



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (CA) PROCEDENTE DE  
LOS RESIDUOS DE BAMBÚ (*Bambusa vulgaris*) PARA  
REMOCIÓN DE CONTAMINANTE DEL AGUA.**

**AUTORAS:**

**GÉNESIS JAMILETH LOOR REYES**

**JENIFFER STEFANIA ROBLES MOLINA**

**TUTOR:**

**ING. CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE, Mg. C.A.**

**CALCETA, FEBRERO 2024**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **GÉNESIS JAMILETH LOOR REYES**, con cédula de ciudadanía **131701183-9** y **JENIFFER STEFANIA ROBLES MOLINA** con cédula de ciudadanía **131680159-4**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (CA) PROCEDENTE DE LOS RESIDUOS DE BAMBÚ (*Bambusa vulgaris*) PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTE DEL AGUA** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



**GÉNESIS JAMILETH LOOR REYES**

**CC: 131701183-9**



**JENIFFER STEFANIA ROBLES MOLINA**

**CC: 131680159-4**

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **GÉNESIS JAMILETH LOOR REYES**, con cédula de ciudadanía **131701183-9** y **JENIFFER STEFANIA ROBLES MOLINA** con cédula de ciudadanía **131680159-4**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (CA) PROCEDENTE DE LOS RESIDUOS DE BAMBÚ (Bambusa vulgaris) PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTE DEL AGUA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

*Genesis Loor Reyes*

**GÉNESIS JAMILETH LOOR REYES**

**CC: 131701183-9**



**JENIFFER STEFANIA ROBLES MOLINA**

**CC: 131680159-4**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

**CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE**, certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (CA) PROCEDENTE DE LOS RESIDUOS DE BAMBÚ (*Bambusa vulgaris*) PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTE DEL AGUA**, que ha sido desarrollado por **GÉNESIS JAMILETH LOOR REYES** y **JENIFFER STEFANIA ROBLES MOLINA**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Ambiental**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. CARLOS DELGADO VILLAFUERTE, Mg. C.A.**

**CC:1311115602**

**TUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO (CA) PROCEDENTE DE LOS RESIDUOS DE BAMBÚ (*Bambusa vulgaris*) PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTE DEL AGUA**, que ha sido desarrollado por **LOOR REYES GÉNESIS JAMILETH Y ROBLES MOLINA JENIFFER STEFANIA**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Ambiental**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**Fabricio Enrique Alcívar Intrigo, Mg.**

**CC:1308632262**

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**ING. Marcos Vera Vera, MG**

**CC: 1313674481**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**DR.C. Ever Darío Morales Avendaño**

**CC: 0959966342**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, por su bondad inmensurable, por todas las bendiciones diarias y por permitirme seguir avanzando personal y profesionalmente; sin mi fe hacia él me hubiera rendido fácilmente.

A mis Padres, por ser ese soporte incondicional, por formarme para las adversidades que se me presenten y enseñarme que por muy difícil que se ponga el camino siempre debo de creer en mis capacidades y no rendirme nunca.; a mi hermana y a mi novio por ser parte fundamental en este camino, por estar siempre para mí y apoyarme de alguna u otra manera.

A mi compañera de tesis, Jeniffer Robles, por la dedicación y el esfuerzo brindado para realizar juntas este trabajo, al primito del laboratorio por ofrecerme su amistad sincera y su dedicación en el oficio para proveer su ayuda en la realización de este proyecto.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por ser mi segundo hogar, por haberme abierto las puertas de la educación superior y formarme como un profesional de bien gracias a la excelencia de sus docentes.

A mi tutor, el Ing. Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, Mg. C.A., por su interés, orientación y por su confianza brindada a lo largo del trabajo de titulación, así mismo al Ing. Fabián Peñarrieta por su amor y dedicación a la investigación académica ya que siempre estuvo dispuesto a ayudarnos a lo largo de este proceso. Les agradezco también el haberme facilitado los medios para llevar a cabo las actividades propuestas; sin ellos no hubiera sido posible, muchas gracias.

**LOOR REYES GÉNESIS JAMILETH**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios, por darme la vida y las fuerzas necesarias para lograr cada una de mis metas y anhelos, sobre todo, hacer posible el sueño de ser profesional es una realidad.

A mis Padres por su apoyo incondicional y enseñarme que nunca se debe dejar de luchar por nuestros sueños, a mis hermanas y a mi primo que de una u otra manera me brindaron su apoyo incondicional.

A mi compañera de tesis Génesis por la constancia y empeño para realizar juntas este trabajo, a mis amigos y amigas que me ofrecieron su amistad incondicional y darme ese empuje a seguir y estar conmigo siempre.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por haberme abierto las puertas del aprendizaje y por brindarme la oportunidad de formarme como un profesional y crecer como ser humano a través de la excelencia académica.

A mi tutor el Ing. Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, Mg. C.A., por ser una guía y por el asesoramiento brindado a lo largo del trabajo de titulación, así mismo al Ing. Fabián Peñarrieta por su apoyo y dedicación a lo largo de esta investigación, ya que siempre estuvo dispuesto a ayudarnos a lo largo de este proceso y a mis profesores por impartir sus conocimientos a lo largo de nuestra formación académica.

**ROBLES MOLINA JENIFFER STEFANIA**

## **DEDICATORIA**

Dedico este gran logro principalmente a Dios quien es mi guía de formación espiritual, por permitirme llegar hasta este momento tan importante y por darme la vida.

A mi madre, Esperanza Reyes, por demostrarme siempre su amor y cariño pese a días difíciles y por su apoyo incondicional. A mi padre, Iván Loor, pese a nuestra distancia estará orgulloso de mi por este logro tan especial que sin duda alguna forma parte de él por todo su amor y su apoyo. A mi hermana, a quien quiero mucho y ve en mi un ejemplo de superación. A mi novio, el Ing. Víctor Zambrano Loor, Mg., por siempre alentarme cuando no puedo, apoyarme, ayudarme y por compartir momentos significativos conmigo. A mi tía Leonor Loor y a todas aquellas personas que formaron parte de este largo camino y que llega a su etapa final en la educación superior, que sin duda alguna es uno de tantos logros por venir, sin ellos y sin su apoyo nada de esto hubiese sido posible.

**LOOR REYES GÉNESIS JAMILETH**

## **DEDICATORIA**

Este gran logro se lo dedico a Dios por Bendíceme cada día y permitirme llegar hasta donde estoy.

A mis padres José Luis Robles y Claudia Gabriela Molina por ser el pilar fundamental en mi vida y por apoyarme durante todo el trayecto de mi vida estudiantil, por apoyarme incondicionalmente e impulsarme a conseguir logros importantes en mi vida, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, el cual este es un logro más dedicado para ustedes.

A mis hermanas Carla y María José, por alentarme y por ser parte importante en mi vida. A mi querido primo Andrés Martínez, por su afecto constante e incondicional a lo largo de este proceso, brindándome su apoyo desinteresado y por siempre estar a mi lado.

**ROBLES MOLINA JENIFFER STEFANIA**

## CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN .....	III
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
DEDICATORIA .....	VIII
DEDICATORIA .....	IX
CONTENIDO GENERAL.....	X
CONTENIDO DE TABLAS .....	XIII
CONTENIDO DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
PALABRAS CLAVE .....	XV
ABSTRACT.....	XVI
KEY WORDS .....	XVI
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	4
1.4.1. HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	4
1.4.2. HIPÓTESIS NULA .....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. CONTAMINACIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES .....	5
2.2. CARBÓN ACTIVADO .....	5
2.2.1. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES .....	6
2.2.2. MÉTODOS DE ACTIVACIÓN PARA EL CARBÓN.....	6
2.2.3. FUENTES POTENCIALES DE CARBÓN ACTIVADO.....	7
2.3. FILTRACIÓN .....	7

2.3.1. TIPOS DE FILTRACIÓN .....	7
2.4. FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO.....	9
2.4.1. VIDA ÚTIL DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO.....	10
2.4.2. FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO A BASE DE BAMBÚ .....	10
2.5. EL BAMBÚ.....	11
2.5.1. CARBÓN PROVENIENTE DE BAMBÚ .....	12
2.6. APLICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO EN TRATAMIENTOS DE AGUAS.....	12
2.7. ABSORCIÓN DE METALES PESADOS CON CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ .....	13
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	14
3.1. UBICACIÓN.....	14
3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO .....	14
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.4. MÉTODOS.....	15
3.4.1. BIBLIOGRÁFICO .....	15
3.4.2. EXPERIMENTAL.....	15
3.5. TÉCNICAS.....	15
3.5.1. OBSERVACIÓN .....	15
3.6. DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL .....	16
3.6.1. FACTOR EN ESTUDIO.....	16
3.6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	16
3.6.3. TRATAMIENTOS Y UNIDADES EXPERIMENTAL .....	16
3.7. VARIABLES EN ESTUDIO .....	16
3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	16
3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	17
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	19
3.9. PROCEDIMIENTOS .....	19
3.9.1. FASE I. OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DEL RESIDUO DE BAMBÚ (BAMBUSA VULGARIS) PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.....	19

3.9.2. FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE A TRAVÉS DE DIFERENTES VOLÚMENES DE CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.....	21
3.9.3. FASE III. ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE .....	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. FASE I. OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DEL RESIDUO DE BAMBÚ (BAMBUSA VULGARIS) PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.....	34
4.1. FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE A TRAVÉS DE DIFERENTES VOLÚMENES DE CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.....	35
4.2. FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE A TRAVÉS DE DIFERENTES VOLÚMENES DE CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.....	37
4.2.1. TIPOS DE FILTRACIÓN .....	37
4.2.2. TURBIDEZ .....	38
4.2.3. PARÁMETRO DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDS).....	39
4.2.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH).....	40
4.2.5. DUREZA .....	40
4.2.6. COLOR .....	41
4.2.7. SULFATO.....	42
4.2.8. NITRITOS .....	42
4.2.9. NITRATOS .....	43
4.2.10. FOSFATO.....	44
4.2.11. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	44
4.2.12. EFICIENCIA DE REMOCIÓN .....	45
4.2.13. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	46
4.3. ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE .....	51
CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN .....	55
5.1. CONCLUSIONES.....	55
5.2. RECOMENDACIÓN .....	56

BIBLIOGRAFÍA .....	57
ANEXOS .....	75

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Distribución de las unidades experimentales por tratamiento.....	14
<b>Tabla 3.2.</b> Matriz operacional de las variables .....	15
<b>Tabla 3.4.</b> Parámetros de control.....	23
<b>Tabla 4.1.</b> Medias de carbón activado obtenido del proceso de pirólisis .....	32
<b>Tabla 4.2.</b> Indicadores de calidad de agua proveniente de río .....	34
<b>Tabla 4.3.</b> Análisis de varianza de los tipos de filtros utilizados en relación a los parámetros de respuesta .....	36
<b>Tabla 4.4.</b> Resultados del análisis de varianza de los parámetros en relación a los tratamientos y filtros aplicados.....	46
<b>Tabla 4.5.</b> Prueba de Tukey del parámetro Solidos disueltos totales .....	48
<b>Tabla 4.6.</b> Prueba de Tukey del parámetro Color .....	48
<b>Tabla 4.7.</b> Prueba de Tukey del parámetro Sulfatos .....	48
<b>Tabla 4.8.</b> Prueba de Tukey del parámetro nitritos .....	49
<b>Tabla 4.9.</b> Prueba de Tukey del parámetro nitratos .....	49
<b>Tabla 4.10.</b> Prueba de Tukey del parámetro fosfatos.....	49
<b>Tabla 4.11.</b> Detalle del consumo de recursos para la elaboración del carbón activado procedente de residuos de caña .....	50
<b>Tabla 4.12.</b> Costos de materia prima de la elaboración de los filtros forzados ...	51
<b>Tabla 4.13.</b> Costos de materia prima de la elaboración de los filtros forzados ...	52
<b>Tabla 4.14.</b> Gastos de producción de la elaboración de los filtros forzados .....	52

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Delimitación del área de extracción de los residuos de bambú para elaboración de carbón activado. ....	11
<b>Figura 3.2.</b> Esquema del filtro rápido. ....	20
<b>Figura 3.3.</b> Esquema del filtro forzado. ....	21
<b>Figura 3.4.</b> Diseño experimental para filtración forzada ....	22
<b>Figura 4.1.</b> Valoración de los residuos de bambú para la obtención de carbón activado .....	32
<b>Figura 4.2.</b> Comparación de resultados con la normativa mexicana .....	33
<b>Figura 4.3.</b> Medias de turbidez de la filtración forzada y rápida .....	37
<b>Figura 4.4.</b> Medias de sólidos disueltos totales (TDS) de la filtración forzada y rápida.....	38
<b>Figura 4.5.</b> Medias de PH de la filtración forzada y rápida.....	39
<b>Figura 4.6.</b> Medias de dureza de la filtración forzada y rápida.....	40
<b>Figura 4.7.</b> Medias del color de la filtración forzada y rápida .....	41
<b>Figura 4.8.</b> Medias del Sulfato de la filtración forzada y rápida .....	41
<b>Figura 4.9.</b> Medias de nitrito de la filtración forzada y rápida .....	42
<b>Figura 4.10.</b> Medias de nitrato de la filtración forzada y rápida .....	43
<b>Figura 4.11.</b> Valoración de fosfato de la filtración forzada y rápida.....	43
<b>Figura 4.12.</b> Valoración de SST de la filtración forzada y rápida .....	44
<b>Figura 4.13.</b> Eficiencia de remoción de los contaminantes de la calidad del agua .....	45

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la eficacia del carbón activado del residuo de Bambú (*Bambusa vulgaris*) para la remoción de contaminantes del agua, bajo un DCA con 12 unidades experimentales; teniendo como objetivos: La obtención de carbón activado del residuo bambú, determinación del tratamiento más eficiente y elaboración de un análisis económico del más eficiente. El total de residuos de bambú en carbón activado fue de 99.3% (7115 g) y 0,70% (50 g) de cenizas. Inicialmente el agua de río presentó una turbidez de 19,69 mg/l, pH 7,7 mg/l, T 23,1°C, dureza 150 mg/l, color 179 PT-CO, sulfato 60 mg/l, nitrito 2,27, nitrato 25 mg/l, fosfato 8,1 mg/l, sst 164 mg/l, cap. absorción 121,41 mg/g por cada 5g de CA. Con el análisis de varianza se determinó que existe significancia entre los tipos de filtros destacando la filtración forzada, donde la turbidez en el T2 fue 6,2 mg/l; el TDS en el T3 con 158,3 mg/l; el pH se mantuvo entre 7,1 y 6,1; en dureza T4 fue de 142,8 mg/l; el color T2 con 33,67 PT-CO; sulfato obtuvo 146,3 mg/l en T3; nitritos 0,47 en T3; nitratos 0,036 mg/l en T3; los fosfatos fue mejor el T2 (filtración rápida) pero no cumplió con la normativa ambiental; los SST presentaron 0,04 mg/l en T3. Concluyendo, el T2 con filtración forzada presentó más eficiente de remoción con 64,09%, cumpliendo la hipótesis alternativa, requiriendo 50 g de carbón activado, siendo el costo total de fabricación del filtro de \$535,4.

## PALABRAS CLAVE

Remoción de contaminantes, residuos de bambú, capacidad de absorción, Sólidos suspendidos totales

## ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the efficacy of activated carbon from Bamboo (*Bambusa vulgaris*) waste for the removal of water pollutants, under a DCA with 12 experimental units; having as objectives: Obtaining activated carbon from Bamboo waste, determining the most efficient treatment and elaborating an economic analysis of the most efficient one. The total bamboo residue in activated carbon was 99.3% (7115 g) and 0.70% (50 g) of ash. Initially, the river water presented a turbidity of 19.69 mg/l, pH 7.7 mg/l, T 23.1°C, hardness 150 mg/l, color 179PT-CO, sulfate 60 mg/l, nitrite 2.27, nitrate 25 mg/l, phosphate 8.1 mg/l, sst 164 mg/l, absorption cap 121.41 mg/g per 5g of AC. With the analysis of variance it was determined that there is significance between the types of filters, highlighting the forced filtration, where the turbidity in T<sub>2</sub> was 6.2 mg/l; the TDS in T<sub>3</sub> with 158.3 mg/l; the pH remained between 7.1 and 6.1; in T<sub>4</sub> hardness was 142.8 mg/l; color T<sub>2</sub> with 33.67 PT-CO; sulfate obtained 146.3 mg/l in T<sub>3</sub>; nitrites 0.47 in T<sub>3</sub>; nitrates 0.036 mg/l in T<sub>3</sub>; phosphates was better in T<sub>2</sub> (fast filtration) but did not comply with environmental regulations; TSS presented 0.04 mg/l in T<sub>3</sub>. In conclusion, T<sub>2</sub> with forced filtration presented a more efficient removal rate of 64.09%, fulfilling the alternative hypothesis, requiring 50 g of activated carbon, and the total cost of manufacturing the filter was \$535.4.

## KEY WORDS

Removal of contaminants, bamboo waste, absorption capacity, total suspended solids

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua dulce en la tierra está bajo presión constante debido a su deterioro de calidad, el cual se atribuye principalmente a dos procesos: los naturales y los antropogénicos (Belizario et al., 2019). Asimismo, Marín et al. (2018) indica que, en la actualidad, la calidad del agua superficial es una cuestión preocupante a escala mundial. Dicha contaminación viene provocada por la presencia de diversos materiales procedente de los efluentes domésticos e industriales de diverso origen, tales como: ácidos, bases, hidrocarburos, detergentes, plaguicidas, entre otros contaminantes (Ramírez, 2021) y transformando así, al agua no apta para los distintos usos a los que la destina el ser humano (Rodríguez et al., 2019).

Por lo cual, Mendoza *et al.* (2019) exteriorizan que ahora más que nunca resulta necesario contar con una gestión competente y responsable de los recursos hídricos, y más en concreto del tratamiento de las aguas, para de así reducir el y garantizar agua segura y en abundancia (Badilla & Mora, 2019).

De acuerdo con Arrocha et al. (2019) uno de los tratamientos de agua es la filtración, el cual consiste en hacer pasar el agua a través de materiales filtrantes porosos como el carbón activado, arena, antracita u otros materiales granulares para optimizar la eliminación de las impurezas de las partículas existentes en el agua (Castellar et al., 2019).

Por otra parte, Paye et al. (2021) manifiesta que el carbón activado (CA) remueve malos olores, sabores o color desagradable, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. Para Cerda (2020) el CA tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie del mismo. De acuerdo con González & Abril (2018) estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común. (Prieto et al., 2021).

Arévalo y Reátegui (2020) indican que el carbón de bambú es muy efectivo para absorber contaminantes y otras sustancias. Así mismo, Vejarano & Casas (2021)

mencionan que cuando el agua fluye a través de filtros de carbón activo de bambú, los productos químicos se adhieren al carbono, dando como resultado un agua más pura. No obstante, depende del flujo y la temperatura del agua (El Gamal et al., 2018).

Por lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál será la eficiencia de remoción de contaminantes en agua mediante el uso de carbón activado procedente de residuos de Bambú (*Bambusa vulgaris*)?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Como componente ambiental el bambú es un gran protector del medio ambiente, ya que absorbe más cantidad de CO<sub>2</sub> que cualquier otra planta y libera un 30% más de oxígeno. Santander (2019) señala que el filtro de carbón activado de bambú es una de las maneras más fáciles de limpiar nuestra agua sin usar plástico ni crear desperdicios. Este elemento es capaz de sanear las aguas que se encuentran contaminadas con arsénico; además, el carbón de bambú es perfecto como eliminador de malos olores y atrae todas las micropartículas. Así mismo, el carbón de bambú también conserva sus propios minerales; lo que contribuye al agua a la vez que la purifica, produciendo un agua limpia y de buen sabor (Céspedes, 2020).

Con respecto al ámbito legal, el estudio se realizará de conformidad con lo establecido en la Constitución Ecuatoriana, en el artículo 276, numeral 4 que indica: “Restaurar y conservar la naturaleza y mantener un medio ambiente sano y sostenible que garantice a las personas y comunidades un acceso equitativo, sostenible y de calidad al agua, el aire y el suelo, así como los beneficios del subsuelo y el patrimonio natural”, en correlación con el Plan Nacional de Desarrollo, concretamente en el Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las generaciones presentes y futuras, que establece: “Protección de las fuentes de agua, consolidando un enfoque integrado de gestión de los recursos hídricos, desarrollando mecanismos de compensación y declarando zonas de protección del agua”.

Del mismo modo, en la Ley de Recursos Hídricos del Ecuador, el artículo 57 menciona que el derecho humano al agua es un derecho de todas las personas a disponer de suficiente agua limpia, saludable, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico.

Es por ello que, con el desarrollo de este proyecto se busca el aprovechamiento de los residuos de bambú para la producción de carbón activado, aumentando de esa manera su agregado valor y utilizarlo como biofiltro, creando así una alternativa contribuya a la sustentabilidad ambiental y a su vez, demostrar que sirve como tratamiento eficiente para la remoción de contaminantes en el agua.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficacia del Carbón activado (CA) procedente del residuo de Bambú (*Bambusa vulgaris*) para la remoción de contaminantes del agua.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener carbón activado procedente del residuo de Bambú (*Bambusa vulgaris*) para la remoción de contaminantes en el agua
- Determinar el tratamiento más eficiente a través de diferentes volúmenes de carbón activado de bambú (*Bambusa vulgaris*) en la remoción de contaminantes en el agua.
- Elaborar un análisis económico del tratamiento más eficiente.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

Al menos uno de los tratamientos tiene una alta eficiencia en la remoción de aguas contaminadas.

