas de camping ecológicas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ambato-Ecuador. 2022. pág. 17. [Consulta: 2024-03-01]. Disponible en: <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/3456/1/77632.pdf>
  
33. **GUERRERO, Byron & REGALADO, Dayana.** Evaluación de la Viabilidad de Uso de los Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Francisco de Orellana, Provincia de Orellana, en la Elaboración de Adoquines de Construcción. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos. Quito-Ecuador. 2021. págs. 16–17. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21412/1/CD%2010902.pdf>
  
34. **GUERRERO, Byron & REGALADO, Dayana.** Evaluación de la Viabilidad de Uso de los Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Francisco de Orellana, Provincia de Orellana, en la Elaboración de Adoquines de Construcción. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos. Quito-Ecuador. 2021. pág. 17. [Consulta: 2024-03-02]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21412/1/CD%2010902.pdf>
  
35. **HACHI, Michael.** Dimensionamiento de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Hilandería intercomunitaria en la Parroquia Salinas Cantón Guaranda. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Escuela de Ciencias químicas. 2018. pág. 27. [Consulta: 2024-02-28]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9754/1/236T0352.pdf>
  
36. **HERRERA, Wilmer & REY, Anyi.** Implementación de Biofiltro como Agente Depurador de Aguas Residuales del Conjunto Aranjuez II, en el Municipio de Villavicencio Meta. [En

línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Cooperativa de Colombia, Ingenierías. 2018. pág. 24. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5cd7c91c-034a-4bea-9a7a-b67b806a508f/content>

37. **INATURALIST ECUADOR**. “Carne de pescado (*Poulsenia armata*)”. *InaturalistEc* [En línea], 2023. [Consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/209968-Poulsenia-armata>

38. **INTRIAGO, Merly, PALACIOS, Lina and VALLEJO, Patricio**. 2023. “Comportamiento de enfermedades vectoriales en una población manabita, Ecuador.” *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud. Salud y Vida* [En línea], 2023, (Venezuela) Vol. 7 (14), pág. 3. [Consulta: 2023-11-21]. ISSN 2610-8038. Disponible en: <https://ve.scielo.org/pdf/raics/v7n14/2610-8038-raics-7-14-54.pdf>

39. **ITURRI, Antonela et al.**, “¿Qué medimos cuando analizamos la conductividad eléctrica de aguas y suelos?”. *Notas Agrícolas Pampeanas 6: 17-22 (septiembre 2022)* [En línea], 2022, (Argentina), pág. 17. [Consulta: 2 diciembre 2023]. ISSN 2718-6369 [https://www.agro.unlpam.edu.ar/images/NAP\\_6%20Septiembre%202022.pdf](https://www.agro.unlpam.edu.ar/images/NAP_6%20Septiembre%202022.pdf)

40. **LINDINO, Cleber et al.** “Adsorption of cadmium in vegetable sponge (*Luffa cylindrica*)”. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science* [En línea], 2014, (Brasil), vol. 9, (2), pág. 6. [Consulta: 19 febrero 2024]. ISSN 1980-993X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92831117004.pdf>

41. **LLUMIQUINGA, Marlon**. Caracterización inicial de la biopelícula formada en el filtro percolador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Universidad de las Américas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de las Américas, Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito-Ecuador. 2020. pág. 27. [Consulta: 2023-12-10]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12069/1/UDLA-EC-TIAM-2020-16.pdf>

42. **LOANNIS, Anastopoulos and LOANNIS, Pashalidis**. “Environmental applications of *Luffa cylindrica*-based adsorbents”. *Journal of Molecular Liquids* [En línea], 2020, (Grecia) Vol. 319, pág. 1. [Consulta: 19 febrero 2024]. ISSN 0167-7322. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732220343543>