### **1.4.2. HIPÓTESIS NULA**

Ningún tratamiento es eficiente en la remoción de contaminantes del agua.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CONTAMINACIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES**

Cutillas et al., (2019) ostenta que muchos contaminantes que ingresan a las aguas superficiales, tanto naturales como antropogénicos, pueden causar efectos tóxicos en los sistemas acuáticos. Estos ecosistemas mantienen una exposición histórica a tipos de contaminación en ruta e interactúan con los flujos de agua para hacer circular los contaminantes atrapados, cambiando así la dinámica general del cuerpo de agua (Castañeda et al., 2018).

Según Calvo (2019) actualmente, se estima que más de un millón de sustancias diferentes ingresan a las aguas naturales a través de descargas antropogénicas, que cambian las propiedades sensoriales del agua, perturban gravemente los ecosistemas y son directamente dañinas para los humanos.

Una de las muchas contaminaciones es dado que los metales pesados persisten en el medio natural durante mucho tiempo después de un derrame, pueden afectar a todo tipo de ecosistemas acuáticos (Montalván et al., 2019). De acuerdo con Salas et al., (2020) los metales pesados han sido identificados como uno de los contaminantes más peligrosos en ecosistemas acuáticos, al no ser ni química ni biológicamente degradables.

### **2.2. CARBÓN ACTIVADO**

Tal como se entiende por carbón activado, es un material obtenido de la combustión controlada de determinados tipos de madera (Castellar et al., 2019). Por otro lado, Calderón y Fenarraga (2020) señalan que se puede hacer carbón activado a partir de restos de bambú y corcho y es un material muy poroso que es muy bueno filtrando y eliminando químicos y sustancias nocivas. Ampliamente utilizado en las industrias alimentaria, farmacéutica y química y como sistema de filtración y depuración de aguas brutas y residuales (Bretón et al., 2020).

El carbón activado puede presentarse en forma granular o en polvo, constituido por un gran número de poros del mismo tamaño con una superficie interna de 500 a

1500 m<sup>2</sup>/g (García et al., 2019). Tiene varios usos como purificación de agua, decoloración, desodorización, adsorción de gas o ionización (Blanco et al., 2021).

### 2.2.1. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES

La estructura consiste en un conjunto irregular de capas de carbono entre estas capas creando porosidad (Mejía, 2018). El orden aleatorio de las capas y su entrelazado hace imposible reordenar la estructura con formación de grafito, incluso durante tratamientos térmicos por encima de 1000°C (León y León, 2020). Es esta característica del carbón activado la que determina en mayor medida sus propiedades de estructura porosa interna altamente desarrollada, y al mismo tiempo su disponibilidad para procesos de absorción (Silupú et al., 2017).

Por otra parte, Guanuche et al. (2017) exteriorizan que la composición del carbón activado, está representado en su estructura por átomos de carbono con valencia insaturada; los grupos funcionales están compuestos principalmente por oxígeno y nitrógeno, y los componentes inorgánicos son los responsables de la función cantidad de cenizas, los cuales tienen un importante impacto en el proceso de adsorción (Feijoo et al., 2019). La distribución del tamaño de los poros depende del origen del producto/material, el tipo de proceso de activación y la duración de la activación (Castellar et al., 2019).

### 2.2.2. MÉTODOS DE ACTIVACIÓN PARA EL CARBÓN

- ❖ **Activación física:** También conocida como activación térmica, se logra carbonizando el material a temperaturas muy altas mientras se elimina el hidrógeno y el oxígeno, creando una sustancia porosa y de carbono. Luego se lleva a cabo la oxidación con dióxido de carbono, vapor, aire u otros oxidantes; eliminando productos volátiles y átomos de carbono (Morroquín et al., 2017).
- ❖ **Activación química:** Este proceso se lleva a cabo a menor temperatura utilizando reactivos como el ácido fosfórico. El hidróxido de potasio o cloruro de zinc, y cuando la materia prima aún está húmeda, se cocerá en el horno

a una temperatura de 500-700 °C, finalmente se debe lavar el carbón para eliminar los residuos químicos (Landin y Tovar, 2017).

### **2.2.3. FUENTES POTENCIALES DE CARBÓN ACTIVADO**

El carbón activado se puede hacer a partir de una variedad de precursores de carbón, aunque comúnmente se usa madera, carbón mineral o, en este caso, de bambú (Cubillos, 2019). De acuerdo con Mejía (2018) la creciente demanda de estos adsorbentes ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas compradas de manera segura y de bajo costo, con énfasis en las materias primas de biomasa renovable.

## **2.3. FILTRACIÓN**

La filtración es un proceso mecánico que posibilita la retención de partículas, material coloidal y microorganismos de una sustancia acuosa por medio de la implementación de un medio filtrante, permitiendo que el agua pase perfeccionando sus características físicas y químicas (Molina, 2016).

De acuerdo con Vega y Muñoz (2022) definen al filtro como “Un equipo purificador de agua que tiene por funcionalidad la eliminación de cloro, metales pesados, sedimentos e impurezas mediante la filtración”.

### **2.3.1. TIPOS DE FILTRACIÓN**

Por filtración se entiende la purificación o limpieza de sustancias líquidas o gaseosas mediante diversos procesos de filtrado (Mendoza et al., 2019). Para Azabache et al. 2020) la filtración es un proceso de separación mecánica con base exclusivamente física.

De acuerdo con Pabón et al. (2020) existen diversos métodos de filtración, los cuales se detallan a continuación:

- ❖ **Filtración superficial:** Con respecto a la filtración superficial, Trujillo y Cajigas (2018) indican que el diámetro de las partículas es mayor que el diámetro de los poros, lo cual significa que la sustancia a separar permanece

del mismo tamaño. En este caso, el filtro es poco profundo y consta de membranas muy finas (Rossel et al., 2020). Algunos de los filtros utilizados son filtros de membrana, velas filtrantes, micro pantallas y filtros de tela (Beck et al., 2018).

- ❖ **Filtración profunda:** Pinto y Franco (2022) señalan que el diámetro de las partículas es menor que el diámetro de los poros. Las partículas pasan a través de los poros y quedan retenidas en el medio filtrante (Rossel et al., 2020). Para separar las partículas se requiere una capa filtrante de gran profundidad (altura de capa), en la que se vierte material granular, en el que quedan retenidas las partículas de la fase acuosa (Nazarieh et al., 2018).

Según Marino et al., (2018) normalmente se utilizan capas de 1 a 2 metros de altura para el filtrado en profundidad. Los filtros de profundidad se utilizan generalmente en áreas con altos niveles de contaminación (Hernández, 2022).

- ❖ **Filtración por torta:** En el caso de la filtración por torta Arnaudo et al., (2022) señalan que el diámetro de las partículas es menor que el diámetro de los poros. Las partículas pasan a través de los poros y quedan retenidas en el medio filtrante (Álvarez y Arias, 2022). Para Gutiérrez y Rojas (2018) la separación de partículas se requieren capas filtrantes muy profundas (alturas de capa), en las que se vierte el material granular, en el que se retienen las partículas de la fase acuosa.

Por otra parte, Crespo et al., 2018) exteriorizan que existen tipos especiales de procesos de filtración, tales como:

- ❖ **Filtración por membrana:** Con la filtración por membrana, el agua se filtra a través de paredes delgadas y poros (membranas) que, dependiendo de sus propiedades, pueden retener incluso partículas tan pequeñas como virus o bacterias (Corrales et al., 2018). Este tipo específico de filtración se llama filtración estéril (Fernández et al., 2021). La mayoría de los filtros de membrana están hechos de materiales poliméricos. En algunas regiones

también se utilizan membranas hechas de materiales cerámicos o metales (Chávez, 2018).

Las membranas se pueden fabricar en una variedad de configuraciones con diafragmas de lámina plana, fibra hueca, canal único, canal múltiple, disco y "bolsa plana" (Fragoso et al., 2021).

- ❖ **Filtración con carbón activado:** De acuerdo con Mesa et al., (2019) el proceso de filtración de carbón activado se basa principalmente en el principio de adsorción. Las sustancias nocivas como el polvo o los metales pesados se separan de los gases o líquidos mediante filtros de carbón activado (Morales y Gutiérrez, 2021). En el tratamiento del agua potable, estos filtros se utilizan para absorber y conservar sustancias orgánicas, aromas y sabores o para filtrar residuos de sustancias farmacéuticas del agua (Parra et al., 2018).

Por otro lado, Quevedo y Figueredo (2020) señalan que el carbón también actúa como agente reductor y, por lo tanto, elimina eficazmente oxidantes como el ozono y el cloro presentes en los gases de escape, el agua de servicio o el agua residual. También, García et al., (2019) indican que existen filtros de carbón activado con núcleos de membrana que combinan las ventajas de los dos métodos de filtración.

## 2.4. FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO

Sugashini et al., (2017) señalan que en la actualidad gracias a las nuevas tecnologías se desarrollan filtros con carbón activado, los cuales no sirven solamente para la remoción de contaminantes sino para la remoción de metales pesados.

Carrasquero et al., (2022) muestran que el filtro de carbón activado es un filtro de adsorción porque cuando se utilizan impurezas filtrables, estas serán capturadas y retenidas en los poros de las partículas de carbón. Según Velarde et al., (2018) los filtros de carbón activado son habitualmente empleados como una parte integral de sistemas de extracción y tratamiento, con el propósito de purificar aguas

provenientes de diversas fuentes, como aguas subterráneas, de río, de lago, de pozo, de manantial, aguas municipales o agua salobre.

Por lo general, los filtros de carbón activado se emplean con la finalidad de purificar el agua, desempeñando un papel importante como sistemas de potabilización en entornos domésticos (Vázquez et al., 2022). Por lo general, consisten en carbón activado granular con tamaños de partículas de 0,595 a 2,38 mm, montados dentro del marco (Ríos et al., 2017). Además, otros tipos de materiales se colocan frente al carbono para acomodar partículas sólidas de mayor diámetro, el agua que ingresa y fluye a través del filtro se puede verificar periódicamente para garantizar que el sistema de filtración funcione perfectamente (Cedeño y Ayón, 2020).

#### **2.4.1. VIDA ÚTIL DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO**

De acuerdo con Espín et al., (2017) un filtro puede llegar a durar hasta 10 años sin ningún tipo de problema y con adecuado cuidado. Con respecto al filtro con carbón activado, Silva y Guijarro (2017) señalan que tendrá una eficacia durante los 12 meses. Por lo cual es recomendable cambiar el carbón activado cada año (Gómez et al., 2017).

Desde la perspectiva de Soto (2021) la sustitución del carbón activado permite el control interno del filtro y las operaciones de mantenimiento como resultado de las observaciones realizadas durante esta inspección.

#### **2.4.2. FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO A BASE DE BAMBÚ**

Díaz et al., (2019) indican que los filtros de carbón activado a base de residuos de bambú son utilizados para la remoción de metales en el proceso de adsorción, Ochoa y García (2017) también señalan que pueden ser utilizados para tratar aguas residuales líquidas de actividades mineras e industriales. De esta forma, es una alternativa a los procesos convencionales, ya que este material puede actuar como acumulador de residuos metálicos con el cobre como principal contaminante, dando ventajas para la rápida producción y aprovechamiento de carbón activado a partir de residuos de bambú y a su vez es un proceso de bajo costo (Ghosh y Bandyopadhyay, 2017).

Para Khandaker et al., (2017) los filtros de carbón de bambú son de bajo costo y su precio es solo de 1/3 a 1/5 del precio del carbón activado común. Asimismo, Nitayaphat y Jintakosol (2015) manifiestan que se ha aplicado para muchas funciones en diversos campos, como el suministro de iones negativos, la emisión de rayos infrarrojos lejanos, la prevención de la oxidación, la eliminación de microbios del agua, como regulador de la humedad y una rica fuente de minerales.

De acuerdo con Peng et al., (2015) su capacidad de adsorción ha llamado más la atención en los últimos años. Varios estudios han encontrado que el carbón de bambú activado tiene una excelente capacidad de adsorción para una amplia variedad de sustancias, como nitrato-nitrógeno, metales pesados, dibenzotiofeno y fenol, y puede usarse potencialmente para la purificación de agua (Qian et al., 2018).

Por lo tanto, como adsorbente nuevo, innovador y rentable, el filtro de carbón de bambú puede brindar una opción alternativa y usarse para reemplazar parcialmente el carbón activado y disminuir el consumo de madera u tratamientos de agua convencionales (Khandaker et al., 2018).

## **2.5. EL BAMBÚ**

Históricamente, el bambú ha estado presente desde el inicio de las civilizaciones y ha acompañado a los humanos brindándoles refugio, alimento, herramientas y otros usos (Chau y Vásquez, 2020). El bambú moldeado con carbono ofrece una resistencia y una porosidad perfectas para retener incluso las partículas más pequeñas (López et al., 2021).

Gutiérrez y de Lira (2020) manifiestan que el carbón de bambú se puede utilizar como materia prima para el carbón activado, gracias a la estructura microporosa especial, el bambú después de la carbonización tiene una gran capacidad de absorción. Así mismo, Vivar y García (2022) indican que, en el campo de la protección del medio ambiente, debido a su buena absorción, se puede utilizar como purificador de agua, escudo contra la radiación electromagnética y también como adsorbente de productos químicos nocivos.

### **2.5.1. CARBÓN PROVENIENTE DE BAMBÚ**

El carbono proviene de la descomposición de plantas terrestres que se acumulan en pantanos, lagunas o aguas oceánicas (Burbano, 2018). El carbón es un mineral de origen orgánico, compuesto principalmente por carbono (Bolaños et al., 2017). Su formación es el resultado de la condensación paulatina de sustancias parcialmente descompuestas por las plantas durante millones de años, cuando las plantas se descomponen formando una capa llamada turba (Aguirre et al., 2018).

En la industria, el carbón de bambú se puede utilizar como materia prima para la producción de carbón activado (Negara et al., 2020). Por lo cual, Ordóñez et al. (2022) exterioriza que gracias a la estructura microporosa especial, el bambú después de la carbonización tiene una alta absorbencia.

Los usos del carbón activado de bambú son mucho más amplios: se puede utilizar como purificador de aire, que puede emitir gases nocivos en el proceso de fabricación de semiconductores, purificación de agua, procesamiento de alimentos, producción de cerveza, producción de azúcar refinada y otros campos (Ceccon y Gómez, 2019). Se puede utilizar como catalizador o como portador de catalizador (Coral y Mora, 2019).

### **2.6. APLICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO EN TRATAMIENTOS DE AGUAS**

El uso del carbón activado en un tratamiento de aguas es necesario cuando el agua contiene uno o más contaminantes que impiden o dificultan el tratamiento secundario también conocido como biológico (Guzmán y Esquivel, 2021). Entre estos contaminantes podemos encontrar moléculas tóxicas para los microorganismos, como lo son: Tolueno, fenol, benceno, cloruros, nitritos y plaguicidas (Torres et al., 2020).

Prieto et al., (2020) las partículas presentes en el carbón activado exhiben una estructura microscópica con una superficie muy grande, en la cual los contaminantes en el proceso de tratamiento de aguas son retenidos mediante la adhesión física. La eficacia de la adsorción está directamente relacionada con

factores como el tamaño de los poros, las moléculas, la extensión de la superficie o área superficial, la concentración de partículas, el período de contacto y la temperatura (Aldeguer et al., 2020).

Desde la perspectiva de Valenzuela y Torres (2020) el tratamiento con carbón activado mejora la calidad del agua al mismo tiempo. Como agente de eliminación, el cloro, el ozono, el peróxido de hidrógeno y otros residuos de desinfectantes se eliminan por reacción química (Polo et al., 2022).

## **2.7. ABSORCIÓN DE METALES PESADOS CON CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ**

De acuerdo con Brousett et al., (2021) los metales pesados como el cobre, cromo, níquel, zinc, plomo, cobalto y cadmio pueden contaminar fuentes de agua natural. Prieto et al., (2020) señala que se utilizan varios procesos de separación para tratar estos metales, incluidos la adsorción, el intercambio iónico, la coagulación/floculación, la precipitación, la extracción con disolventes, la cementación, la manipulación electroquímica y biológica, la evaporación, la filtración y los procesos de membrana. Sin embargo, considerando la alta capacidad de adsorción e intercambio de algunos adsorbentes, se destacan las aplicaciones y logros de los procesos de adsorción e intercambio iónico (Nejadshafiee y Islami, 2019).

Por su parte, Kyzas et al., (2019) exteriorizan que la adsorción, ha demostrado ser un excelente método para el tratamiento de metales, ofreciendo importantes ventajas frente a los métodos convencionales como bajo coste, disponibilidad, rentabilidad, facilidad de uso y eficiencia, especialmente desde el punto de vista económico y medioambiental. Por lo cual Rahmani et al., (2020) indican que el carbón activado es el adsorbente más utilizado, con alta porosidad y área superficial específica, tiene alta capacidad de adsorción; elimina eficazmente los compuestos orgánicos y elimina los metales pesados

# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

## 3.1. UBICACIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se tomaron los residuos de bambú del área del cañaveral de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ubicada en el sitio Limón, del Cantón Bolívar, de la Provincia de Manabí, con una altitud de 15 msnm.

### MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

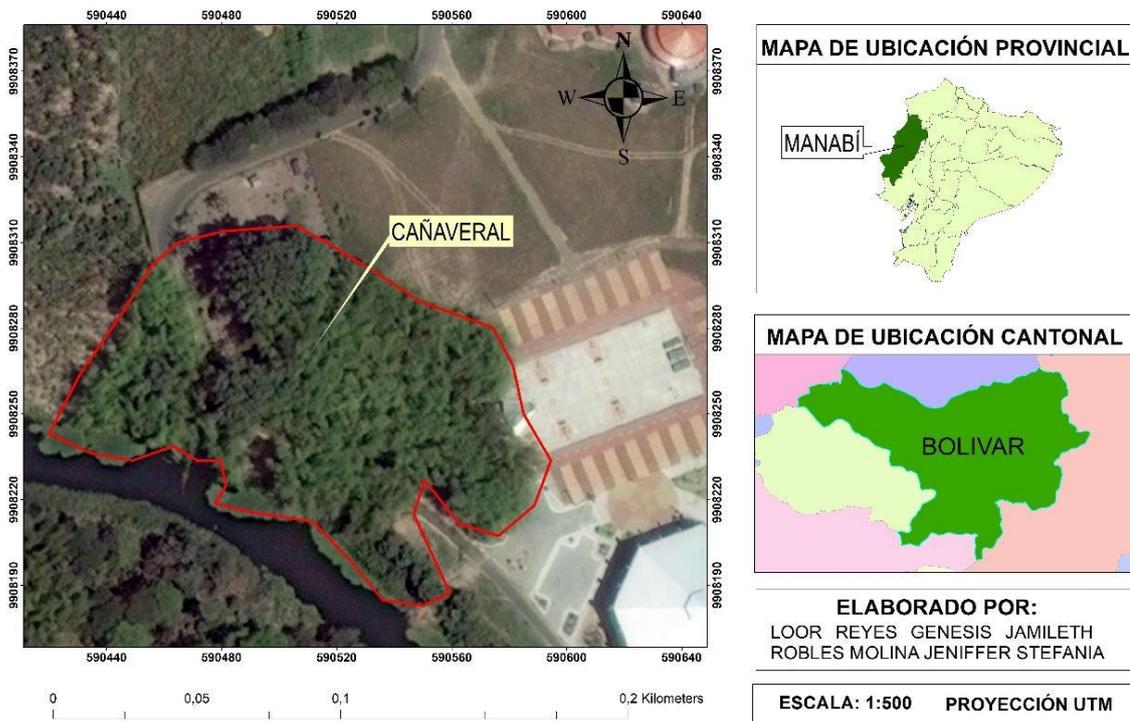


Figura 3.1. Delimitación del área de extracción de los residuos de bambú para elaboración de carbón activado.

Elaborado: Las Autoras.

## 3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

Este trabajo de investigación tuvo una duración de nueve meses, tiempo en que se efectuaron cada una de las actividades para evaluar la eficiencia del carbón activado procedente de residuos de bambú para remoción de contaminantes del agua.

### **3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación fue experimental debido a que se tomaron muestras del río carrizal que paso por el medio filtrante (carbón activado de residuos de bambú); y así determinar la remoción de contaminantes.

### **3.4. MÉTODOS**

Los métodos que fueron empleados en la presente investigación son:

#### **3.4.1. BIBLIOGRÁFICO**

De acuerdo con Reyes et al., (2020) este método se utiliza para la etapa de la investigación científica donde se explora la producción de la comunidad académica sobre el tema determinado. Dicho método se utilizó en la selección de métodos y técnicas científicas utilizadas en la ejecución del proyecto. Mediante este método se determinaron los aspectos basados en la información recopilada de diversas fuentes científicas bibliográficas del marco teórico y las expuestas en la metodología.

#### **3.4.2. EXPERIMENTAL**

Es un método científico para comprobar la veracidad de enunciados hipotéticos con ayuda del experimento (García et al., 2018). En el caso del presente proyecto mediante la elaboración del filtro y la utilización de CA a partir de residuos de bambú se comprobó la eficiencia de remoción de contaminantes o a su vez se evidenció si dichos tratamientos funcionaron.

### **3.5. TÉCNICAS**

#### **3.5.1. OBSERVACIÓN**

La técnica de observación permitió estudiar cada una de las unidades experimentales de carbón activado de residuos de bambú, y así establecer la más eficiente y las conclusiones finales.

### 3.6. DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.6.1. FACTOR EN ESTUDIO

Se evaluaron los siguientes factores:

- Cantidad (g) de carbón activado
- Diámetro del carbón activado
- Sistema de filtración rápida y forzada
- Tiempo de retención hidráulica.

#### 3.6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se desarrolló bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA), con la finalidad de conocer la cantidad de remoción de contaminantes en el agua, se realizó cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno, con un total de 12 unidades experimentales. Para comparar las medias de los tratamientos en estudio, se aplicó la Prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) de confiabilidad.

#### 3.6.3. TRATAMIENTOS Y UNIDADES EXPERIMENTAL

Se realizaron cuatro tratamientos, con tres repeticiones, de un total equivalente de 12 unidades experimentales.

Tabla 3.1. Distribución de las unidades experimentales por tratamiento

Nº tratamiento	Código	Tamaño del carbón activado (TC)	Unidades	Cantidad de carbón activado (g)	FITRACION
1	T <sub>1</sub>	850	µm	25	Rápida y Forzada
2	T <sub>2</sub>	1	mm	50	Rápida y Forzada
3	T <sub>3</sub>	1.4	mm	75	Rápida y Forzada
4	T <sub>4</sub>	1.7	mm	100	Rápida y forzada

### 3.7. VARIABLES EN ESTUDIO

#### 3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Carbón activado procedente de los residuos de bambú (*Bambusa vulgaris*)

### 3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Remoción de contaminantes del agua

- Turbidez
- Color
- pH
- Total, de sólidos disueltos (TDS)
- Temperatura
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Sulfato (SO<sub>4</sub>)
- Capacidad de adsorción
- Nitritos
- Nitratos
- Fosfato

Cabe indicar que para la remoción de contaminantes en el agua sus resultados fueron comparados con la tabla 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

**Tabla 3.2.** Matriz operacional de las variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DEFINICIONES OPERACIONALES	INSTRUMENTOS	MEDICIÓN
Remoción de contaminantes del agua	Cuantitativa	Rosales <i>et al.</i> (2018) mencionan que es el proceso de tratamientos por el que pasa el agua para eliminar cualquier tipo de contaminantes. De acuerdo con Guerrero <i>et al.</i> (2020) para poder lograr esto el recurso hídrico debe pasar por varias etapas para que pueda volver a ser utilizado.	Se realizaron análisis físico químicos de las muestras de agua. Las variables determinadas fueron: TDS, SST, Turbidez, Color, pH, Temperatura, Nitrato, PO <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , ver tabla 3.4, las mismas que fueron comparados con los límites máximos permisibles de la tabla 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.	Análisis físicos químicos del agua.	Unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DEFINICIONES OPERACIONALES	INSTRUMENTOS	MEDICIÓN
<b>Turbidez</b>	Cuantitativa	Propiedad óptica que provoca que la luz se disperse y absorba, en lugar de ser transmitida. A mayor turbidez, mayor será la luz dispersa (Xia et al., 2018).	La turbidez es la falta de transparencia, debida a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parece y el valor de turbidez es más alto (Delegado et al., 2019).	Turbidímetro Balanza analítica Horno Celdas de vidrio con tapa rosca. Balones aforados clase "A" de 50 mL, 100 mL y 200 mL Transfer pipeta. Espátula pequeña. Frasco de almacenamiento de estándar de color ámbar. Frasco lavador	-Unidades nefelométricas de turbidez (NTU). - °C - (UCV escala Pt/Co) - Miligramos por litro (mg/L)
<b>Temperatura</b>	Cuantitativa	La temperatura es una medida de la energía cinética media de las moléculas de agua. Se mide en una escala lineal de grados Centígrados o grados Fahrenheit ( et al., 2019).	Es la cantidad física de lo que se mide con un termómetro (Akpan et al., 2019).	Se utilizó Termómetro	°C
<b>Color</b>	Cuantitativa	Es uno de los parámetros organolépticos que indican la calidad del agua de consumo humano, está relacionado con las sustancias disueltas y las partículas en suspensión que contiene (Klevan et al., 2019).	El color en el agua se origina a raíz de compuestos disueltos en ella, que pueden ser tanto naturales como artificiales. La presencia de sólidos disueltos y suspendidos combinados contribuye al color aparente. La medición del color se realiza en unidades de Platino-Cobalto (PCU). La Asociación Americana del Agua (AWWA) recomienda que el nivel de color sea igual o menor a 15 PCU (Gavariiev y Savin, 2018).	Se utilizó un espectrofotómetro	En unidades de Platino-Cobalto (UCV escala Pt/Co)
<b>pH</b>	Cuantitativa	Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala del pH es logarítmica con valores de 0 a 14 (Zheng et al., 2019).	Es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua (Zheng et al., 2019).	Se utilizó el Potenciómetro	Unidades de pH
<b>Total de sólidos disueltos (TDS)</b>	Cuantitativa	Es la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltas en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua (Lugo et al., 2019).	Es una métrica de calidad de agua general importante que se refiere a todas las sustancias que se pueden filtrar orgánicas e inorgánicas encontradas en el agua (Galeano et al., 2019).	Crisoles gooch Filtros Kitasato Desecador Probeta de 100 ml Agua destilada Horno de secado (180 °C). Balanza de analítica Bomba de impulsión Muestra de agua problema	Miligramos por litro (mg/L)

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DEFINICIONES OPERACIONALES	INSTRUMENTOS	MEDICIÓN
<b>Sólidos suspendidos totales (SST)</b>	Cuantitativa	Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (Jiménez y Suarez, 2019).	El promedio del Total de Sólidos en Suspensión (SST) en el recurso hídrico corresponde a la suma de los valores del SST por punto de muestreo dividido por el número de puntos de muestreo (Díaz S. , 2018).	Se utilizó Crisoles gooch y filtros, Muestra de agua, Estufa (103-105°C), Probeta, agua destilada, balanza analítica, Kitasato Bomba de impulsión y desecador	Miligramos por litro (mg/L)
<b>Sulfato (SO<sub>4</sub>)</b>	Cuantitativa	Los sulfatos son una mezcla de oxígeno y azufre y son partes de las sustancias existentes en algunas formaciones de rocas y suelos que incorporan agua subterránea (Mercado et al., 2018).	El sulfato se encuentra en la gran mayoría de las fuentes naturales de agua. El método gravimétrico mediante precipitación con cloruro de bario, el cual es muy preciso y aplicable a concentraciones superiores a 10 mg/L (Fernández et al., 2018).	Se utilizó ácido clorhídrico, Cloruro de bario, fiola, embudo, papel filtro y balanza.	Miligramos por litro (mg/L)

### 3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se efectuaron dos tipos de análisis estadísticos en el programa Infostat:

- Análisis de la varianza de un factor (ANOVA)
- Prueba de Tukey

Además, se utilizó el software Microsoft Excel para la obtención de gráficos estadísticos.

### 3.9. PROCEDIMIENTOS

La presente investigación se desarrolló en base a los objetivos específicos propuestos:

#### 3.9.1. FASE I. OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DEL RESIDUO DE BAMBÚ (*Bambusa vulgaris*) PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.

Para la elaboración del carbón activado se establecieron las siguientes actividades:

## **ACTIVIDAD 1. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DE BAMBÚ EN LA ZONA DEL CAÑAVERAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA ESPAM “M.F.L”.**

La recolección de residuos de bambú se obtuvo del cañaveral de la Carrera de Ingeniería Ambiental perteneciente a la ESPAM “M.F.L”. El punto de recolección fue georreferenciado mediante GPS.

## **ACTIVIDAD 2. ELABORACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS DE BAMBÚ.**

Para la obtención del carbón activado se utilizó la metodología expuesta por García y Vivar (2021) en su proyecto.

A continuación, se presenta el procedimiento con el cual se consiguió el carbón activado:

- a. Se seleccionaron los residuos de bambú y se procedió a limpiar superficialmente, ya que normalmente contienen restos de tierra.
- b. Se procedió a cortar en dimensiones pequeñas entre 3 centímetros.
- c. Se dejó sumergido en agua caliente aproximadamente 3 horas para la eliminación de almidones y azúcares que contiene algunos residuos del bambú.
- d. Posteriormente, se preparó 50 ml de ácido ortofosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 85% por cada 50 gramos de residuos. Se mezclaron y se dejaron serenar durante 24 horas.
- e. Luego de cumplir con el tiempo de reposo (24 h), se efectuó el periodo de pirólisis (carbonización) en la mufla durante 30 minutos a 500 °C.
- f. Cumplido el tiempo de carbonización, se efectuó el proceso de lavado del carbón con agua destilada. Para la extracción de las cenizas producidas por la combustión del carbón se dejó secar al ambiente.

- g.** Una vez secado, se procedió a colocar el material en una molienda para luego ser tamizado y así conseguir las partículas de tamaño requerido
- h.** Una vez conseguidos los tamaños de carbón activado requeridos se procedió a lavar hasta llegar a un punto de que el carbón no manche, posteriormente se llevó a la estufa durante 3 h a 100°C para eliminar la humedad.

### **3.9.2. FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE A TRAVÉS DE DIFERENTES VOLÚMENES DE CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.**

#### **ACTIVIDAD 3. CONSTRUCCIÓN DE LOS FILTROS**

La construcción de los filtros se realizó utilizando tubos PVC, siguiendo los pasos de Bravo y Garzón (2017), los mismos que consistieron en dos sistemas: filtración rápida y filtración forzada:

**a. Filtro rápido:** El cuerpo del filtro estuvo constituido de tubo PVC. En su extremo superior, tuvo una tapa de forma circular con un conector en el centro, con el que se conectó un tubo PVC por el cual llegó el agua que fue tratada en el filtro. Dicha agua se encontró en un recipiente y se localizó en posición superior al cuerpo del filtro. El interior del cuerpo del filtro se encontró dividido transversalmente por una malla de contención, situada en la parte inferior donde se ubicó el material filtrante.

En su extremo inferior, el cuerpo del filtro, se ubicó otra tapa, igual a la de su extremo superior, que también contuvo un conector cilíndrico, que conecto el cuerpo del filtro con tubo PVC, por el cual salió del filtro el agua tratada y recogida en un recipiente.

A continuación, se muestran el esquema del filtro rápido:

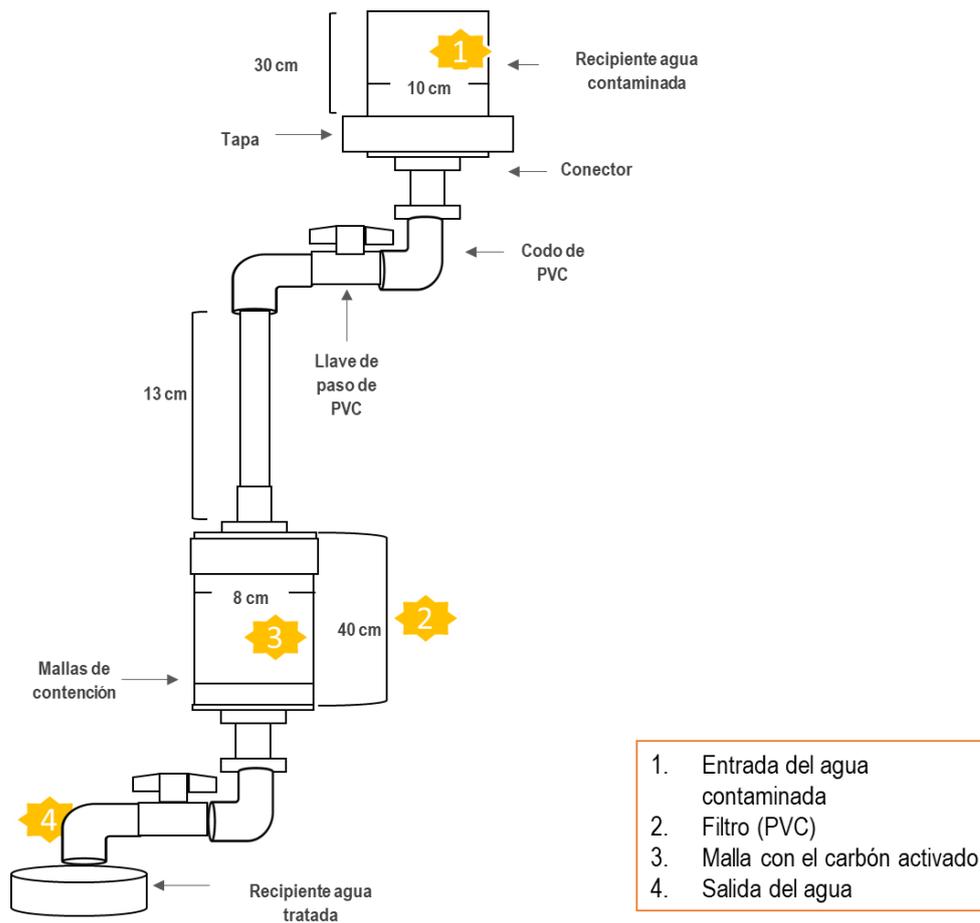


Figura 3.2. Esquema del filtro rápido.

*Fuente:* Los Autores

**b. Filtro forzado:** El cuerpo del filtro estuvo constituido de tubo PVC. En su extremo superior, tuvo una tapa de forma circular con un conector en el centro, con el que se conectó un tubo PVC por la cual llegó el agua que fue tratada en el filtro, dicha agua se encontró en un recipiente y se localizó en posición superior al cuerpo del filtro; y otro conector en el extremo de la tapa para conectar la bomba de impulsión, la cual tuvo como objetivo principal, aumentar de manera sustancial la velocidad de la filtración con respecto a la filtración rápida. El interior del cuerpo del filtro se encontró dividido transversalmente por una malla de contención, situada en la parte inferior donde se ubicó el material filtrante. En su extremo inferior, el cuerpo del filtro, tuvo otra tapa, igual a la de su extremo superior, que también contuvo un conector cilíndrico, que conectó el cuerpo del filtro con un tubo PVC, por el cual salió del filtro el agua tratada y recogida en un recipiente.

A continuación, se muestra el esquema del filtro forzado.

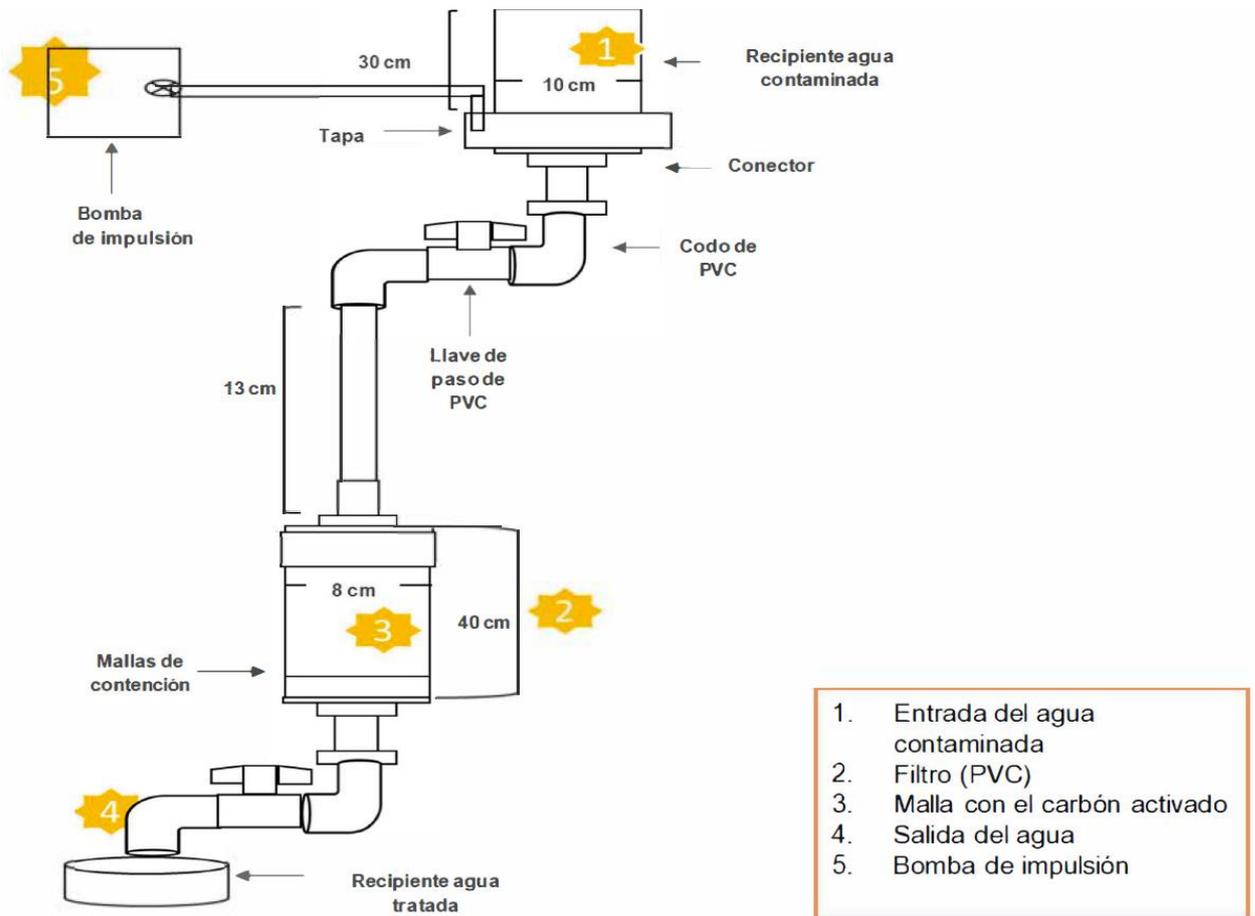


Figura 3.3. Esquema del filtro forzado.

*Fuente:* Los Autores

Es importante indicar que la materia prima del elemento filtrante en la presente investigación, fue el carbón activado procedente de residuos de bambú y todos los filtros tuvieron los mismos parámetros de diseño, para que no existieran alteraciones durante los tratamientos, lo único que cambió fue el tamaño del carbón activado dependiendo de cada tratamiento y el sistema de filtración.

#### ACTIVIDAD 4. APLICACIÓN DEL DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIO

El diseño consistió de cuatro tratamientos experimentales, con tres repeticiones cada uno. Como unidad experimental se utilizó los filtros elaborados en tubos PVC de 3 y 4 pulgadas con filtración rápida, de acuerdo con los parámetros de diseño mencionados en la actividad anterior, en donde se ubicaron los diferentes tamaños

de carbón activado procedente de residuos de bambú. En este mismo sistema se adaptó un mecanismo de bombeo para realizar la filtración forzada (figura 3.4).

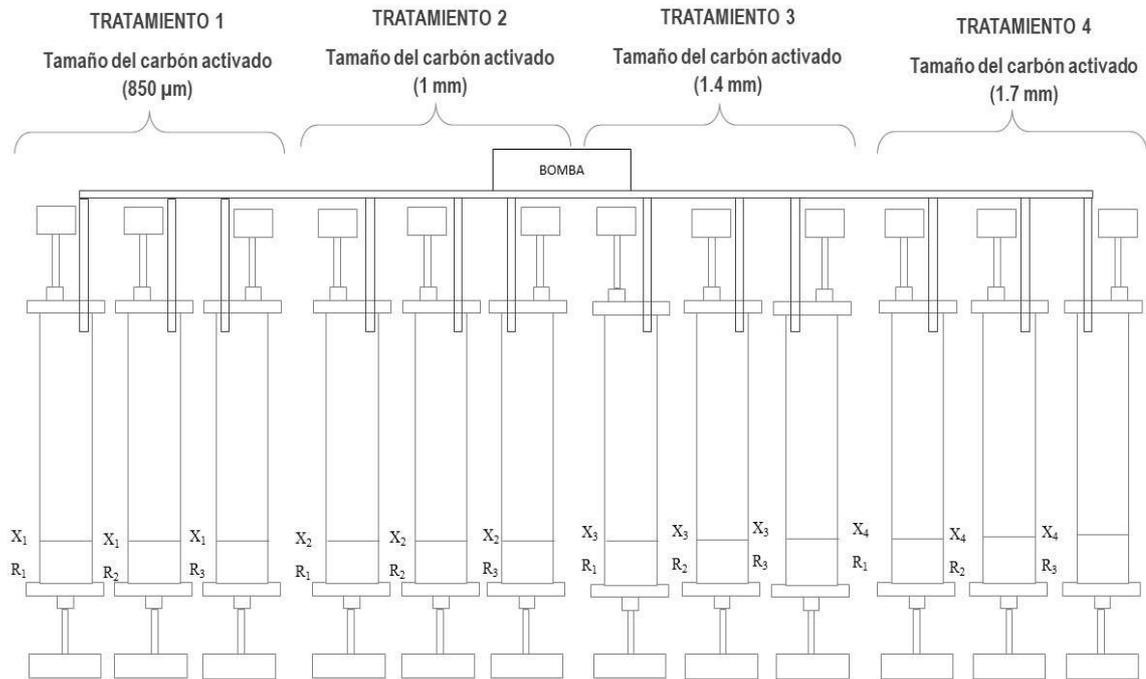


Figura 3.4. Diseño experimental para filtración forzada

*Fuente:* Los Autores

## ACTIVIDAD 5. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA PRE TRATAMIENTO.

Se efectuó un análisis a la muestra de agua de pre tratamiento, de acuerdo a los métodos normalizados en la INEN 2169:2014 (Tabla 3.3.), concerniente al agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. Los análisis se realizaron en el laboratorio de química ambiental y suelos del área agroindustrial de la ESPAM MFL y se efectuaron análisis de los parámetros descritos en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Parámetros de control

Indicadores	Unidades	Método
Total, de sólidos disueltos	mg/L	Gravimétrico
Sólidos suspendidos disueltos	mg/L	Gravimétrico
Turbidez	NTU	Nefelometría
Color	UCV escala Pt/Co	Espectrofotometría
pH	Unidades de pH	Potenciómetro
Temperatura	°C	Termómetro
Sulfato	mg/L	Gravimétrico
Capacidad de adsorción	Mg/g	Índice de azul de metileno

- **Sólidos totales disueltos**

Las muestras bien mezcladas se filtran a través de filtros estándar. Posteriormente, el filtrado se evapora hasta que se seque en un crisol pesado y secado a 180°C, el aumento de peso del crisol representa los sólidos totales disueltos (Souza et al., 2019). Por otra parte, Córdoba (2018) indica que para determinar los sólidos totales disueltos puede utilizarse el filtrado, a partir de la determinación de sólidos totales en suspensión.