43. **LOEZA, Juan et al.** “Eficiencia en el uso del agua por estropajo (*Luffa cylindrica* L) en función del Nitrógeno en la cañada Oaxaqueña, México”. *Interciencia* [online], 2018, (México) Vol. 43, no. 3, pág. 1. [Consulta 22 noviembre 2023]. ISSN 193-197. Disponible en: [https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/03/193-5918-LOEZA-43\\_3.pdf](https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/03/193-5918-LOEZA-43_3.pdf)
44. **LORO, Ana.** 2018. Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con eisenia foetida y un biofiltro convencional. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Científica del Sur, Ciencias Ambientales. Lima-Perú. 2018. págs. 17-18. [Consulta: 2024-03-02]. Disponible en: [https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/567/TL-Loro\\_Ocampos.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/567/TL-Loro_Ocampos.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
45. **LOZADA, David and GIRALDO, Elkin.** 2019. Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Ingeniería Civil. Bogotá-Colombia. 2019. pág. 17. [Consulta: 2024-03-02]. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/981/Giraldo%20Jurado%2c%20Elkin%20Alirio-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
46. **MARTÍN, Blanca, CHAN, Martín, NAAL, Abimael, VANOYE, Maximiliano, et al.** “Aplicación de Fibras Orgánicas en un Sistema de Tratamiento de Aguas de Segundo uso Doméstico en el Municipio de Escárcega”. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [En línea], 2023, (México) Vol. 7, no. 4, pág. 1. [Consulta: 19 febrero 2024]. ISSN 2707-2215. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6954>
47. **MARTÍN, Blanca, CHAN, Martín, NAAL, Abimael, VANOYE, Maximiliano, et al.** “Aplicación de Fibras Orgánicas en un Sistema de Tratamiento de Aguas de Segundo uso Doméstico en el Municipio de Escárcega”. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [En línea], 2023, (México) Vol. 7, no. 4, pág. 1. [Consulta: 19 febrero 2024]. ISSN 2707-2215. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6954>
48. **MARTÍNEZ, María.** Desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) del sector aguas residuales de México [blog]. 2018. [Consulta: 27

febrero 2024]. Disponible en:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/461753/Aguas\\_residuales.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/461753/Aguas_residuales.pdf)

49. **MATERIOTECA DE GALICIA**. Fibras vegetales. Estudio estratégico sobre oportunidades basadas en materiales [blog]. 2021. [Consulta: 1 marzo 2024]. Disponible en:  
[https://www.materioteca.gal/wp-content/uploads/2021/11/EstudioEstrategico\\_Fibras-Vegetales.pdf](https://www.materioteca.gal/wp-content/uploads/2021/11/EstudioEstrategico_Fibras-Vegetales.pdf)

50. **MEDINA BORJA, José Alejandro & PATIÑO BAUTISTA, Valentina**. Desarrollo de una propuesta de un tratamiento biológico con hongos de la podredumbre blanca para la degradación de fenoles en efluentes de la empresa laboratorios Esko LTDA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Fundación Universidad de América. Bogotá-Colombia. 2021. pág. 13. [Consulta: 2024-02-27]. Disponible en:  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8660/1/6161879-2021-2-IQ.pdf>

51. **MEDINA ESCOBAR, María Fernanda**. Análisis de la implementación de biofiltros para el tratamiento de lixiviados generados en unidades de compostaje: Revisión de Literatura. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano-Honduras. 2020. pág. 7. [Consulta: 2024-03-02]. Disponible en:  
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a0008898-c529-4948-b342-4a7844168a3c/content>

52. **MEGÍAS, Manuel, MOLIST, Pilar and POMBAL, Manuel**. Atlas de Histología Vegetal y Animal. Organos vegetales, ampliaciones [blog]. 2018. [Consulta: 28 marzo 2024]. Disponible en: <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/o-v-amp.pdf>

53. **MENÉNDEZ, Carlos and DUEÑAS, Jaime**. “Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional”. *Ingeniería hidráulica y ambiental* [En línea], 2018, (Cuba), vol. 39 (3), pág. 2. [Consulta: 4 diciembre 2023]. ISSN 1815–591X. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>

54. **MERINO MORA, Verónica Jackeline**. Análisis de la Grava como Filtro en el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de la Procesadora de Lácteos “La Clementina” de la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador. 2017. pág. 3. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27235/1/Tesis%201218%20-%20Merino%20Mora%20Ver%c3%b3nica%20Jackeline.pdf>