**Procedimiento:**

- Colocar el filtro en el crisol Gooch, asegurándose de que la superficie rugosa quede hacia arriba.
- Generar el vacío y lavar el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada.
- Extraer el crisol Gooch del kitasato y someterlo a un proceso de secado en un horno precalentado a alrededor de 180 °C durante aproximadamente 60 minutos. Luego, lleve a cabo una desecación adicional durante 10 minutos. Finalmente, proceda a pesar del crisol una vez que esté completamente seco.
- Coloque el crisol Gooch en el kitasato y comience a aplicar la succión. Para acondicionar el filtro, agregue una pequeña cantidad de agua destilada
- Homogeneizar la muestra de agua medir un volumen de 100 ml de la misma, luego proceder a filtrarla utilizando un sistema de filtración al vacío.

- f) Lavar con tres porciones sucesivas de 10 ml de agua destilada, asegurándose de que el filtro se drene entre cada lavado, y continuar aplicando succión durante tres minutos después de completar el proceso de filtrado.
- g) Retirar el crisol Gooch del kitasato y someterlo a un proceso de secado en un horno a una temperatura de aproximadamente 180°C durante unos 60 minutos. Luego, realice una desecación adicional durante 10 minutos. Finalmente, a pesar del crisol una vez que esté completamente seco.

- **Sólidos suspendidos disueltos**

Los sólidos en suspensión se determinan por la diferencia de peso de un filtrado por el cual se hace pasar la muestra (Ochoa et al., 2020). Es decir, una muestra bien mezclada se filtra a través de un filtro estándar y el residuo retenido en él se seca hasta un peso constante de 103 a 105 °C (Palmero y Lías, 2018).

- **Turbidez**

El método de nefelometría se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia estándar en las mismas condiciones (Mercado et al., 2018). Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayor será la turbidez (Sierra et al., 2019).

**Procedimiento:**

- a) Calibrar el equipo siguiendo las instrucciones del Instructivo de Manejo del Turbidímetro.
- b) Espere hasta que las muestras alcancen la temperatura ambiente antes de llevar a cabo la lectura
- c) Agitar las muestras en sus recipientes para asegurar la homogeneidad de la suspensión.

- d) En una celda completamente limpia, agregue la muestra y realice tres (3) purgas utilizando la muestra que se desea analizar.
- e) Agitar la muestra y agréguela con precaución en la celda, evitando la formación de burbujas. Cubrir la celda y límpiela antes de tomar lecturas, asegurándose de que esté seca y libre de contaminantes externos.
- f) Coloque la celda que contiene la muestra en el portacelda, asegurándose de que la celda esté completamente en el fondo, y alinee la marca blanca en el caucho de la celda con la marca ubicada en la parte superior derecha del equipo antes de realizar la lectura.
- g) Esperar hasta que la lectura se estabilice y tomar nota del valor máximo alcanzado.
- h) Retirar la celda, desechar la muestra, enjuagar tres (3) veces con agua tipo destilada antes de realizar la siguiente lectura.
- i) Al finalizar el análisis, lavar la celda con agua de la llave y luego repetidas veces con agua destilada.

- **Color**

Los espectrofotómetros miden la luz reflejada o transmitida en todo el espectro y crea una curva visual que describe el color en ese sustrato, bajo esa condición de iluminación (Torres et al., 2019). Para la presente investigación, el color se evaluará utilizando un espectrofotómetro, un dispositivo que tiene la capacidad de proyectar un haz de luz a través de la muestra con una longitud de onda específica o una serie de longitudes de onda determinadas, y luego medir la cantidad de luz que la muestra absorber o transmitida. Los resultados obtenidos serán comparados con colores de referencia predefinidos (Trujillo y Cajigas, 2018).

- **pH**

El potenciómetro mide una diferencia de potencial eléctrico en milivoltios entre un electrodo de referencia (Brousett et al., 2021). Se utilizará este instrumento para

realizar el análisis de pH de las muestras de agua, donde se dejará 5 minutos para su correcta lectura.

- **Temperatura**

Con un termómetro flexible se midió la temperatura del agua. Para ello se situó 10 cm por debajo de la superficie durante 30 segundos. Una vez transcurrido ese tiempo, se registró el valor resultante.

- **Sulfatos**

Para la determinación de los sulfatos se utilizó el método gravimétrico mediante precipitación con cloruro de bario, método muy preciso y aplicable a concentraciones superiores a 10 mg/l (Mercado et al., 2018).

**Procedimiento:**

- a) Se introdujo 2,5 ml de agua de muestra en un tubo de ensayo (15-40°C)
- b) En la misma se agregó 2 gotas del reactivo  $SO_4 - 1$  (Añadir y mezclar)
- c) Luego se agregó 1 microcuchara verde rasa del reactivo  $SO_4 - 2$  (Añadir, cerrar el tubo y mezclar).
- d) Posteriormente, se calentó el tubo durante 5 minutos a 40°C en el baño de agua, agitando de vez en cuando.
- e) Culminado el tiempo se agregó con una pipeta 2,5 ml del reactivo  $SO_4 - 3$
- f) Seguidamente se filtró el contenido del tubo a través de un filtro redondo a un segundo tubo de ensayo con tapa roscada, filtrado.
- g) Así mismo, luego del filtrado se agregó al tubo filtrado 4 gotas del reactivo  $SO_4 - 4$ .
- h) Se procedió a calentar el tubo durante 7 minutos a 40°C en el baño de agua (tiempo de reacción B) agitando de vez en cuando. Luego se introdujo la muestra de medición en una cubeta de 10 mm y se midió en el fotómetro.

- **Capacidad de adsorción del carbón**

Se determinó la capacidad de adsorción por medio del índice de azul de metileno. La misma que consistió en realizar una serie de pasos que incluyeron la preparación de una solución de azul de metileno con una concentración de 1200 mg/L y luego se pesaron 0,1 g de cada muestra de carbón activado por separado y se colocaron en recipientes individuales, a cada uno de estos recipientes se les añadieron 25 mL de la solución de azul de metileno, lo que resultó en una mezcla de carbón activado con la solución de azul de metileno, cada muestra se agitó enérgicamente con el objetivo de observar una reducción en la intensidad del color azul en la mezcla, cuando se constató la ausencia de color azul en las mezclas, se agregaron 5 mL adicionales de la solución de azul de metileno a cada una y se agitaron nuevamente hasta que se notó una nueva decoloración, este proceso se repitió varias veces, agregando volúmenes específicos de la solución de azul de metileno a las mezclas hasta que ya no se observe más degradación (Cubillos, 2019).

Una vez en la mezcla obtenida se obtuvo un color azul tenue, se paró de agregar solución de azul de metileno. El índice de azul de metileno se determina por los mililitros consumidos por la solución de azul descolorida.

Para medir la capacidad de adsorción se utilizó la siguiente ecuación [3.1]:

$$I_{AM} = \frac{(C_f - C_i) * V}{W_c} \quad [3.1]$$

Donde:

$I_{AM}$  = índice de azul de metileno

$C_f$  = Absorbancia final (nm)

$C_i$  = Absorbancia inicial (nm)

$V$  = Volumen utilizado de azul de metileno

$W_c$  = Peso de la muestra de carbón

### **ACTIVIDAD 6. IMPLEMENTACIÓN DE LOS FILTROS.**

Una vez que se realizaron los análisis pre tratamientos del agua estudiada se procedió a poner en práctica la filtración de agua con el medio filtrante (carbón activado de residuos de bambú), de acuerdo a los diferentes tamaños de partículas y cantidad establecidas en la tabla 3.1. y de acuerdo a su sistema de filtración, con el fin de comparar con qué tratamiento es más eficiente para la remoción de contaminantes.

En primera instancia se efectuó el sistema de filtración rápida en donde cada filtro tuvo la misma cantidad de agua y se esperó hasta que toda el agua fuera filtrada. Posterior a ello se utilizó los mismos filtros modificando únicamente la implementación de la bomba de impulsión para realizar una filtración forzada. Una vez que se implementó el sistema de filtración se cambió el medio filtrante con uno nuevo para proceder a la filtración con la misma cantidad de agua que la anterior.

### **ACTIVIDAD 7. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA POST TRATAMIENTO.**

Al terminar el proceso de filtración de ambos sistemas, se procedió a realizar los respectivos análisis post tratamiento, de acuerdo a la metodología establecida en la actividad 5.

A su vez, una vez realizados los análisis y obtenidos los resultados, los mismos fueron comparados con la tabla 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, la cual se refiere a los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

### **ACTIVIDAD 8. CÁLCULO DE TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA**

Tilley et al., (2018) señalan que el tiempo de retención hidráulica (TRH) es el parámetro que más influye en el rendimiento del filtro. Para esta actividad se utilizó

la ecuación matemática recomendada por Calderón (2018), la cual está dada de la siguiente manera:

$$TRH = \frac{V(m^3)}{Q\left(\frac{m^3}{h}\right)} \quad [3.2]$$

Donde:

$TRH$ = Tiempo de retención hidráulica (h)

$V$ = Volumen del agua ( $m^3$ )

$Q$ = Caudal del agua ( $m^3/h$ )

El volumen de los filtros se obtendrá con la siguiente formula:

$$V = \pi * r^2 * h \quad [3.3]$$

Donde:

$V$ = Volumen ( $m^3$ )

$r^2$ = Diámetro del filtro (m)

$h$ = Altura del filtro (m)

Y el caudal, se obtendrá de la siguiente manera:

$$Q = \frac{V (m^3)}{\text{Tiempo estimado (h)}} \quad [3.4]$$

Donde:

$Q$ = Caudal del agua ( $m^3/h$ )

*Tiempo estimado*= 12 h – 48 h

### **ACTIVIDAD 9. CÁLCULO DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN**

Una vez obtenidos los resultados de los análisis se realizó el cálculo de eficiencia de remoción. Para ello, se utilizó la ecuación establecida por Méndez y Orejuela (2021) [3.5], y obtenidos los resultados se proyectaron mediante gráficos estadísticos.

$$E = \left( \frac{S_0 - S}{S_0} \right) * 100 \quad [3.5]$$

Dónde:

$E$ = Eficiencia de remoción (%)

$S_0$ = Parámetro inicial

$S$ = Parámetro final.

### **ACTIVIDAD 10. APLICACIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Calculado el porcentaje de remoción, se efectuaron los respectivos análisis estadísticos; los cuales fueron, análisis de varianza de un factor (ANOVA) y Prueba de Tukey, mediante gráficos estadísticos, estos se ejecutaron mediante el programa Infostat. Además, a través de un gráfico de barras se comparó los dos sistemas de filtración.

#### **3.9.3. FASE III. ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE**

### **ACTIVIDAD 11. DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL FILTRO MÁS EFICIENTE.**

Se determinó el costo del filtro más eficiente de acuerdo a un determinado tratamiento. En donde se tomó en consideración los gastos que se efectuaron en la elaboración del carbón activado y el sistema de filtración.

Para obtener el costo de producción, los autores se basaron en la ecuación establecida por Vinza (2012), la misma que indica que se debe tener en consideración tres factores primordiales, que son:

- Materia prima
- Mano de obra
- Gasto de producción

$$CP = (M_p + M_{od} + G_p) \quad [3.6]$$

Dónde:

$CP$ = Costo de producción

$M_p$ = Materia prima

$M_{od}$ = Mano de obra

$G_p$ = Gasto de producción

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. FASE I. OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DEL RESIDUO DE BAMBÚ (*Bambusa vulgaris*) PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA

Tabla 4.1. Medias de carbón activado obtenido del proceso de pirólisis

Fecha	Residuos de Bambú	Unidades	Carbón Activado	Ácido Ortofosfórico	Unidades	TEMPERATURA	TIEMPO
11/05/23	1800	G	1790 g	250	ml		
15/05/23	850	G	840 g	50	ml		
16/05/23	1650	G	1640 g	250	ml	500 °C	30 min
17/05/23	2400	G	2390g	250	ml		
29/05/23	465	G	455g	50	ml		
<b>Total</b>	<b>7165</b>	<b>G</b>	<b>7115g</b>	<b>850</b>	<b>ml</b>		

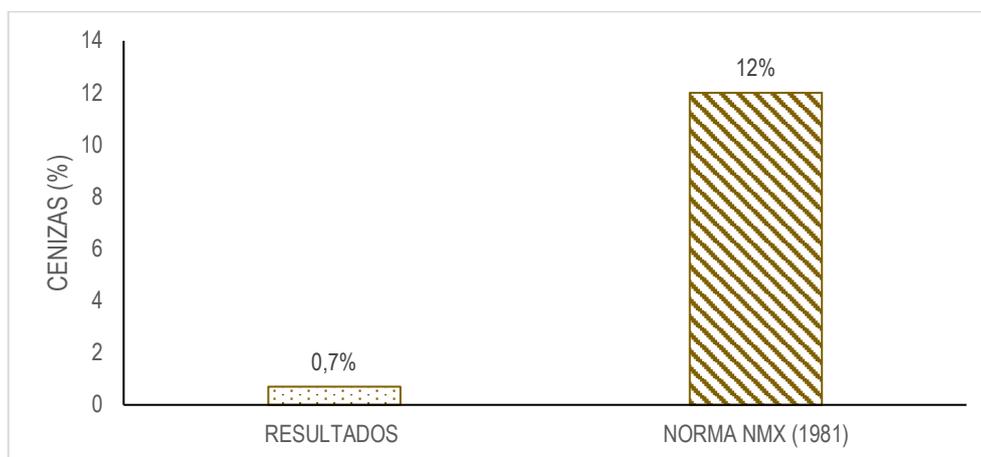
La tabla 4.1. identifica el total de residuos de bambú utilizados (7165 g), que fueron transformados a carbón activado a través de la degradación de la materia orgánica de bambú y utilización de 50 ml de ácido Ortofosfórico que resultó en 7115 g de carbón activo; el proceso térmico se desarrolló a 500°C por un tiempo de 30 min conforme lo realizó García y Vivas (2021) al obtener carbón activado de residuos de caña de Bambú (*Bambusa vulgaris*) indicando además, que el tiempo es proporcional a la concentración del agente químico y a su vez esta incide en el tamaño de carbonización de los poros.



Figura 4.1. Valoración de los residuos de bambú para la obtención de carbón activado

En la figura 4.1 se expresa la cantidad de carbón activado y material no aprovechable del proceso de pirólisis y activación; donde se encontró que el 99,3% de los residuos de bambú (*Bambusa Vulgaris*) se convirtió en carbón activado (grado de activación) y el restante (0,70%) se considera no aprovechable o cenizas.

Cubillos (2019) utilizó Bambú (*Bambusa Vulgaris*) para la obtención de carbón, donde encontró un valor de ceniza de 1,46% siendo mayor en comparación con los resultados de la presente investigación (0,70%).



**Figura 4.2.** Comparación de resultados con la normativa mexicana

Se demuestra en la figura 4.2. que el valor de cenizas es de 0,70% el cual fue comparado con la normativa mexicana NMX-F-287 de 1981; donde se establece que el porcentaje requerido de cenizas para carbones activados comerciales debe ser máximo de 12%. Orozco y Lira (2020) analizó el contenido de cenizas en residuos proveniente de la poda de caña de Bambú (*Guadua angustifolia*) encontrando un valor promedio de 8,2% siendo superior al valor encontrado en la caña de bambú utilizada; sin embargo, se destaca la importancia como precursor para producción de carbón.

#### **4.1. FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE A TRAVÉS DE DIFERENTES VOLÚMENES DE CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA.**

Previamente a la aplicación del carbón activado en los filtros de agua, se realizó el análisis de los parámetros determinantes de la calidad del agua para uso doméstico, para conocer los niveles iniciales de los parámetros y comparar los resultados con los obtenidos en la investigación:

Tabla 4.2. Indicadores de calidad de agua proveniente de río

ANÁLISIS INICIAL /Agua de Río Carrizal	Unidades	Límites Permisibles	Unidades	Normas
TURBIDEZ	19,69	NTU	100	NTU
TDS	180	mg/L	100	mg/L
pH	7,7		6-8	
T	23,1	°C		
DUREZA	150	mg/L	500	mg/L
COLOR	179	PT-CO	100	
SULFATO	60	mg/L	400	mg/L
NITRITO	2,27	mg/L	1,0	mg/L
NITRATO	25	mg/L	10,0	mg/L
FOSFATO	8,1	mg/L	0,5	mg/L
SST	164	mg/L	1000	mg/L
CAP. DE ABS.	121,41	mg/g		
CAP. DE ABS.		Por cada 5 g de CA		

En la tabla 4.2 el agua antes de filtrarse fue analizada, encontrando que: los parámetros de turbidez, pH, T, Dureza, Sulfato y SST, obtuvieron valores de 19,69 NTU; 23,1 °C; 150 mg/l; 60 mg/l y 164 mg/l respectivamente; mismos que se presentaron dentro de los límites permisibles que establece la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua (Libro VI Anexo 1).

Sin embargo, los parámetros de: Color obtuvo un valor de 179 PT-CO que excede de los 100 PT-CO que establece la normativa. Pauta et al., (2019) menciona que, al no existir una relación con los niveles bajos de turbiedad, puede ser indicar presencia de sustancias húmicas, que deben ser eliminadas de los procesos de potabilización debido a la facilidad de generar subproductos como trihalometanos o presentarse ácidos húmicos o fúlvicos.

Así mismo los sólidos disueltos totales (TDS) indicaron un nivel de 180 mg/l, los Nitritos fueron de 2,27 mg/l, los nitratos tuvieron un valor elevado de 25 mg/l y los fosfatos de igual manera su valor fue de 8,1 mg/l. Encontrar niveles elevados de nitritos, nitratos y fosfatos, son indicadores de la presencia de fuentes de contaminación por productos agrícolas, siendo el caso el río Carrizal que en sus cabeceras se destaca la agricultura como el principal componente económico. Lozano, (2019) argumenta que las concentraciones elevadas de nitritos y nitratos se debe a formas oxidadas del nitrógeno que generalmente se utiliza en la actividad

agrónoma, misma que por el movimiento del agua, llevan los componentes inorgánicos como el nitrato, presentes en los fertilizantes a los niveles más bajos.

Se obtuvo una capacidad de absorción de 121,41 mg/g que se considera elevado en comparación con los valores presentados por Chiclote (2018) que en el uso de carbón activado granular obtuvo una capacidad de absorción de 67,57 mg AM/g CAG al contrario, Guadamud (2022) obtuvo una capacidad de absorción de 158,45 mg/g en carbón activado de bagazo de caña de azúcar para la remoción de contaminantes.

Chiclote (2018) menciona que no existe mayor permutación en la capacidad de absorción de los componentes, más bien existe un incremento de la cinética al aplicar carbón activado de tipo pulverizado, que disminuye la longitud de los poros.

## **4.2. FASE II. DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE A TRAVÉS DE DIFERENTES VOLÚMENES DE CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA**

### **4.2.1. TIPOS DE FILTRACIÓN**

Se estudiaron los filtros que fueron aplicados para el estudio, encontrando los siguientes resultados:

**Tabla 4.3.** Análisis de varianza de los tipos de filtros utilizados en relación a los parámetros de respuesta

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
TURBIDEZ	112,19	1	112,19	29,66	<0,0001
TDS	2838,38	1	2838,38	14,63	0,0009
pH	5,19	1	5,19	95,11	<0,0001
DUREZA	5325,26	1	5325,26	8,52	0,008
COLOR	5104,17	1	5104,17	43,23	<0,0001
NITRITOS	2,22	1	2,22	12,31	0,002
NITRATOS	0,01	1	0,01	15,15	0,0008
FOSFATOS	0,67	1	0,67	2,42	0,134
SST	0,12	1	0,12	1091,55	<0,0001

En la tabla 4.3 se describen los valores de significancia de los parámetros analizados. Se deduce que, con excepción en los fosfatos, todos los parámetros presentan diferencia significativa en relación al tipo de filtro utilizado, es decir que

los filtros con método de filtración forzada (ver tabla 4.3), presentan mejores resultados. Por el contrario, los resultados de filtración rápida fueron más altos.

Con las investigaciones realizadas por López (2022) se define que la filtración por gravedad o filtración rápida utiliza un mecanismo que permite la separación de sólidos, mediante la retención, adhesión, asentamiento y atracción eliminando partículas con menor espacio intersticial. Sin embargo, Muñoz (2019) indica que la filtración rápida puede presentar problemas en la disminución de partículas de mayor tamaño, como resultado de la pérdida de carga e insuficiente penetración de los flóculos, permitiendo el paso de partículas finas suspendidas.

El comportamiento del carbón en los filtros de agua rápidos y forzados, se muestran en los siguientes gráficos:

#### 4.2.2. TURBIDEZ

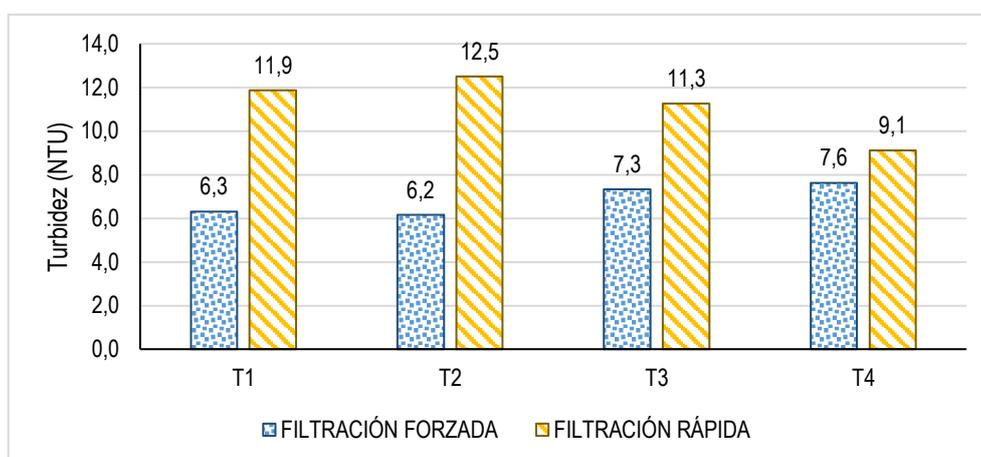


Figura 4.3. Medias de turbidez de la filtración forzada y rápida

A partir de la figura 4.3 se identifica que los niveles de turbidez de la filtración rápida, presentaron medias de 9,1 NTU en el tratamiento 4 y una media máxima en el T<sub>2</sub> con valores de 12,5 NTU; por el contrario, al efectuar una filtración forzada se obtuvieron medias más reducidas que van entre 6,2 NTU en el T<sub>2</sub> (TC 1 mm con 25 g) y 7,6 NTU en el T<sub>3</sub> (TC 1,4 mm con 75 g). Sin embargo, se realizó el análisis de varianza con los tipos de filtración: forzada y rápida, donde no se presenta diferencia significativa entre las medias (anexo 1).

Los datos de turbidez obtenidos 6,2 NTU ( $T_2$ ) con filtración forzada fueron comparados con los obtenidos por Portugal y Sosa (2023) que logró reducir la turbidez a 4,66 NTU con filtros de bagazo de caña.

### 4.2.3. PARÁMETRO DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDS)

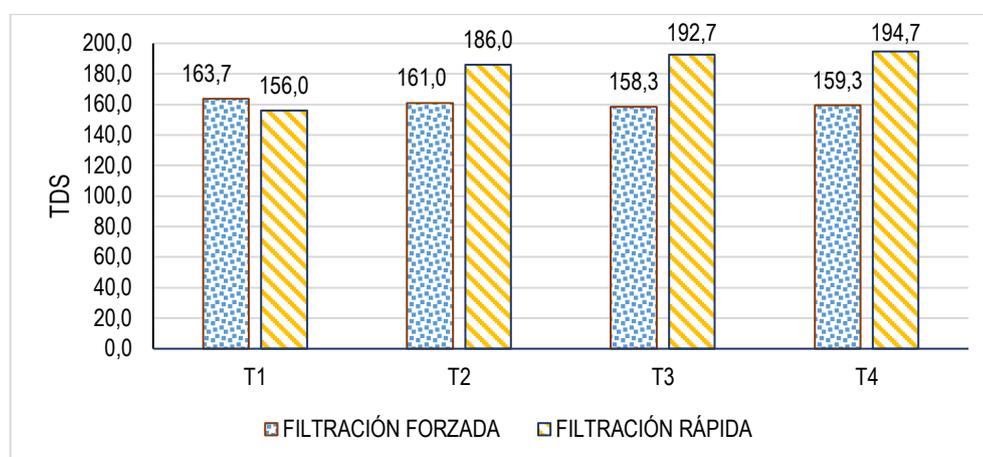


Figura 4.4. Medias de sólidos disueltos totales (TDS) de la filtración forzada y rápida

Con la Figura 4.4. se identifica que los niveles de TDS (Sólidos disueltos totales) se encuentran en un rango de 156 mg/l en el  $T_1$  (TC 0,85 mm\*25 g) de la filtración rápida y la media más alta en encuentra en el  $T_4$  (TC 1,4 mm\*100 g) con filtración rápida que presenta un valor de 194,7 mg/l. Datos que estadísticamente presentan diferencia significativa entre sus medias, destacando el  $T_1$  (TC 0,85 mm) de la filtración rápida y el  $T_3$  (TC 1,4 mm\* 75 g) en la filtración forzada con una media de 158,3 mg/l.

En el análisis de los sólidos disueltos totales, se encontró que los niveles fueron incrementados a partir de los valores iniciales (Ver tabla 4.2), consecuencia de los procesos de arrastre o desprendimiento de los sólidos presentes en el filtro de carbón activado que incrementó la presencia de sólidos disueltos (Portugal y Sosa, 2023), siendo mayor en la filtración rápida con el tratamiento  $T_4$  (TC 1,7 mm\*100 g) que puede estar relacionado al tamaño del carbón que permite mayor espacio entre los coloides.

#### 4.2.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

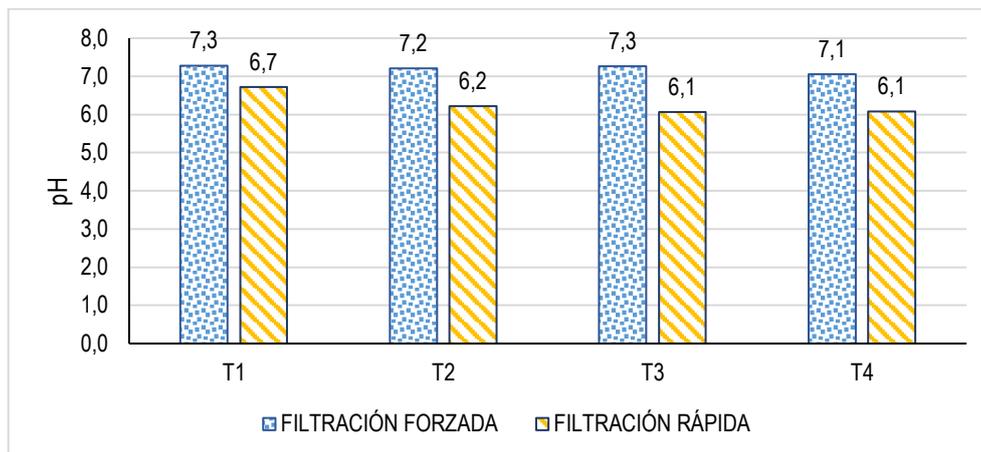


Figura 4.5. Medias de PH de la filtración forzada y rápida

El agua filtrada con las dos fórmulas, fueron analizadas y se encontró que el pH en la filtración forzada se mantuvo entre 7,1 (T<sub>4</sub>) y 7,3 (T<sub>1</sub>) y 7,3 (T<sub>3</sub>); por su parte en la filtración rápida, se identificaron medias de pH menor de 6,1 en T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>; y 6,7 en T<sub>1</sub> datos presentados en la figura 4.5. Estos valores se asemejan a los encontrados por Chicote (2018) quien mantuvo un pH en un rango de 6,5 a 8,5 utilizando filtros de carbón activado. Además, Peñaranda (2022) indica que la alteración del pH puede generar la transformación química del agua, dando lugar a la formación de compuestos indeseables. Sin embargo, Rodríguez et al., (2020) agrega que, al utilizar un compuesto ácido en la activación del carbón, no existe variación descendente en relación al pH inicial.

#### 4.2.5. DUREZA

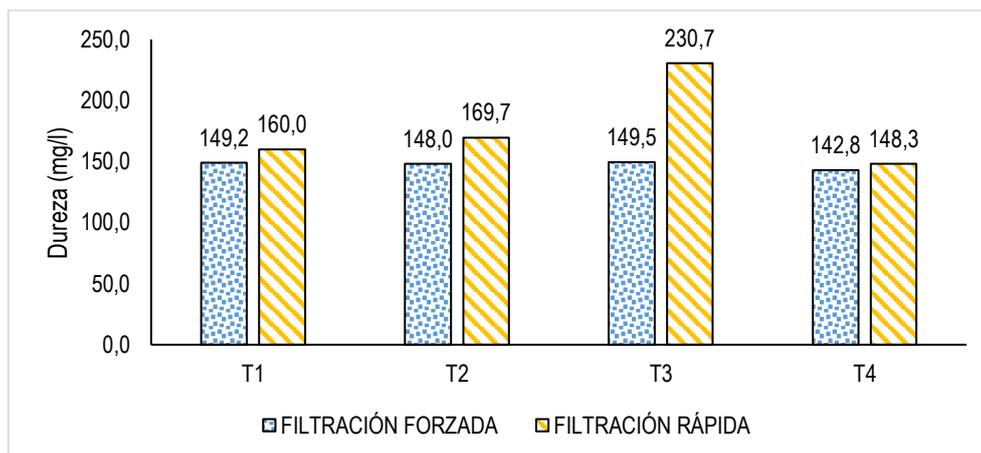


Figura 4.6. Medias de dureza de la filtración forzada y rápida

Se analizó el parámetro dureza ilustrada en la Figura 4.6 donde se indica que en la filtración forzada los valores de dureza fueron de 142,8 mg/l en T<sub>4</sub> (Tamaño de carbón de 1,7 mm\* 100 g), hasta 149,5 mg/l en T<sub>3</sub> (Tamaño de carbón de 1,4 mm\* 75 g). En la filtración rápida los resultados fueron mayores encontrándose en un rango de 160 mg/l en T<sub>1</sub> (Tamaño de carbón de 0,85 mm\* 25 g) y 230,7 mg/l en el T<sub>3</sub> (Tamaño de carbón de 1,4 mm y 75 g de peso).

#### 4.2.6. COLOR

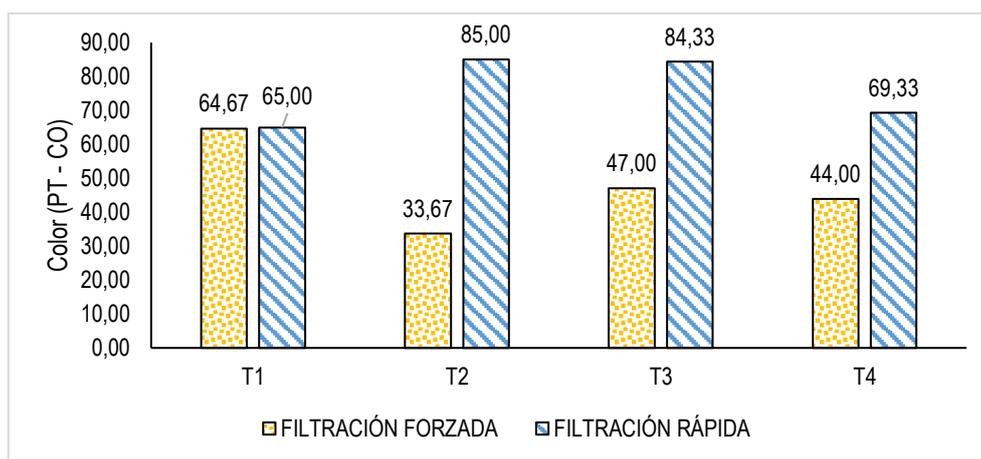


Figura 4.7. Medias del color de la filtración forzada y rápida

Se estudió el comportamiento de los filtros con relación al color, observando en la figura 4.7 que los niveles de color más reducidos fueron presentados en la filtración forzada con las condiciones del T<sub>2</sub> (TC 1 mm\* 50g) alcanzando un color de 33,67 PT-CO; al contrario, en la filtración rápida los niveles de color fueron superiores obteniendo niveles que llegan a 85,0 PF-CO.

Cuesta (2021) utilizó carbón activado proveniente de la caña de Bambú, donde alcanzó un nivel más reducido de color de 55 Pt-Co, incrementando el color a mayor tiempo de filtración; el autor argumenta que el incremento del color en los tratamientos con filtración rápida, se genera por el desprendimiento de partículas, a partir de la saturación del carbón y por ende la disminución de la remoción de color en el agua. Pauta et al., (2019) indica que, mediante el proceso de adsorción dado con carbón activado, donde las partículas se adhieren y reduce el nivel de color, siendo efectivo en la eliminación de ácidos húmicos, es decir para el tratamiento de los precursores de trihalometanos.

#### 4.2.7. SULFATO

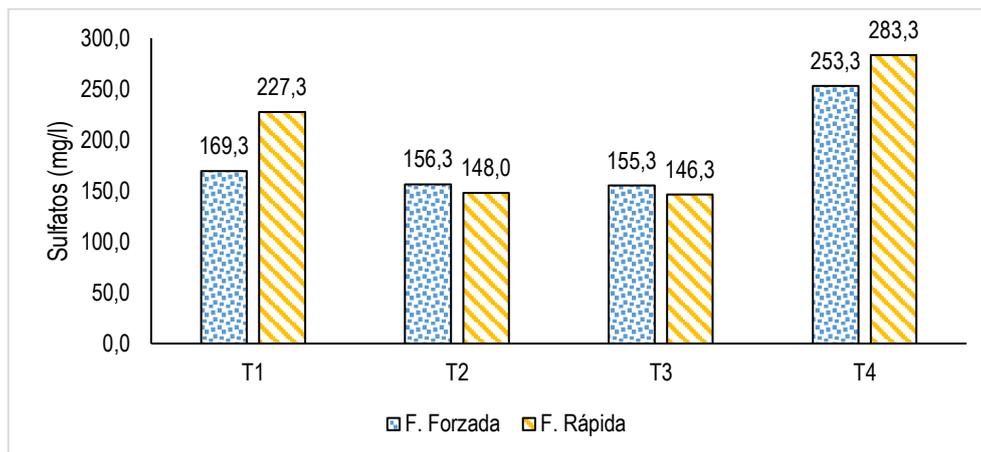


Figura 4.8. Medias del Sulfato de la filtración forzada y rápida

Con la figura 4.8 se analiza el comportamiento del sulfato en relación a la filtración forzada y rápida obteniendo que no existe variación entre los dos tipos de filtración donde refleja datos de sulfatos en la filtración forzada entre 155,3 en T<sub>3</sub> (Tamaño de carbón 1,4 mm) y 253,3 mg/l en T<sub>4</sub> (Tamaño de carbón de 1,7 mm). Por su parte, con la filtración rápida en T<sub>3</sub> obtuvo un valor de sulfatos más reducido de 146,3 mg/l y en T<sub>4</sub> la media fue de 283,3 mg/l. Los valores encontrados en la filtración forzada son menores a los obtenidos en filtros de carbón activado de cáscara de plátano que presentó un valor de 250 mg/l (Cárdenas y Flores, 2022).

#### 4.2.8. NITRITOS

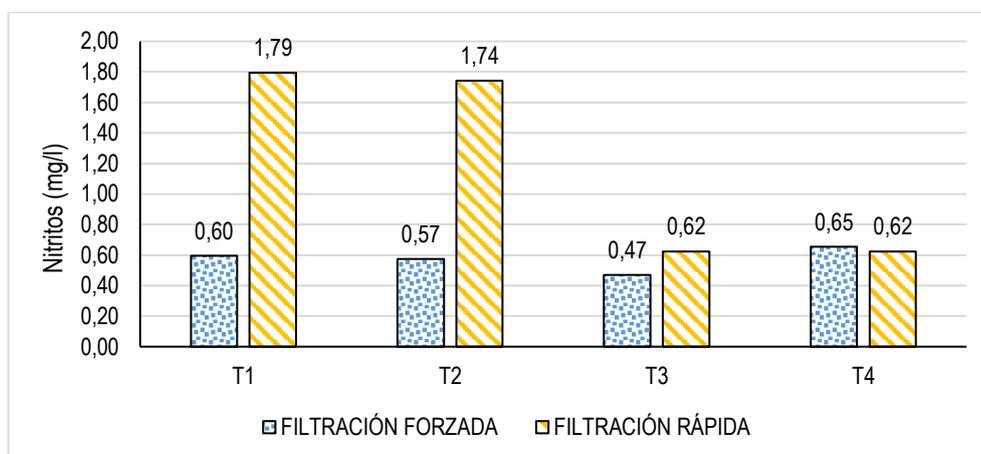


Figura 4.9. Medias de nitrito de la filtración forzada y rápida

El análisis de la figura 4.9. indica que la filtración rápida presenta valores más superiores de nitrito donde en el T<sub>1</sub> identificó una media de 1,79 mg/l y como más

reducido estuvo presente el T<sub>3</sub> con 0,62 mg/l. Sin embargo, en la filtración forzada los resultados fueron más bajos con medias entre 0,65 mg/l en el T<sub>4</sub> (TC 1,7 mm\*100 g) y en el T<sub>3</sub> (TC 1,4 mm\*75 g) con valores de 0,47 mg/l.

Lozano (2019) argumenta que la disminución de los niveles contaminantes de nitrito y nitrato, se da como consecuencia del uso de sacarosa en los biofiltros, que pueden llegar a la disminución de este contaminante.

#### 4.2.9. NITRATOS

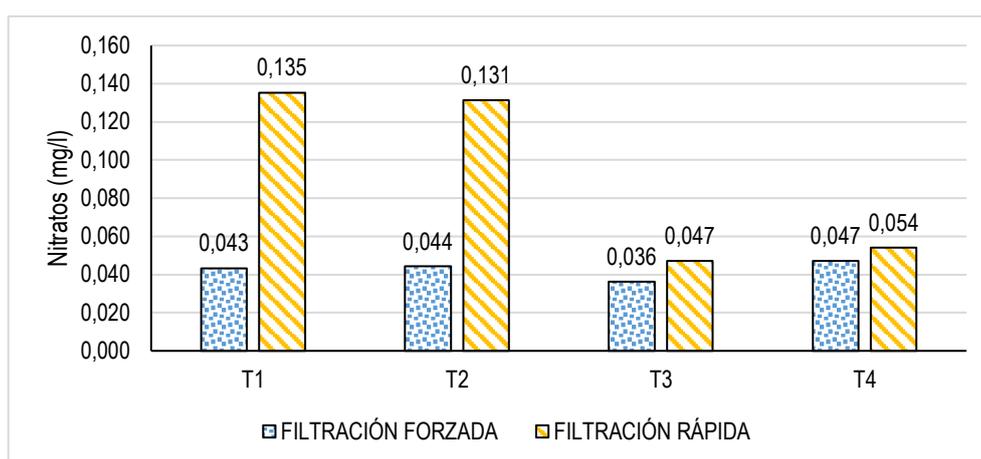


Figura 4.10. Medias de nitrato de la filtración forzada y rápida

Los nitratos son ilustrados en la figura 4.10 donde se identifica a la filtración rápida como aquella con medias más elevadas, es así que se muestra en el T<sub>1</sub> con un valor de 0,135 mg/l y el T<sub>3</sub> con una media de 0,04 mg/l. Por su parte en la filtración forzada el obtuvo resultados más bajos en T<sub>3</sub> (Tamaño de carbón 1,4 mm \* Cantidad de 75 g) con una media de 0,036 mg/l y un valor más alto en T<sub>4</sub> (TC 1,7 mm\*100 g) con una media de 0,054 mg/l.

#### 4.2.10. FOSFATO

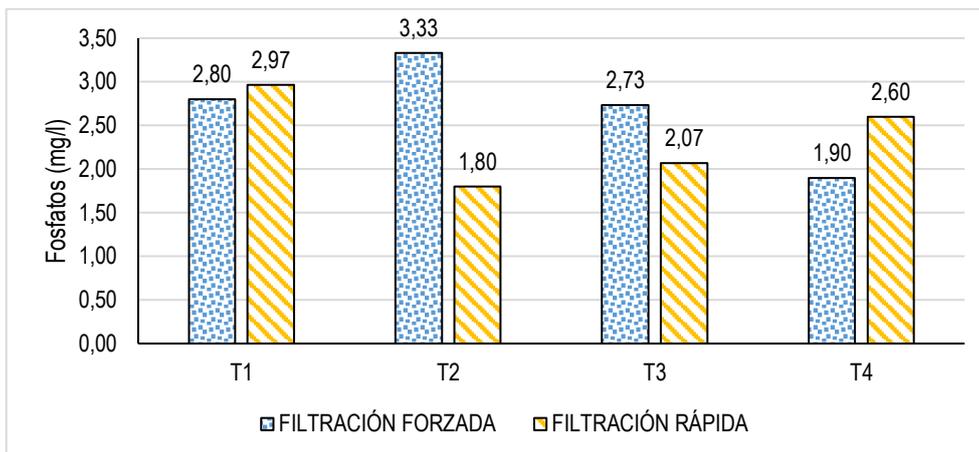


Figura 4.11. Valoración de fosfato de la filtración forzada y rápida

Con la figura 4.11. es posible visualizar el efecto de los filtros en los tratamientos aplicados; obteniendo que utilizando una filtración forzada los resultados fueron menos favorables, donde se obtuvo en el filtro con un tamaño de carbón de 1,0 mm (T<sub>2</sub>) un valor de 3,33 mg/l. Por su parte en la filtración rápida se obtuvo la mejor media en el T<sub>2</sub> (TC1,0 mm\* 50 g) con valores medios de 1,80 mg/l. Sin embargo, comparando los valores con la normativa ambiental, la aplicación de los tratamientos, no permitió cumplir con los niveles establecidos.