55. **MONTERO, Fernando et al.**, “Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador”. *Ciencia Ambiente y Clima* [En línea], 2020, (Ecuador), vol. 3 (1), pág.2. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 2636-2333. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/342745729>
56. **MONTEZUMA NÚÑEZ, Eliana Marilin**. Diseño de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales Generadas en la Comunidad Unión Chimborazo de la Parroquia Nuevo Paraíso del Cantón Francisco de Orellana - Provincia de Orellana. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2015. pág. 16. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4805/1/236T0151.pdf>
57. **MORENO JABO, Staci Nicole**. Tratamiento de aguas residuales en el tanque Imhoff para disminuir la contaminación en la Quebrada Sicacate del Distrito de Montero. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial. Piura-Perú. 2018. pág. 31. [Consulta: 2023-12-08]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/250077490>
58. **MUÑOZ DOMINGUEZ, Elva**. Fabricación y caracterización de Green Composites con Bioresina y tejido de fibra natural de lino mediante moldeo por transferencia de resina. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Valencia-España. 2016. pág. 43. [Consulta: 2024-03-31]. Disponible en: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61299/Mu%C3%B1oz%20-%20Fabricaci%C3%B3n%20y%20Caracterizaci%C3%B3n%20de%20Green%20Composite%20con%20Bioresina%20y%20Tejido%20de%20Fibra%20Natural....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
59. **MUÑOZ TELLO, Keyla Madaly & VASQUEZ PEREZ, Milagros**. Tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad privada del Norte, Facultad de Ingeniería. Cajamarca-Perú. 2018. pág. 14. [Consulta: 2024-03-03]. Disponible en:

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23046/Mu%C3%B1oz%20Tello%20Kely%20Madaly%20-%20Vasquez%20Perez%20Milagros.pdf?sequence=7>

60. **NASAMUES MORILLO, Jessica Lizbeth.** Metodologías para evaluar sistemas de tratamiento de aguas residuales en el Ecuador. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. Riobamba-Ecuador. 2021. pág. 21. [Consulta: 2021-02-27]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7659/3/DESARROLLO%20DEL%20PROYECTO%20DE%20INVESTIGACION%20c3%93N%20Jessica%20Nasamues.pdf>
61. **OSORIO, Miguel.** “La calidad de las aguas residuales domésticas”. *Polo del Conocimiento* [En línea], 2021, (Ecuador), Vol. 6 (3), pág. 4. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 2550 - 682X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7926905.pdf>
62. **OSORIO, Miguel.** “La calidad de las aguas residuales domésticas”. *Polo del Conocimiento* [En línea], 2021, (Ecuador), Vol. 6 (3), pág. 6. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 2550 - 682X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7926905.pdf>
63. **PAVÓN JARAMILLO, Zorayda Soledad.** Determinación del porcentaje de reducción de Cr+6 en aguas provenientes de industria minera utilizando Bambú y Yuca como biofiltro. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas-Ecuador. 2021. pág. 34. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15439/1/236T0580.pdf>
64. **PAVÓN JARAMILLO, Zorayda Soledad.** Determinación del porcentaje de reducción de Cr+6 en aguas provenientes de industria minera utilizando Bambú y Yuca como biofiltro. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas-Ecuador. 2021. pág. 33. [Consulta: 2024-03-01]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15439/1/236T0580.pdf>
65. **PÉREZ ROBLES, Estefanía Priscila.** Diseño de un Sistema de Tratamiento Biológico para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de Sevilla Don Bosco - Cantón Morona Santiago. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas-Ecuador. 2019. pág. 22. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13133/1/236T0453.PDF>

66. **PINO, Marco et al.,** “Efectividad de los Lechos Filtrantes en la Reducción de Sulfatos y Carbonato de Calcio en el Agua de Consumo Humano”. *Perfiles*, 2021, (Ecuador), Vol. 1 (26), pág. 85. [Consulta: 06 enero 2024]. ISSN 2477-9105. Disponible en: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15677/1/per\\_n26\\_v1\\_02.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15677/1/per_n26_v1_02.pdf)
67. **QUIJIA PERALTA, Samayta KAREN.** Evaluación de un sistema de biofiltración a escala laboratorio empleando como medio filtrante astillas de ciprés para tratar aguas residuales municipales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería civil y ambiental. Quito-Ecuador. 2018. pág. 32. [Consulta: 2024-03-02]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19878/1/CD-9292.pdf>
68. **QUIJIA PERALTA, Samayta KAREN.** Evaluación de un sistema de biofiltración a escala laboratorio empleando como medio filtrante astillas de ciprés para tratar aguas residuales municipales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería civil y ambiental. Quito-Ecuador. 2018. pág. 31. [Consulta: 2024-03-02]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19878/1/CD-9292.pdf>
69. **RAMÍREZ, Diego.** “Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales”. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 2021, (Colombia), Vol. 9 (1), pág. 2. [Consulta: 26 noviembre 2023]. ISSN 2344-8652. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7878759>
70. **RAMÍREZ TORRES, Lina & NEISA PULIDO, Zuleine.** Producción y Comercialización de la Fibra de Luffa Cylindrica Como Materia Prima para Fibrocemento y Elementos de la Construcción Liviana en Seco. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá-Colombia. 2019. págs. 60–61. [Consulta: 2023-12-18]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14561/NeisaPulidoZuleine2019.pdf;jsessionid=9D98693F301480245581E2EAA5A107ED?sequence=1>
71. **RAMÍREZ, Ricardo.** *Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Francisco de Orellana*. [blog]. Orellana. 2023. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.orellana.gob.ec/docs/PDYOT%20/PDYOT%20DOC.pdf>