#### 4.2.11. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

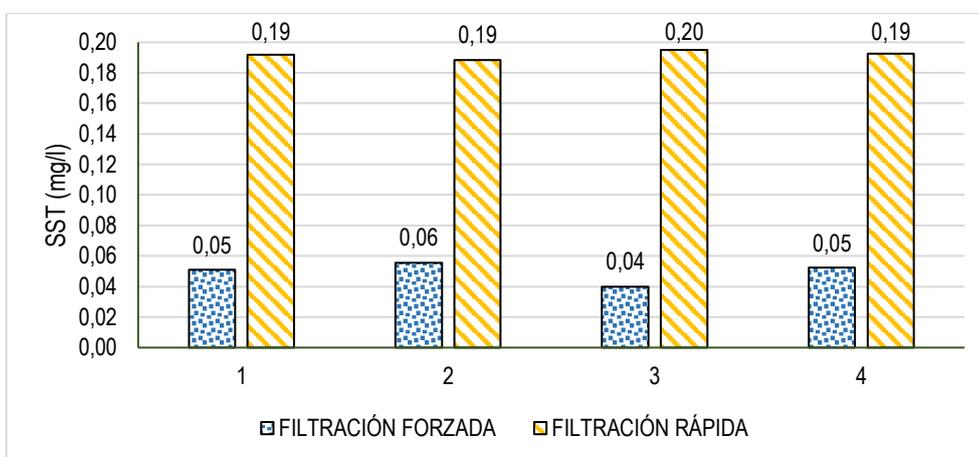


Figura 4.12. Valoración de SST de la filtración forzada y rápida

Uno de los parámetros analizados fueron los sólidos suspendidos totales, que presentaron una diferencia significativa entre los dos tipos de filtración (Anexo 3) donde la filtración rápida presenta medias de 0,19 a 0,20 mg/l; mientras en la

filtración forzada los resultados fueron más reducidos con medias de 0,06 mg/l en T<sub>2</sub> (TC 1 mm \* 50 g); 0,05 mg/l en el T<sub>1</sub> y T<sub>4</sub> y 0,04 mg/l en el T<sub>3</sub> (Tamaño de carbón de 1,4 mm). Estos resultados de filtración fueron más efectivos en comparación a los obtenidos por Pavón (2021) donde presentó un porcentaje de remoción de 37% (remoción de 0,1 mg/l) cuando utilizó fibras de bambú y yuca.

Los valores concuerdan con lo mencionado por Chiclote (2018) quien constriñe en la eficiencia de los filtros de carbón activado para la absorción de moléculas orgánicas, compuestos orgánicos volátiles, pesticidas. Además, se relaciona inversamente a la incidencia de cáncer, cardiopatías y otras enfermedades con tasas de mortalidad elevada, es decir que la aplicación de este filtro de carbón activado con filtración forzada es favorable en la eliminación de sólidos disueltos totales.

#### 4.2.12. EFICIENCIA DE REMOCIÓN

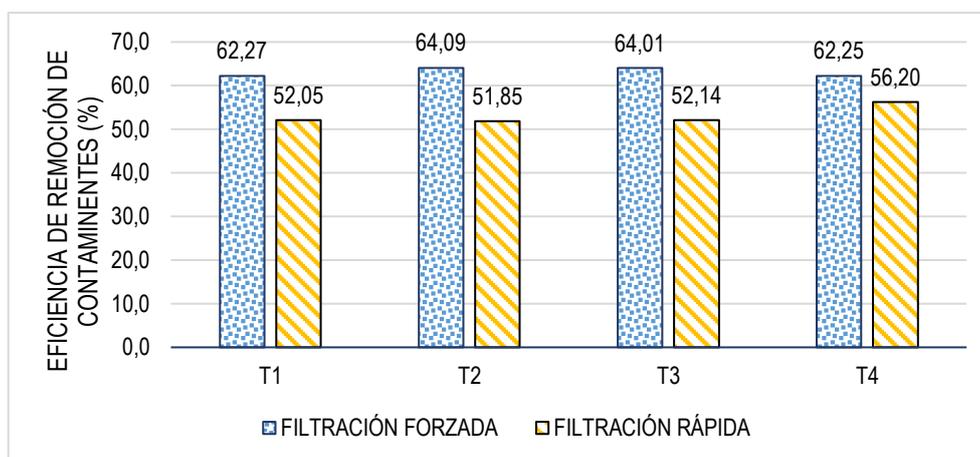


Figura 4.13. Eficiencia de remoción de los contaminantes de la calidad del agua

Las medias de los tratamientos, fueron convertidas para la obtención de del porcentaje de eficiencia de remoción, donde se consideró un promedio de todos los parámetros estudiados (Figura 4.13), resultando en una eficiencia mayor cuando se aplica una filtración forzada, donde los tratamientos presentan medias entre 62,25% en el T<sub>4</sub> y 64,09% en el T<sub>2</sub>; a diferencia de las medias obtenidas con la filtración rápida, donde las medias estuvieron entre 51,85% (T<sub>2</sub>) y 56,20% (T<sub>4</sub>).

Es decir que aplicar filtros con carbón a partir de los residuos de caña Bambú, posee un porcentaje de remoción elevado de 64,09% (T<sub>2</sub>:TC de 1,0 mm\* 50 g); lo cual se

sustenta con lo indicado por Préstiga et al., (2021) quien establece una relación de la capacidad de adsorción como consecuencia de la superficie de contacto del biocarbón y la capacidad de atracción electrostática, proceso químico que sucede al tener contacto con los contaminantes en forma iónica. En consecuencia, en este caso infirió el tamaño del carbón, obteniendo mejores porcentajes de remoción cuando la porosidad es mayor a uno. Considerando otro aspecto Gelvez (2019) agrega que el uso de carbón activado en los filtros, contienen propiedades capaces de adsorber y remover materiales tóxicos, sin embargo los materiales tradicionales, mantienen altos costos para su adquisición.

#### 4.2.13. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el proceso de análisis de varianza, se requirió establecer la prueba de normalidad de los valores, mediante el análisis de los residuos de las variables; lo cual resultó en que los valores obtenidos fueron mayor al nivel de significancia de 0,05 dando lugar a la normalidad de los datos (Ver anexo 2).

A partir de ello, se procedió a la interpretación del análisis de varianza:

**Tabla 4.4.** Resultados del análisis de varianza de los parámetros en relación a los tratamientos y filtros aplicados

PARÁMETRO	FV	F	P-valor
Turbidez	Filtración Forzada	1,87	0,21
	Filtración Rápida	0,99	0,44
TDS	Filtración Forzada	13,04	0,0019
	Filtración Rápida	5,89	0,02
pH	Filtración Forzada	1,39	0,32
	Filtración Rápida	33,47	0,0001
Dureza	Filtración Forzada	0,71	0,57
	Filtración Rápida	26,74	0,0002
Color	Filtración Forzada	38,59	0,00004
	Filtración Rápida	36,45	0,0001
Sulfatos	Filtración Forzada	173,89	0,0000
	Filtración Rápida	73,72	0,0001
Nitritos	Filtración Forzada	6,18	0,018
	Filtración Rápida	1574,73	0,0001
Nitratos	Filtración Forzada	4,14	0,048
	Filtración Rápida	321,89	0,0001

PARÁMETRO	FV	F	P-valor
Fosfatos	Filtración Forzada	30,79	0,0001
	Filtración Rápida	43,06	0,0001
SST	Filtración Forzada	0,62	0,62
	Filtración Rápida	0,98	0,45

En el análisis de varianza detallado en el anexo 3, se demuestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados para la disminución de los valores de turbidez y sólidos suspendidos totales (SST), es decir que entre los tratamientos no existe variabilidad de sus medias.

En el parámetro de los sólidos disueltos totales (TDS), sulfatos, nitritos y fosfatos, se observaron diferencias significativas en las medias entre los dos métodos de filtración. En consecuencia, uno de los tratamientos demostró una notable capacidad para reducir los niveles de contaminantes de TDS, sulfatos, nitritos y fosfatos. Estas reducciones resultaron estadísticamente significativas en todos los parámetros, lo que respalda la eficacia del tratamiento en la mejora de la calidad del agua.

Los hallazgos de este estudio concuerdan con investigaciones previas que destacan la eficacia de la microfiltración en la reducción de contaminantes del agua. Por ejemplo, un estudio realizado en México reportó reducciones del 90% en TDS, 80% en sulfatos, 70% en nitritos y 60% en fosfatos mediante microfiltración (Acosta et al., 2022). Esto sugiere que este enfoque puede aplicarse en diversas situaciones, como el tratamiento de aguas residuales, aguas industriales y suministro de agua potable.

En lo que respecta al pH y la dureza, los tratamientos bajo filtración forzada no exhibieron diferencias significativas en las medias, lo que indica que son estadísticamente similares en su efectividad. Para Akinbile et al., (2023) esto se debe a que la filtración forzada es un proceso físico que se apoya en la gravedad para conducir el agua a través del medio filtrante, sin desencadenar reacciones químicas. Estos resultados son consistentes con los hallazgos previos de otros autores. Santana et al., (2018) demostró que la filtración forzada es eficaz en la

eliminación de partículas contaminantes, aunque no resulta efectiva en la eliminación de contaminantes químicos.

En contraste, en el caso de la filtración rápida, se observaron diferencias significativas en los niveles de pH y dureza entre los tratamientos, y un tratamiento se destacó como el más óptimo según la prueba de Tukey. La filtración rápida se basa en procesos químicos que involucran reacciones entre los contaminantes y los componentes del medio filtrante. Un estudio realizado por Ijaola y Sangodoyin (2021) respalda estos resultados al señalar que la filtración rápida es eficaz en la eliminación de partículas en suspensión, pero puede influir significativamente en el pH y la dureza del agua.

En cuanto al color, se observaron diferencias significativas en la filtración forzada, identificando un tratamiento como el más eficiente. Sin embargo, en la filtración rápida, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Akinbile et al., (2022), que respalda la idea de que la filtración forzada es más eficaz que la filtración rápida en la eliminación de partículas de color debido a su capacidad para eliminar partículas más pequeñas mediante la aplicación de presión.

En relación a la remoción de nitratos en la filtración forzada, se ha determinado que es incidente en un alto porcentaje de remoción en el agua, logrando un porcentaje de 99,9%, esto como resultado de las capacidades demostradas del carbón activado para la eliminación de herbicidas, el cual tiene como componente principal la presencia de nitratos que según Campoverde y Mera (2023) pueden reducir los niveles en un 50 a 70%.

En resumen, se obtuvo una remoción mayor en los tratamientos aplicados con filtración forzada, donde se destaca la eliminación de los contaminantes en los parámetros de Turbidez, color, sulfatos, nitratos y sst. Resultados que concuerdan con lo expuesto por Segovia et al., (2018) quien menciona que la filtración rápida, se utiliza en la remoción de hierro y manganeso, sin embargo, destacan los filtros forzados como los más apropiados en la remoción de contaminantes.

A continuación, se presentan las pruebas de Tukey aplicadas en las variables que presentan significancia y lograr definir el mejor tratamiento:

**Tabla 4.5.** Prueba de Tukey del parámetro Sólidos disueltos totales

TRATAMIENTOS	MEDIAS		E.E	GRUPO 1	GRUPO 2
<b>FILTRACIÓN FORZADA</b>					
T <sub>3</sub>	158,33	3	0,65	A	
T <sub>4</sub>	159,33	3	0,65	A	
T <sub>2</sub>	161	3	0,65	A	B
T <sub>1</sub>	163,67	3	0,65		B

La tabla 4.5. permite definir que el tratamiento que más reduce el nivel de sólidos disueltos totales, es el T<sub>3</sub> (Tamaño de carbón de 1,4 mm), logrando disminuir el contaminante a 158,33 mg/l. Sin embargo, estos valores son similares a los encontrados en el agua cruda (180 mg/l), que según autores como Campoverde y Mera (2023) indica que se debe a la baja eficiencia que tiene el carbón activado en la remoción de TDS.

**Tabla 4.6.** Prueba de Tukey del parámetro Color

TRATAMIENTOS	MEDIAS		E.E	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
<b>FILTRACIÓN FORZADA</b>						
T <sub>2</sub>	33,67	3	2,07	A		
T <sub>4</sub>	44	3	2,07		B	
T <sub>3</sub>	47	3	2,07		B	
T <sub>1</sub>	64,67	3	2,07			C

Analizando los tratamientos aplicados para la disminución del nivel de color, se obtuvo que el T<sub>2</sub> (TC 1 mm\* 50 g) presentó una media de 33,67 PT-CO.

Ortiz (2019) indica que el carbón a base de bambú, así como otras especies similares, contienen una cantidad elevada de microporos y una gran área superficial, aún mayor al carbón de leña; que facilita la extracción de amoníaco, metales, así como el color del agua. Rodríguez et al., (2020) agrega que generalmente un carbón activado pulverizado, es empleado como decolorante, debido a la falta de estructura definida.

**Tabla 4.7.** Prueba de Tukey del parámetro Sulfatos

TRATAMIENTOS	MEDIAS		E.E	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
<b>FILTRACIÓN FORZADAS</b>						
T <sub>3</sub>	155,33	3	2,82	A		
T <sub>2</sub>	156,33	3	2,82	A		
T <sub>1</sub>	169,33	3	2,82		B	
T <sub>4</sub>	253,33	3	2,82			C

En el análisis de sulfatos, la filtración forzada y rápida obtuvieron las mejores medias con las condiciones del T<sub>3</sub> (TC 1,4 mm\* 75 g). No obstante, al analizar las medias de la filtración forzada se obtuvo en T<sub>3</sub> 155,33 mg/l. Ortiz (2019) argumenta que el incremento de la adsorción de compuestos, se debe al volumen de los poros, siendo mayor la adsorción cuando los poros del medio granular son mayores T<sub>4</sub> (0,85 mm \* 25 g), esto como resultado de los intersticios del lecho.

**Tabla 4.8.** Prueba de Tukey del parámetro nitritos

TRATAMIENTOS	MEDIAS		E.E	GRUPO 1	GRUPO 2
<b>FILTRACIÓN FORZADA</b>					
T <sub>3</sub>	0,47	3	0,03	A	
T <sub>2</sub>	0,57	3	0,03	A	B
T <sub>1</sub>	0,6	3	0,03	A	B
T <sub>4</sub>	0,65	3	0,03		B

En la prueba aplicada para los tratamientos con filtración forzada reflejados en la tabla 4.8 se destacó como mejor tratamiento al T<sub>3</sub> (TC 1,4 mm\* 75 g) con una media de 0,47 mg/l. Presentando un porcentaje de remoción de 79,3%, que según Del Campo (2018) en su proceso de filtración, alcanzó una remoción de hasta 75% de contaminante siendo similar a la obtenida mediante la filtración forzada.

**Tabla 4.9.** Prueba de Tukey del parámetro nitratos

TRATAMIENTOS	MEDIAS		E.E	GRUPO 1	GRUPO 2
<b>FILTRACIÓN FORZADA</b>					
T <sub>3</sub>	0,04	3	0	A	
T <sub>1</sub>	0,04	3	0	A	B
T <sub>2</sub>	0,04	3	0	A	B
T <sub>4</sub>	0,05	3	0		B

En los nitratos, se obtuvo una media de 0,04 en el tratamiento T<sub>3</sub> (TC 1,4 mm \* 75 g), obteniendo los mejores resultados. Ortiz (2019) menciona que al utilizar un carbón más granulo, se facilita el proceso de adherencia entre las partículas que son transportadas y los gránulos del carbón, como resultado de los fenómenos producidos por las fuerzas eléctricas y de Van Der Walls.

**Tabla 4.10.** Prueba de Tukey del parámetro fosfatos

TRATAMIENTOS	MEDIAS		E.E	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
<b>FILTRACIÓN FORZADA</b>						
T <sub>4</sub>	1,9	3	0,11	A		
T <sub>3</sub>	2,73	3	0,11		B	
T <sub>1</sub>	2,8	3	0,11		B	

T <sub>2</sub>	3,33	3	0,11	C
----------------	------	---	------	---

Dentro del estudio de los tratamientos con filtración forzada, se obtuvo una media más baja en la aplicación de las condiciones del carbón con un tamaño de 1,7 mm en una proporción de 100 g (T<sub>4</sub>).

En resumen, con la aplicación de la prueba de Tukey, se puede definir que el tratamiento T<sub>3</sub> presentó los mejores resultados en la mayor parte de los parámetros considerados con un tamaño del carbón de 1,4 mm y una proporción de 100 g.

#### 4.3. ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE

Para la elaboración del análisis económico, se requirió de la descripción de costos de materia prima, costos de mano de obra y gastos de producción, según la figura (4.13) el T<sub>2</sub> con el método de filtración forzada es el más eficiente en la remoción de contaminantes con un porcentaje 64,09% ; así mismo, la tabla especifica que con la filtración rápida el mejor tratamiento es el T<sub>4</sub> por lo cual los costos de consumos a necesitar se describen a continuación:

**Tabla 4.11.** Detalle del consumo de recursos para la elaboración del carbón activado procedente de residuos de caña

PROCESO	ACTIVIDAD	MEDIDA	CANT.	INSUMOS	COSTOS
OBTENCIÓN DE LA CAÑA	Recolección de los residuos de cañas	lb	70	Residuos de caña	\$ 0,00
	Traslados al lugar de elaboración	-	-	-	\$ 0,50
	Acondicionamiento de la materia prima	-	-	-	\$ 0,00
CONVERSIÓN A CARBÓN ACTIVADO	Adicionar ácido orto fosfórico	ml	850 ml	Ácido ortofosfatos	\$ 8,18
	Ejecutar el proceso de pirólisis				\$ 0,50
	Limpiar el carbón activado	litros	4	Agua destilada	\$ 0,50
<b>TOTAL</b>	<b>\$0,07/50 g</b>	<b>\$0,14/100 g</b>			<b>\$ 9,68 /7115 g</b>

Con el análisis del consumo de productos para la elaboración del carbón presentados en la tabla 4.11 se determinó que, en la elaboración de 7115 g de carbón activado, se requieren de \$9,68. López y Hernández (2021) mencionan que, en la aplicación de carbón de residuos los costos de producción del carbón pueden ser de \$416,00 por cada tonelada de carbón proveniente de residuos orgánicos equivalentes a \$2,94 que en comparación a la cantidad resultante en esta investigación son valores más reducidos. Sin embargo, el precio obtenido por los

autores procede de una producción de carbón a gran escala, donde los costos de mano de obra y costos indirectos se reducen. Es así que, Assureira y Assureira (2021) agregan la importancia del uso de subproductos en los costos de operación, como es el caso del carbón de hojas de caña de azúcar, puesto que reducen los costos totales.

**Tabla 4.12.** Costos de materia prima de la elaboración de los filtros forzados

<b>FILTRACIÓN FORZADA</b>			
<b>Cant.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>V.UNITARIO</b>	<b>V.TOTAL</b>
50	Carbón activado	0,0014	0,07
48	Codos de ½ in	0,60	28,80
48	Hilo perdido	0,40	19,20
2	Tubo de 3 in	5,70	11,40
24	Válvula esférica de ½ in	0,95	22,80
2	Teflón	1,00	2,00
1	Tubo roscable de ½ in	6,95	6,95
12	Tapas hembras de 4 ½ in	1,35	16,20
1	Tubo de 4 in	7,90	7,90
24	Acople tanque de ½ in	1,25	30,0
1	Pega tanque	3,50	3,50
1	Metro malla	1,70	1,70
24	Hilo perdido	0,40	9,60
1	Teflón	1,00	1,00
24	Tapas de 3 in	1,05	25,20
12	Acople tanque de ½ in	1,25	15,00
15	Tee de ½ in	0,60	9,00
2	Codos de ½ in	0,60	1,20
12	Unión pegable de ½ in	0,60	7,20
1	Bomba de impulsión	80,00	80,00
		<b>TOTAL</b>	<b>298,65</b>

La tabla **4.12** desglosa el costo total de construcción del filtro forzados incluyendo el costo del carbón activado de bambú utilizado en la investigación, el cual asciende a 298,65\$. Es importante destacar que, en la producción del carbón activado de bambú, se utilizó los residuos procedentes del bambú disponible en el cañaveral de la ESPAM MFL, por lo cual es necesario resaltar que la materia prima, no tuvo un valor económico considerable.

En la elaboración y construcción de los filtros se obtuvo un mayor costo en los codos e hilos perdidos de ½, los cuales se utilizaron para realizar las conexiones, pega tanque que fue necesario para la construcción y la permeabilidad; considerando

que para la filtración forzada fue necesaria adaptar al sistema una bomba de impulsión, la misma que tuvo un valor económico de 80\$.

**Tabla 4.13.** Costos de materia prima de la elaboración de los filtros rápidos

<b>FILTRACIÓN RÁPIDA</b>			
<b>Cant.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>V.UNITARIO</b>	<b>V.TOTAL</b>
100	Carbón activado	0,0014	0,14
48	Codos de ½ in	0,60	28,80
48	Hilo perdido	0,40	19,20
2	Tubo de 3 in	5,70	11,40
24	Válvula esférica de ½ in	0,95	22,80
2	Teflón	1,00	2,00
1	Tubo roscable de ½ in	6,95	6,95
12	Tapas hembras de 4 ½ in	1,35	16,20
1	Tubo de 4 in	7,90	7,90
24	Acople tanque de ½ in	1,25	30,0
1	Pega tanque	3,50	3,50
1	Metro malla	1,70	1,70
24	Hilo perdido	0,40	9,60
1	Teflón	1,00	1,00
24	Tapas de 3 in	1,05	25,20
12	Acople tanque de ½ in	1,25	15,00
15	Tee de ½ in	0,60	9,00
2	Codos de ½ in	0,60	1,20
12	Unión pegable ½	0,60	7,20
<b>TOTAL</b>			<b>218,79</b>

La tabla 4.13 desglosa el costo total de construcción del filtro forzado incluyendo el costo del carbón activado de bambú utilizado en la investigación, el cual asciende a 218,79\$. Es importante destacar que, en la producción del carbón activado de bambú, se utilizó los residuos procedentes del bambú disponible en el cañaveral de la ESPAM MFL, por lo cual es necesario resaltar que la materia prima, no tuvo un valor económico considerable.