72. **REUTELSHÖFER, Tina and GUZMÁN, Luis.** *Guía para la toma de muestras de agua residual.* [blog]. 2015. [Consulta: 03 febrero 2024]. Disponible en: [https://www.bivica.org/files/5376\\_aguas-residuales-muestra.pdf](https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf)
73. **RINCÓN, Carlos and SIBILLE, Ana.** *Guía de Procesamiento Industrial Fabricación de Muebles con Maderas Poco Conocidas-LKS.* [blog]. 2006. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: [https://awsassets.panda.org/downloads/guia\\_yanchama.pdf](https://awsassets.panda.org/downloads/guia_yanchama.pdf)
74. **RÍOS SÁNCHEZ, Johanna Estefanía.** Estudio y caracterización del agua de riego mediante la construcción de un filtro empleando nanomateriales. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química. Quito-Ecuador. 2023. pág. 63. [Consulta: 2023-12-20]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f5110d55-b779-4da8-a7bb-6ff892d96bb0/content>
75. **ROBALINO SALAS, Diego Israel.** Diseño y construcción de un Biofiltro con gránulos de Kéfir de agua para la degradación de contaminantes de aguas residuales de la lavadora y lubricadora “La Joya” en la ciudad de Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. pág. 34. [Consulta: 2024-02-28]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16733/1/96T00660.pdf>
76. **ROBALINO SALAS, Diego Israel.** Diseño y construcción de un Biofiltro con gránulos de Kéfir de agua para la degradación de contaminantes de aguas residuales de la lavadora y lubricadora “La Joya” en la ciudad de Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. pág. 20. [Consulta: 2023-11-20]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16733/1/96T00660.pdf>
77. **SAN ANDRÉS, Gina, AGUILAR, Sara and GRAZIELLA, Bernardo,** 2023. “Morphological, physical, and chemical characterization of coconut residues in Ecuador”. *Heliyon* [en línea], 2023, (Ecuador), vol. 9 (9), pág. 3. [Consulta: 05 marzo 2024]. ISSN 2405-8440. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023064757?ref=pdf\\_download&fr=RR-2&rr=873f050a08d48ebd](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023064757?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=873f050a08d48ebd)

78. **SOLÍS, Yuliana, ZÚÑIGA, Luis and MORA, Darner.** “La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica”. *Tecnología en Marcha* [en línea], 2018. Vol. 31 (1), págs. 2–3. [Consulta: 03 diciembre 2023]. ISSN 0379-3982. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
79. **SUSUNAGA, Manuel, ESTÉVEZ, Bertha and SUSUNGA, Manuel,** 2020. “Características de la arena sílica de Alvarado, Veracruz, México, como material para barreras reactivas permeables, para la remediación de acuíferos contaminados con lixiviados de basureros no controlados”. *Enfoque UTE* [en línea], 2020. Vol. 11 (4), pág. 89. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 1390-6542. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v11n4/1390-6542-enfoqueute-11-04-00087.pdf>
80. **TOAPANTA YANCHALIQUN, Ana Isabel,** 2018. Análisis de grava como filtro para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y tinturadora de jeans dayantex, ubicada en el Cantón Pelileo, Provincia Tungurahua. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería civil y mecánica. Ambato-Ecuador. 2018. pág. 23. [Consulta: 2024-03-03]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27679/1/Tesis%201230%20-%20Toapanta%20Yanchaliqu%C3%ADn%20Ana%20Isabel.pdf>
81. **TORRES, Claudia.** *Diagnóstico inicial sobre manejo in situ y protocolos de aprovechamiento de productos no maderables del bosque (werregue, damagua, tagua, iraca y paja blanca) que se utilizan con fines artesanales por parte de grupos apoyados desde aid to artisans Colombia - ATAC.* [blog]. 2006. [Consulta: 03 febrero 2024]. Disponible en: <https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/Tutoriales/Norma%20ISO%20690.pdf>
82. **TORRES FORERO, Jessica Estephany,** 2018. Evaluación de las condiciones de las áreas rurales Colombianas para la implementación de filtros verdes como tratamiento de agua residual. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2028. pág. 12. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1f4f0b73-e185-4c46-91ee-58b7a32f876e/content>

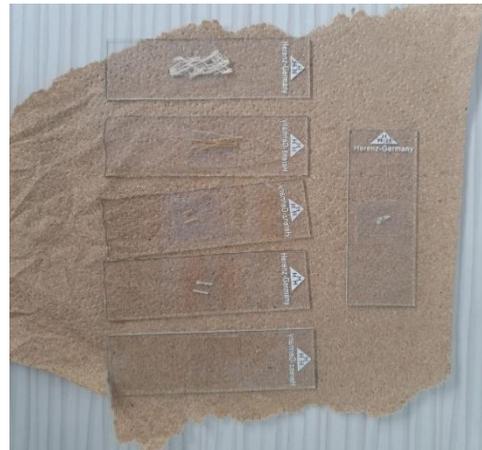
83. **VARGAS, Lady et al.**, Plan de manejo de poulsenia armata (Damagua) En tres comunidades indígenas del río Ampora, Alto Baudó - Chocó. [blog]. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: <https://iiap.org.co/files/348297410ad2c568b8ba3b6b5ee8409b>
84. **VÁZQUEZ, Miguel and MUNGUÍA, Guadalupe**. Fibras vegetales y las artesanías en el Estado de México. [blog]. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/55524222.pdf>
85. **VICTORIA, Matías et al.**, 2021. Informe final publicable de proyecto Diversidad genética de los virus gastroentéricos en aguas residuales y superficiales en la cuenca del Río Uruguay. [blog]. [Consulta: 09 diciembre 2023]. Disponible en: [https://redi.ani.org.uy/jsui/bitstream/20.500.12381/522/1/Informe\\_final\\_publicable\\_FCE\\_1\\_2017\\_1\\_136092.pdf](https://redi.ani.org.uy/jsui/bitstream/20.500.12381/522/1/Informe_final_publicable_FCE_1_2017_1_136092.pdf)

## ANEXOS

### ANEXO A: OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE ESTROPAJO COMÚN (*Luffa cylindrica*)



**ANEXO B: CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS FIBRAS DE ESTROPAJO COMÚN (*Luffa cylindrica*) Y YANCHAMA (*Poulsenia armata*)**



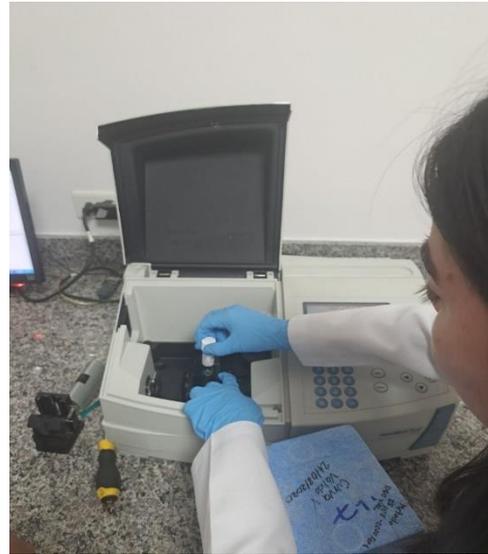
## ANEXO C: CONSTRUCCIÓN DE LOS BIOFILTROS



**ANEXO D: MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL**



## ANEXO E: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA EN EL LABORATORIO



**ANEXO F:** ACUERDO MINISTERIAL 097-A, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE- ANEXO 1-TULSMA-TABLA 9: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Hierro	Fe	mg/l	10,0
Manganeso	Mn	mg/l	2,0
Níquel	Ni	mg/l	2
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH	-	6-9



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 22/ 07 / 2024

<b>INFORMACIÓN DE LAS AUTORAS</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Ruby Germania Conde García Mishell Celena Espinoza Coral
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Ambiental
 Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero M.Sc. <b>Directora del Trabajo de Titulación</b>  Ing. Hugo Rolando Sánchez Quispe M.Sc. <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>