**Tabla 4.14.** Costos de mano de obra de la elaboración de los filtros forzada

<b>MANO DE OBRA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>HORA DE TRABAJO</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
		<b>h</b>	<b>\$/h</b>	<b>\$</b>
<b>Técnico</b>	1	42,5	4,22	179,30
<b>Obrero</b>	1	20	2,81	56,25
			<b>TOTAL</b>	<b>235,55</b>

**Fuente:** Ministerio del trabajo, 2023

**Tabla 4.15.** Costos de mano de obra de la elaboración de los filtros rápidos

MANO DE OBRA	CANTIDAD	HORA DE TRABAJO h	VALOR UNITARIO \$/h	VALOR TOTAL \$
Técnico	1	42,5	4,22	179,30
Obrero	1	16	2,81	45,00
			<b>TOTAL</b>	<b>224,30</b>

**Fuente:** Ministerio del trabajo, 2023

La tabla 4.14. y 4.15 detallan los rubros de trabajo asociados a los diversos niveles de habilidades requeridos tanto en la producción de carbón como en la fabricación del filtro, tomando en cuenta las tarifas salariales establecidas por el Ministerio del Trabajo.

**Tabla 4.16.** Gastos energéticos en la elaboración de los filtros

GASTO DE PRODUCCIÓN	CANTIDAD kW/h	HORA DE CONSUMO h	VALOR UNITARIO \$/h	VALOR TOTAL \$
COSTO ELÉCTRICO	0,10	12	0,10	1,2
			<b>TOTAL</b>	<b>1,2</b>

**Fuente:** CNEL, 2023

La tabla 4.16 indica los gastos energéticos requeridos en la elaboración del carbón proveniente de los residuos del bambú y en la construcción de filtro, especificando el consumo de energía eléctrica en kw/h requeridos para dicha actividad.

**Tabla 4.17.** Gastos de producción de la elaboración de los filtros

GASTO DE PRODUCCIÓN	FILTROS FORZADOS (T <sub>2</sub> ) \$	FILTROS RÁPIDOS (T <sub>4</sub> ) \$
Costos de materia prima	298,65	218,79
Costos de mano de obra	235,55	224,30
Gastos energéticos	1,2	1,2
<b>TOTAL</b>	<b>535,4</b>	<b>444,29</b>

La tabla 4.17 indica los gastos totales de la elaboración de los filtros con mayor eficiencia tanto en el método de filtros forzados correspondiente al tratamiento 2 con un costo de elaboración total de \$535,4 (dólares americanos) y de filtros rápidos correspondiente al tratamiento 4 con un costo de elaboración total de \$444,29 (dólares americanos).

# CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

## 5.1. CONCLUSIONES

- En la obtención del carbón activado procedente de residuos de bambú (*Bambusa vulgaris*) para remoción de contaminantes en el agua, se adquirió la materia prima (bambú) procedente de los cañaverales de la ESPAM “MFL” para la elaboración de carbón activado, obteniendo 7115 g de producto final, mismo que se dio mediante activación química con ácido ortofosfórico al 85%; procedimiento que se realizó en el laboratorio de química ambiental y suelos del área agroindustrial de la ESPAM “MFL”.
- El tratamiento más eficiente para remoción de contaminantes en la filtración rápida es el T<sub>4</sub>, con una eficiencia de 56,20%, y en la filtración forzada es el T<sub>2</sub>, con una eficiencia de 64,09% ; no obstante, se hace el análisis estadístico de los diferentes valores como porcentaje de Análisis de Varianza de los tratamientos rápidos y forzados, en donde se implementó la prueba de Tukey para la filtración forzada; presentando el T<sub>3</sub> mejores resultados en la mayoría de los parámetros, lo cual es de considerar. Los parámetros que presentaron una mayor remoción fueron nitratos, nitritos, sulfatos y sólidos disueltos totales.
- Para el análisis económico del tratamiento más eficiente se obtuvo que el T<sub>4</sub> que es uno de los más eficientes en filtración rápida; su elaboración tuvo un costo de 444,29\$ y a su vez el T<sub>3</sub> es uno de los más eficientes en filtración forzada, tuvo un costo de 535,4\$ en su respectiva producción.

## 5.2. RECOMENDACIÓN

- De las evidencias anteriores es necesario efectuar estudios o investigaciones similares con diferentes residuos agroindustriales, además de aprovechar estos recursos, con la finalidad de comparar resultados con los obtenidos en esta investigación, también, verificar la eficiencia de remoción del carbón activado procedente de los residuos de bambú en agua de río.
- Se recomienda a los investigadores realizar un estudio combinando el carbón activado de bambú con otro tipo de materiales filtrantes, para potenciar o mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes, así mismo investigar y utilizar otras variedades de bambúes para la elaboración de carbón activado con la finalidad de poder realizar futuras investigaciones y comparar cual de todas las variedades es más eficiente en cuanto a su remoción.
- Realizar una evaluación y análisis del aprovechamiento de los residuos del bambú para la elaboración y posible comercialización del mismo, ya que este producto podría ser rentable.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J., Ramírez, B., Cadena, J., Juárez, J., Caso, L., & Martínez, D. (2018). Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1701-1708.
- Akpan, E., Enyi, G., Nasr, G., Yahaya, A., Ahmadu, A., & Saidu, B. (2019). Water-based drilling fluids for high-temperature applications and water-sensitive and dispersible shale formations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 175, 1028-1038.
- Aldeguer, A., Varó, P., Sentana, I., & Prats, D. (2020). Tratamiento de fármacos presentes en aguas mediante carbón activado en polvo y granulado.
- Álvarez, E., & Árias, T. (2022). Estudio preliminar de la eficiencia de la filtración primaria en la planta de sueros parenterales. *Tecnología Química*, 42(3), 543-557.
- Arévalo, F., & Reátegui, K. (2020). Calidad y rendimiento del carbón activado de la cáscara del fruto de calabaza (*Cucurbita ficifolia*) obtenido por método químico. *Revista Forestal del Perú*, 35(1), 21-30.
- Arnaudo, F., Celeda, A., & de Celis, J. (2022). Metallic sulphides filtration: influence of experimental variables on effluent quality in filtration plant. *ÁREA QUÍMICA, PETROQUÍMICA Y MINERALÚRGIA TRABAJOS COMPLETOS*, 734.
- Arrocha, F., Guevara, C., Gonzalez, M., Rivas, F., & Delgado, R. (2019). Evaluación de filtros de carbón activado basado en cáscaras de frutas (piña, plátano, coco, naranja). *Revista de Iniciación Científica*, 5, 79-83.
- Azabache, Y., Rojas, K., Irigoín, S., Rodríguez, R., & Quispe, B. (2020). Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en viviendas familiares. *Manglar*, 17(2), 169-176.

- Badilla, A., & Mora, D. (2019). Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales en litorales de Costa Rica: situación del 2012 al 2018. *Revista Tecnología en Marcha*.
- Beck, S., Wright, H., Hargy, T., Larason, T., & Linden, K. (2018). Action spectra for validation of pathogen disinfection in medium-pressure ultraviolet (UV) systems. *Water Research*, 27-37.
- Belizario, G., Capacoila, J., Huaquisto, E., Cornejo, D., & Chui, H. (2019). Determinación del contenido de Fósforo y Arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del Río Coata, afluente del lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36(5), 223-228.
- Blanco, O., Reyes, C., Cuello, Y., Cuello, D., & Pérez, M. (2021). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara del coco (*Cocos nucífera L*) y su evaluación en la remoción de residuos líquidos coloreados. *UTCiencia "Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo"*, 7(3), 148-159.
- Bolaños, Y., Bolaños, M., Paz, F., & Ponce, J. (2017). Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 35, 73-86.
- Bravo, K., & Garzon, A. (2017). *EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE COCO (Cocos nucifera) PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUA*. Retrieved 22 de ene de 2023, from [TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE, ESPAM MFL]: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/606/1/TMA124.pdf>
- Bretón, E., Melgar, E., Hernández, M., Loredo, M., & Dávila, N. (2020). Remoción del colorante AV7 presente en solución acuosa mediante carbón activado. *Ingenierías*, 23(89), 6-13.
- Brousett, M., Rondan, G., Chirinos, M., & Biamont, N. (2021). Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno-Perú. *Fides et Ratio-Revista de*

*Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia, 21(21), 187-208.*

- Burbano , H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas, 35(1), 82-96.*
- Calderón, C. (2018). Determinación de la eficiencia de remoción de carga contaminante de filtros anaerobios para agua residual pecuaria. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.
- Calderón, W., & Fenarraga, G. (2020). Revisión sistemática y meta-análisis sobre el uso de carbón activado para adsorción de hidrocarburos en aguas contaminadas.
- Calvo, G. (2019). Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha, 32(4), 104-115.*
- Campoverde, M. y Mera, R. (2023). Propuesta de un sistema de filtración para mejorar la calidad de agua potable y/o de consumo humano en una hacienda de vía a la costa (Guayaquil). [Tesis de grado, ingeniería Industrial]. Universidad politécnica Salesiana, sede Guayaquil.
- Carrasquero, S., Montiel, R., & Andrade, D. (2022). Capacidad adsortiva del carbón activado obtenido del epicarpio de citrus sinensis EN LA REMOCIÓN DE INDIGOTINA. *Revista Bases de la Ciencia, 7(1), 1-16.*
- Castañeda , A., Flores , H., & Cuevas, R. (2018). Diagnóstico de la calidad de las aguas superficiales en la región de Los Altos Norte de Jalisco, México. *Acta universitaria, 28(6), 1-13.*
- Castellar, G., Mendoza, E., Angulo, E., Paula, Z., Rosso, M., & Jaramillo, J. (2019). Equilibrio, cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB-86 sobre carbón activado de la cáscara de yuca. *Revista MVZ Córdoba, 24(2), 7231-7238.*

- Ceccon, E., & Gómez, P. (2019). Las funciones ecológicas de los bambúes en la recuperación de servicios ambientales y en la restauración productiva de ecosistemas. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 679-691.
- Cedeño, R., & Ayón, C. (2020). Reducción de color y turbidez en aguas residuales del camal municipal de Manta, mediante biofiltración con cáscara de coco (*cocos nucifera*) y cascarilla de arroz (*oryza sativa*), enero 2020. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU*, 3(6), 21-37.
- Centrone, C. (2006). Filtro casero de carbón activado para reducir el contenido de cloro del agua.
- Cerda, K. (2020). Valoración de la eficiencia de remoción de arsénico en agua con carbón activado de jícara sabanero (*Crescentia alata*) y su combinación con óxidos de hierro. *Revista Torreón Universitario*, 9(24), 58-68.
- Céspedes, E. (2020). Análisis del Desarrollo Innovador para el Aprovechamiento de la (*Guadua angustifolia Kunth*) en la Sustitución de Cultivos Ilícitos. *Ciencia en desarrollo*, 11(2), 97-109.
- Chau, E., & Vásquez, L. (2020). Utilización del carbón activado a partir del Bambú (*Guadua Angustifolia Kunth*), para captar arsénico de las aguassubterráneas en el distrito de Pacora.
- Chávez, G. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-61.
- Coral, F., & Mora, E. (2019). Bambú una alternativa de biomasa para energía en el Perú. optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético, 89.
- Córdoba, D. (2018). Influencias de los parámetros fisicoquímicos en las concentraciones de proteínas y carbohidratos en tejidos de *Anodonta luteola* Lea 1858,(BIVALVA: UNIONIDAE) EN LA ARENOSA, PANAMÁ OESTE. *Centros: Revista Científica Universitaria*, 7(2), 84-100.

- Corrales , L., Sánchez , L., & Quimbayo , M. (2018). Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá. *Nova*, 16(29), 71-89.
- Crespo, J., Alvarez, J., & Bajana, F. (2018). Evaluación del sistema de agua potable de la cabecera Parroquial Caracol y propuesta de mejoras. *Journal of Science and Research*, 3(ICCE2018), 50-61.
- Cubillos, C. (2019). Evaluación de la obtención de carbón activado a partir de bambú de la especie *Chusquea Scandens* Kunth por activación física (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Cutillas, P., Álvarez, P., Ortega, F., García, C., & Cabañero, J. (2019). La degradación ambiental y sus efectos en la contaminación de las aguas superficiales en la cuenca del río Conchos (Chihuahua-México). *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 47-67.
- Delegido, J., Urrego, P., Vicente, E., Sòria, X., Soria, J., Pereira, M., & Moreno, J. (2019). Turbidez y profundidad de disco de Secchi con Sentinel-2 en embalses con diferente estado trófico en la Comunidad Valenciana. *Revista de Teledetección*(54), 15-24.
- Del Campo, M. (2018). Remoción de nitrógeno y fósforo de efluentes de industrias de la cuenca del Río Santa Lucía. [Tesis de posgrado, Ingeniería ambiental]. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería. Montevideo, Uruguay.
- Díaz, J., García, A., González, L., & Orozco, J. (2019). Adsorción de impurezas del jugo clarificado de la industria azucarera mediante biomasa pirolizada. *Revista Cubana de Química*, 31(3), 463-477.
- Díaz, S. (2018). Estudio de la calidad del agua en la presa El Volantín, Jalisco, México (2014-2015)/Water Quality Study of El Volantín Dam, Jalisco, Mexico (2014-2015). *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 77-104.

- El Gamal, M., Mousa, H., El-Naas, M., Zacharia, R., & Judd, S. (2018). Bio-regeneration of activated carbon: A comprehensive review. *Separation and Purification Technology*, 197, 345-359.
- Espín, D., Jarrín, J., & Escobar, O. (2017). MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RELAVES MINEROS GENERADOS EN EL PROYECTO RÍO BLANCO. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 2(4), 12.
- Feijoo, C., De la Torre, E., & Uribe, R. (2019). Determinación de la capacidad de adsorción del complejo oro-cianuro en compósitos de carbón activado-vidrio. *Afinidad*, 76(588).
- Fernández, A., Machado, R., & Bangaly, D. (2018). Valoración conductimétrica de ion sulfato en salmueras de la industria salinera marina. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 266-276.
- Fernández, Y., Velásquez, A., Medina, R., & Ortiz, J. (2021). Evaluación del proceso de producción de biodiesel mediante separadores de membrana. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 12(2), 1-12.
- Fragoso, P., Rubiano, L., & Kerguelen, J. (2021). Análisis de variables físico-químicas en el proceso de remoción de coliformes en el sistema de lagunas de oxidación, Salguero, Valledupar (Colombia). *Información tecnológica*, 32(1), 113-122.
- Gaitán, A., & Fonthal, G. (2020). Fabricación y análisis mecánico de compuestos de bambú *Guadua angustifolia Kunth*. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 207-214.
- Galeano, B., Peñafiel, A., & Hernandez, N. (2019). VALIDACIÓN DE UN MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SECADOS A 103–105° C. *Revista Teinnova*, 4(1), 40-44.

- García, E., Marroquín, D., Molano, A., & Londoño, A. (2019). Efecto de un medio filtrante de arena común y carbón activado sobre la calidad del agua para uso de las tropas del Ejército Nacional de Colombia en el área de operaciones. *Brújula Semilleros de Investigación*, 7(14), 26-30.
- García, H., & Vivar, M. (2021). *Producción de carbón activado a partir de los residuos producidos de una empresa productora de tiras de bambú en la ciudad de Durán*. [Tesis para la obtención del título de Ingeniero Industrial. Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador].
- García, L., López, F., Moreno, G., & Ortigosa, C. (2018). El método experimental profesional en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química General para los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 328-345.
- García, Y., Múzquiz, E., & Ríos, J. (2019). Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22(1), 1-16.
- Gavariev, R., & Savin, I. (2018). Research of the mechanism of destruction of compression molds for casting under pressure of color alloys. *In Solid State Phenomena*, 284, 326-331.
- Gelvez, S. (2019). Evaluación de los parámetros de diseño del filtro que será utilizado para la remoción de sólidos disueltos totales como hierro y cobre, del afloramiento de agua natural del túnel exploratorio del Emboque de la Empresa Sociedad Minera de Santander S.A.S. [Tesis de grado, Ingeniería ambiental]. Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingeniería Ambiental. Bucaramanga.
- Ghosh, S., & Bandyopadhyay, A. (2017). Adsorption of methylene blue onto citric acid treated carbonized bamboo leaves powder: Equilibrium, kinetics, thermodynamics analyses. *Journal of Molecular Liquids*, 248, 413-424.
- Gómez, D., Segura, G., Centeno, J., Quirós, J., González, M., Marín, M., & Vargas, Y. (2017). *Revista Horizontes Ambientales III. Edición*.

- Gonzalez, D., & Abril, A. (2018). Uso del carbón activado para el tratamiento de aguas. Revisión y estudios de caso. *Revista Nacional de Ingeniería*, 1(1), 8-21.
- Guanuche, F., Sares, L., Nievas, A., & Morales, M. (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de arroz. *In Conference Proceedings UTMACH*, 1(1).
- Guerrero, A., Benítez, R., Villa, A., & Corredor, A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18.
- Gutiérrez, G., & de Lira, R. (2020). Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos proveniente de las podas de bambú (*Guadua angustifolia*). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 7(1), 1.
- Gutiérrez, J., & Rojas, A. (2018). Resistencias de filtración del carbonato de níquel. *Tecnología Química*, 38(1), 17-28.
- Guzmán, G., & Esquivel, L. (2021). Remoción de molibdeno con carbón activado de tusa de maíz (*Zea Mays*) en aguas del río Challhuahuacho–Cotabambas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), 459-473.
- Hernandez, M. (2022). Simulación de un proceso de filtración para el laboratorio de procesos de separación de la Universidad Metropolitana. *Tekhné*, 25(1), 16-16.
- Jiménez, M., & Suarez, D. (2019). Evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 6-17.
- Khandaker, S., Kuba, T., Kamida, S., & Uchikawa, Y. (2017). Adsorption of cesium from aqueous solution by raw and concentrated nitric acid–modified bamboo charcoal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(2), 1456-1464.

- Khandaker, S., Toyohara, Y., Kamida, S., & Kuba, T. (2018). Adsorptive removal of cesium from aqueous solution using oxidized bamboo charcoal. *Water Resources and Industry*, 19, 35-46.
- Klevan, T., Karlsson, B., & Grant, A. (2019). The color of water: An autoethnographically-inspired journey of my becoming a researcher. *The qualitative report*, 24(6), 1242-1257.
- Kyzas, G., Bomis, G., Kosheleva, R., Efthimiadou, K., Favvas, E., Kostoglou, M., & Mitropoulos, A. (2019). Nanobubbles effect on heavy metal ions adsorption by activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 356, 91-97.
- Landin, S., & Tovar, A. (2017). Elaboración de un filtro de agua a partir de residuos domésticos. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 802-806.
- León, G., & León, D. (2020). Uso del carbón activado en la industria cosmética. . *Corporación Universitaria Rafael Núñez*.
- López, M., Soledad, B., Aponte, G., & Delgado, J. (2021). Estudio de la capacidad adsorbente del biocarbón obtenido mediante tecnologías apropiadas como medio para purificar agua de lluvia. *Tekhné*, 24(2), 13-13.
- Lugo, J., Arias, R., Vargas, S., Villalba, F., & Mercado, J. (2019). Evaluación de la calidad microbiológica de agua potable de dos pueblos palafíticos de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *In Tendencias en la Investigación Universitaria. Una visión desde Latinoamérica*, 6, 122-133.
- Marín, A., González, D., & Mata, J. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *In Anales Científicos*, 79(1), 111-119.
- Marino, A., Castillo, N., & Guardiola, L. (2018). Mecanismo de filtración de suspensiones lateríticas y compresibilidad de la torta. *Minería y Geología*, 14(3), 25-28.

- Mejía, V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica*, 23(3), 411-419.
- Méndez, J., & Orejuela, D. (2021). *Evaluación de microorganismos eficientes mediante un filtro anaerobio de flujo ascendente en agua residual sintética, determinado por la eficiencia de remoción de DQO y SST*. [Trabajo para la obtención del título de Ingeniero Ambiental y Sanitario, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca].
- Mendoza, H., Madruñero, O., & Paredes, S. (2018). Desarrollo de la cadena productiva en el clúster de bambú de la Zona 5 del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(5), 70-77.
- Mendoza, L., Vidal, R., Hurtado, E., Barrios, R., & Silva, R. (2019). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la microcuenca del Río Carrizal, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*(21), 97-112.
- Mercado, I., Meza, M., Riaños, K., Jurado, M., & Olivero, R. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 7(2), 95-103.
- Mesa, A., Cervera, C., & Vicedo, J. (2019). Portablecrac: solución portátil para la regeneración electroquímica del carbón activo. In XXXV . *ornadas Técnicas de AEAS* , 103-109.
- Molina, M. (2016). Elaboración de un filtro artesanal de agua utilizando materiales no convencionales, evaluando su eficiencia para la disminución de los niveles de contaminación de aguas residuales generada por una lavadora de autos. universidad técnica de ambato, Ambato. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24606/1/Tesis%201086%20-%20Molina%20Garc%C3%ADa%20Mishel%20Estefan%C3%ADa.pdf>
- Montalván, A., Aguilera, Y., Brígido, O., Veitia, E., & Rodríguez, L. (2019). Procesos de contaminación-purificación en aguas superficiales afectadas por el

vertimiento de efluentes de una tenería. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 65-80.

Morales, C., & Gutiérrez, Y. (2021). Evaluación del Precursor de Carbón Activado Granular del Agua del Río Napo, Comunidad Puerto Colón. *CIENCIAMATRIA*, 7(1), 118-133.

Morroquín, C., Farrera, R., Cid, M., Dávila, E., García, H., & Méndez, M. (2017). Producción de carbón activado a escala de laboratorio a partir de residuos de café. *Revista Pakbal*, 40, 40-44.

Nazarieh, F., Ansari, H., Ziaei, A., Izady, A., Davari, K., & Brunner, P. (2018). Spatial and temporal dynamics of deep percolation, lag time and recharge in an irrigated semi-arid region. *Hydrogeology Journal*, 26(7), 2507-2520.

Negara, N., Nindhia, T., Surata, W., Hidajat, F., & Sucipta, M. (2020). extural characteristics of activated carbons derived from tabah bamboo manufactured by using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> chemical activation. . *Materials Today: Proceedings*, 22, 148-155.

Nejadshafiee, V., & Islami, M. (2019). Adsorption capacity of heavy metal ions using sultone-modified magnetic activated carbon as a bio-adsorbent. . *Materials Science and Engineering: C*, 101, 42-52.

Nitayaphat, W., & Jintakosol, T. (2015). Removal of silver(I) from aqueous solutions by chitosan/bamboo charcoal composite beads. *Journal of Cleaner Production*, 87, 850-855.

Ochoa, A., Mancía, Y., Rodríguez, E., Arias, A., & Arriaza, C. (2020). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Palma, departamento de Chalatenango, El Salvador. . *Revista Agrociencia*, 3(16), 6-19.

Ochoa, J., & García, G. (2017). Molina. *ouradj Ebrahimi, EEG Signal Classification for Brain. Computer Interface Applications, Project Report, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*, 28.

- Ordóñez, C., Tamarit, J., Buendía, E., & Orozco, G. (2022). ESTIMACIÓN E INVENTARIO DE BIOMASA Y CARBONO DEL BAMBÚ. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, 47.
- Assureira, E. A. (2021). Transformación de las hojas de caña de azúcar en biocarbón. Obtenido de Información Tecnológica: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v33n3/0718-0764-infotec-33-03-51.pdf>
- Orozco, G., & Lira, R. (2020). Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos proveniente de las podas de bambú. Obtenido de [https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/1-RMAE\\_2019-15-Biocarbon-To-edit.pdf](https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/1-RMAE_2019-15-Biocarbon-To-edit.pdf)
- Ortiz, J. (2019). Uso del carbón de guadua para el tratamiento de aguas residuales: Revisión y vigilancia tecnológica. [Tesis de grado, Ingeniería civil]. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, DC.
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18.
- Palmero, J., & Lías, J. (2018). efecto de la semilla de moringa (moringa oleífera) lam como coagulante natural, en un agua residual de origen agroindustrial. *Revista Ambientellanía*, 1(1).
- Parra, T., Marín, F., Jácome, G., & Sinche, M. (2018). Clarificación de aceite de cocina usado y decoloración de aceite rojo de palma con el uso de ozono, carbón activado y peróxido de hidrógeno. *Enfoque UTE*, 9(2), 77-88.
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O. y Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Revista MASKANA*, 10(2), 76-88.
- Paye, L., Rodríguez, C., Suaña, A., & Montoya, J. (2021). Uso de Filtros de Carbón Activado para Mejorar la Calidad del Agua para Consumo Humano en

Centros Poblados de la Región de Puno. *Revista Científica Investigación Andina*, 20(2).

Peñaranda, B. (2022). Evaluación del cambio de la actividad mutagénica del agua potable tratada con procedimientos físicos y fisicoquímicos. [Tesis de grado, Bioquímica]. Universidad Mayor de San Andrés.

Assureira, E. A. (29 de 09 de 2021). Transformación de las hojas de caña de azúcar en biocarbón. Obtenido de Información Tecnológica: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v33n3/0718-0764-infotec-33-03-51.pdf>

Peng, X., Hu, F., Lam, F., Wang, Y., Liu, Z., & Dai, H. (2015). Adsorption behavior and mechanisms of ciprofloxacin from aqueous solution by ordered mesoporous carbon and bamboo-based carbon. *Journal of Colloid and Interface Science*, 460, 349-360.

Pinto, R., & Franco, A. (2022). Diseño de un sistema físico-químico compacto y sostenible para potabilizar aguas superficiales en zonas remotas de Arequipa-Perú. *Nexo Revista Científica*, 35(01), 82-96.

Polo, I., Gordillo, C., Rodríguez, A., & Valencia, N. (2022). Adsorción de sulfuros presentes en solución acuosa sobre carbón activado obtenido a partir de zuro de maíz. *Avances Investigación en Ingeniería*, 19(1).

Préstiga, D., Rubio, A. y Pérez, J. (2021). Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 121-134. *Universidad Industrial de Santander*. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>

Prieto, J., Gehan, N., Pérez, A., Martínez, E., & Enríquez, M. (2020). Adsorción de Cadmio desde soluciones acuosas en carbón activado de bagazo de caña de azúcar variedad Roxa. *Centro Azúcar*, 47(1), 90-99.

Prieto, J., Pérez, A., Curbelo, A., Enríquez, M., & Mollineda, A. (2021). ADSORCIÓN DE IONES PLOMO (II) EN CONDICIONES ISOTÉRMICAS

UTILIZANDO CARBONES ACTIVADOS DE BAGAZO DE CAÑA, MARABÚ Y BAMBÚ. *Centro Azúcar*, 48(3), 21-28.

Qian, W., Luo, X., Wang, X., Guo, M., & Li, B. (2018). Removal of methylene blue from aqueous solution by modified bamboo hydrochar. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 157, 300-306.

Quevedo, L., & Figueredo, E. (2020). Utilización de carbón activado producido a partir de cáscara de *Macadamia sp* para la remoción de microcistina presente en agua destinada al consumo humano en condiciones de laboratorio. *Investigaciones y Estudios-UNA*, 11(1), 02-09.

Rahmani, A., Singh, P., Raizada, P., Lima, E., Anastopoulos, I., Giannakoudakis, D., & Hosseini, A. (2020). Use of chicken feather and eggshell to synthesize a novel magnetized activated carbon for sorption of heavy metal ions. *Bioresource Technology*, 297, 122452.

Ramírez, A. (2021). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.

Reyes, J., Cárdenas, M., & Aguirre, R. (2020). Los gestores bibliográficos, una herramienta de apoyo al proceso investigativo en los estudiantes de agronomía. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(1), 232-236.

Ríos, G., Ramírez, D., Bobadilla, C., Ríos, A., Ramírez, M., Sales, R., & Rosas, M. (2017). Remoción de clorofilas presentes en extractos de *Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni)* por adsorción con carbón activado y precipitación con cal grado alimenticio. *Acta universitaria*, 27(1), 67-75.

Rodríguez, B., Martínez, L., Peregrina, A., Ortiz, O., & Cárdenas, O. (2019). Análisis de residuos de plaguicidas en el agua superficial de la cuenca del Río Ayuquila-Armería, México. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 151-161.

Rodríguez, D., Leitón, J. y Vélez, I. (2020). Obtención de carbón activado a partir de cáscara de mangostino para ser utilizado en la retención de  $Al^{3+}$  en aguas potables. [Tesis de grado, Ingeniería civil]. Universidad piloto de Colombia facultad de Ingeniería civil. Bogotá D.C. 90 pp.

- Rosales, A., Rodríguez, C., & Ballen, M. (2018). Remoción de contaminantes y crecimiento del alga *Scenedesmus* sp. en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas. *Ingeniería y ciencia*, 14(28), 11-34.
- Rossel , L., Bernedo, R., Alberth, L., Mayhua, F., Ferro , A., & Zapana , R. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 68-77.
- Salas, D., Hermoza, M., & Salas, D. (2020). Distribución de metales pesados y metaloides en aguas superficiales y sedimentos del río Crucero, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 37(4), 185-193.
- Satander, F. (2019). Estudio del desarrollo técnico para el cultivo y aprovechamiento de la guadua (*Guadua angustifolia*, Kunth) como alternativa de Sustitución de cultivos Ilícitos en la región de Tumaco Nariño (Colombia). *In Congreso Nacional de Investigación e Innovación Ambiental- Foro Ambiental*, 19.
- Segovia, L., Guerra, E., Aguilar, C. (2018). Filtros de filtración rápida y filtros de filtración lenta. [Tesis de grado, Ingeniería Sanitaria]. Universidad de El Salvador.
- Sierra, A., Navarro, A., Mercado, I., Flórez, A., & Jurado, M. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131-138.
- Silupú, C., Solis, R., Cruz, G., Gómez, M., Solís, J., & Keiski, R. (2017). Caracterización de filtros comerciales para agua a base de carbón activado para el tratamiento de agua del río Tumbes-Perú. *Revista Colombiana de Química*, 46(3), 37-45.
- Silva, C., & Guijarro, G. (2017). Propuesta de metodología para gestión de mantenimiento de equipos y sistemas de uso médico. . *Revista Publicando*, 4(2), 143-153.

- Soto, M. (2021). Propuesta de tratamiento para el reúso de agua condensada resultante de la destilación de bioetanol. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 16(1), 25-34.
- Souza, E., Hortêncio, I., & Albuquerque, C. (2019). Levantamiento de aspectos físico-químicos de las aguas de microbacia del mindu en Manaus-Amazonas. *Revista Geográfica de América Central*(63), 295-321.
- Sugashini, S., Mohamed, K., & Begum, S. (2017). Preparation of activated carbon from carbonized rice husk by ozone activation for Cr (VI) removal. *New carbon materials*(3), 252-261.
- TILLEY, E., ULRICH, L., LÜTHI, C., REYMOND, P., SCHERTENLEIB, R., & ZURBRÜGG, C. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento . Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag), 2da. edición revisada. .
- Torres, J., Girón, N., Avitia, Y., Urrutia, A., & Rios, M. (2020). Preparación de carbón activado a partir de residuos de Zea mays para eliminar tartrazina. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 17(1), 1.
- Torres, L., Sanín, A., Arango, A., & Serna, J. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista Ion*, 32(2), 59-66.
- Trujillo, F., & Cajigas, E. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 143-155.
- Valenzuela, A., & Torres, J. (2020). Remoción de colorantes azóicos (A5 y R40) con carbón activado de cáscara de nuez. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21(3).
- Vázquez, C., Moreno, B., & Cadena, D. (2022). Efectividad del uso de diatomeas en la filtración de bacterias de transmisión hídrica. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 36(2), 88-97.

- Vega, L. J., & Muñoz, M. d. (2022). *Diseño de un filtro para la retención de Cromo total en agua proveniente de un vertimiento de una curtiembre sobre el Río Tunjuelo*. Universidad El Bosque Universidad El Bosque, Bogotá.
- Vejarano, N., & Casas, I. (2021). Evaluación de la viabilidad de un tratamiento de aguas por carbón activado obtenido del bambú de la especie *Chusquea Scandens* Kunth. [Tesis de Licenciatura. Fundación].
- Velarde, F., Sianca, E., Castro, G., Him, L., & Gómez, M. (2018). Tratamiento y reutilización del agua residual de lavadora. *Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 36-39.
- Vinza, S. (2012). Propuesta para la aplicación del método de Costeo por actividades ABC (activity based Costing) de la industria “Gráficas Olmedo” de la ciudad de Quito. Tesis. Ing. Finanzas. UCE. Quito, EC. . 45. Tesis. Ing. Finanzas. UCE. Quito, EC.
- Vivar, M., & García, H. (s.f.). Producción de carbón activado a partir de los residuos producidos de una empresa productora de tiras de bambú en la ciudad de Durán (Bachelor's thesis). 2022.
- Xia, X., Lan, S., Li, X., Xie, Y., Liang, Y., & Xing, Y. (2018). Characterization and coagulation-flocculation performance of a composite flocculant in high-turbidity drinking water treatment. *Chemosphere*, 206, 701-708.
- Zheng, T., Shang, C., He, Z., Wang, X., Cao, C., Li, H., & Zeng, J. (2019). Intercalated iridium diselenide electrocatalysts for efficient pH-universal water splitting. *Angewandte Chemie*, 131(41), 14906-14911.
- Acosta, M., Morales, L. y Rodríguez, A. (2022). Remoción de contaminantes del agua por microfiltración: Una revisión sistemática de la literatura. 2(38), 115-136.
- Akinbile, C., Epebinu, E., Olanrewaju, O. y Akintayo, T. (2022). Performance analysis of bamboo-based (*Bambusa vulgaris*) activated carbon in

aquaculture wastewater treatment. 8(178). <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00767-1>

Akinbile, C. O., Epebinu, E. M., Olanrewaju, O. O. y Abolude, A. T. (2023). Comparative analysis of bamboo-based (*Bambusa vulgaris*) activated carbon produced through trioxonitrate (V) acid and potassium hydroxide. *Nigerian Journal of Technological Development*, 20(2), 1-10. <https://doi.org/10.4314/njtd.v20i2.1155>

Ijaola, O. O. y Sangodoyin, A. (2021). Remediation of Emerging Pollutants in Industrial Contaminated Water using *Oxytenanthera abyssinica* and *Bambusa vulgaris* in a Treatment Media. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1036(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1036/1/012012>

Santana, G. M., Lelis, R. C. C., Paes, J. B., Morais, R. D. M., Lopes, C. R. y Lima, C. R. D. (2018). Activated Carbon From Bamboo (*Bambusa Vulgaris*) For Methylene Blue Removal: Prediction To The Environment Applications. *Ciência Florestal*, 28(3), 1179-1191. <https://doi.org/10.5902/1980509833395>

# **ANEXOS**

## ANEXO 1. Preparación y elaboración del carbón activado a base de residuos de caña bambú – Fabricación y pruebas de los filtros.

### Elaboración de carbon activado



1. Preparación del residuo de bambú



2. Preparación de bambú para macerado



3. Medición de ácido ortofosfórico



4. Residuos de bambú macerado



5. Residuos macerados previo ingreso a mufa



6. Residuos salidos de mufa y puestos en estufa



7. Carbón activado



8. Molida de carbón activado



9. Tamizado y separación por tamaño de partícula de carbón

### Fabricación de los filtros



1. Preparación y armado de materiales



2. Inicio de ensamble de filtros



3. Pesado de carbón activado



4. Introducción del carbón en los filtros



5. Ensamblando los filtros a la base



6. Ensamblando los filtros a la base



7. Ensamble a la base y rotulado los filtros

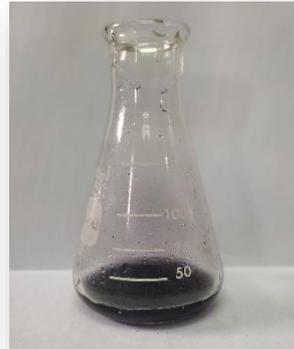
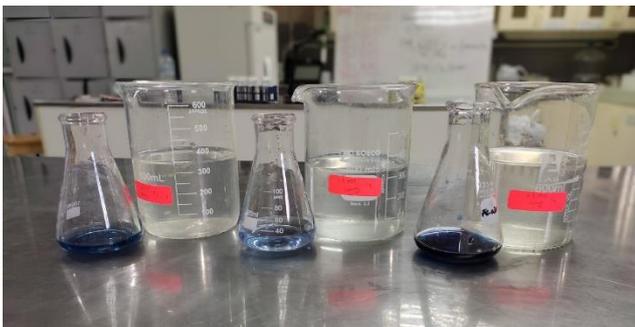


8. Inicio de ensayo de filtración rápida



9. Implementación de bomba de impulsión para inicio de ensayo de filtración forzada

### Análisis



**ANEXO 2.** Prueba de normalidad de los tratamientos aplicados en los filtros

VARIABLE	N	D.E.	W	P(UNILATERAL D)
TURBIDEZ FF	12	1,03	0,91	0,39
TURBIDEZ FR	12	2,55	0,91	0,39
TDS FF	12	0,95	0,96	0,81
TDS FR	12	10,92	0,94	0,65
PH FF	12	0,13	0,54	0,54
PH FR	12	0,08	0,92	0,487
DUREZA FF	12	5,43	0,88	0,17
DUREZA FR	12	10,49	0,87	0,105
COLOR FF	12	3,06	0,98	0,971
COLOR FR	12	2,51	0,97	0,896
SULFATOS FF	12	4,16	0,92	0,48
SULFATOS FR	12	11,44	0,95	0,8
NITRITOS FF	12	0,01	0,86	0,087
NITRITOS FR	12	0,0039	0,91	0,35
NITRATOS FF	12	0,0033	0,88	0,156
NITRATOS FR	12	0,0039	0,91	0,35
FOSFATOS FF	12	0,56	0,89	0,22
FOSFATOS FR	12	0,49	0,89	0,21
SST FF	12	0,01	0,93	0,52
SST FR	12	0	0,95	0,73

### ANEXO 3. Preparación y elaboración del carbón activado a base de residuos de caña bambú

FILTRACIÓN	TURBIDEZ	TDS	PH	DUREZA	COLOR	SULFATO	NITRITOS	NITRATOS	FOSFATO	SST
F. Forzada	6,96	163	7,38	150	66	167	0,58	0,04	2,7	0,055
F. Forzada	6,5	163	7,47	142	40	155	0,5	0,041	3,5	0,059
F. Forzada	7,89	158	7,22	148,5	50	165	0,43	0,034	2,8	0,036
F. Forzada	8,1	159	6,89	129,5	45	277	0,66	0,049	2	0,034
F. Forzada	6,51	164	7,23	149,5	66	173	0,67	0,05	2,7	0,064
F. Forzada	7,29	161	7,12	151,5	28	156	0,61	0,046	3,5	0,059
F. Forzada	6,21	158	7,22	150	46	151	0,53	0,039	2,8	0,055
F. Forzada	7,37	160	7,13	149,5	45	283	0,64	0,043	1,9	0,048
F. Forzada	5,48	164	7,25	148	62	168	0,54	0,04	3	0,034
F. Forzada	4,71	159	7,02	150,5	33	158	0,61	0,046	3	0,049
F. Forzada	7,88	159	7,36	150	45	150	0,45	0,036	2,6	0,029
F. Forzada	7,44	159	7,16	149,5	42	304	0,66	0,049	1,8	0,075
F. Rápida	14,01	175	6,74	175	65	205	1,79	0,134	3,1	0,1908
F. Rápida	14,34	191	6,1	165	83	145	1,6	0,131	1,8	0,1868
F. Rápida	12,22	197	6,1	235	89	146	0,65	0,049	2	0,1933
F. Rápida	10,18	188	6,14	160	67	355	0,65	0,064	2,8	0,1943
F. Rápida	11,05	163	6,67	150	63	252	1,79	0,129	2,8	0,1986
F. Rápida	13,15	177	6,38	159	91	154	1,75	0,131	1,7	0,1831
F. Rápida	14,63	190	6,1	237	80	145	0,53	0,044	2	0,1992
F. Rápida	7,52	200	5,99	150	69	343	0,58	0,05	2,5	0,1939
F. Rápida	10,56	130	6,77	155	71	225	1,8	0,135	3	0,1866
F. Rápida	10	190	6,16	185	85	145	1,76	0,132	1,9	0,195
F. Rápida	6,91	191	6,01	220	80	148	0,64	0,048	2,2	0,1927
F. Rápida	9,66	196	6,13	135	75	386	0,64	0,048	2,5	0,1893

### ANEXO 3. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

<b>TURBIDEZ</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	112,19	1	112,19	29,66	<0,0001	
FILTROS	112,19	1	112,19	29,66	<0,0001	
Error	83,22	22	3,78			
<b>Total</b>	<b>195,41</b>	<b>23</b>				

<b>TDS</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	2838,38	1	2838,38	14,63	0,0009	
FILTROS	2838,38	1	2838,38	14,63	0,0009	
Error	4267,58	22	193,98			
<b>Total</b>	<b>7105,96</b>	<b>23</b>				

<b>pH</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	5,19	1	5,19	95,11	<0,0001	
FILTROS	5,19	1	5,19	95,11	<0,0001	
Error	1,2	22	0,05			
<b>Total</b>	<b>6,39</b>	<b>23</b>				

<b>DUREZA</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	5325,26	1	5325,26	8,52	0,008	
FILTROS	5325,26	1	5325,26	8,52	0,008	
Error	13754,73	22	625,21			
<b>Total</b>	<b>19079,99</b>	<b>23</b>				

<b>COLOR</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	5104,17	1	5104,17	43,23	<0,0001	
FILTROS	5104,17	1	5104,17	43,23	<0,0001	
Error	2597,67	22	118,08			
<b>Total</b>	<b>7701,83</b>	<b>23</b>				

<b>SULFATOS</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	4873,50	1	4873,5	0,81	0,3766	
FILTROS	4873,50	1	4873,5	0,81	0,3766	
Error	131674,5	22	5985,2			
<b>Total</b>	<b>136548</b>	<b>23</b>				

<b>NITRITOS</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	2,22	1	2,22	12,31	0,002	
FILTROS	2,22	1	2,22	12,31	0,002	
Error	3,97	22	0,18			
<b>Total</b>	<b>6,19</b>	<b>23</b>				

<b>NITRATOS</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC gl</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	0,01	1	0,01	15,15	0,0008	
FILTROS	0,01	1	0,01	15,15	0,0008	
Error	0,02	22,9	3,00E-05			
<b>Total</b>	<b>0,03</b>	<b>23</b>				

<b>FOSFATOS</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	0,67	1	0,67	2,42	0,134	
FILTROS	0,67	1	0,67	2,42	0,134	
Error	6,06	22	0,28			
<b>Total</b>	<b>6,73</b>	<b>23</b>				

<b>SST</b>						
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	0,12	1	0,12	1091,55	<0,0001	
FILTROS	0,12	1	0,12	1091,55	<0,0001	
Error	2,40E-03	22	1,10E-04			
<b>Total</b>	<b>0,12</b>	<b>23</b>				