



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Proyecto de Investigación  
previo a la obtención del  
Título de Ingeniería en  
Gestión Ambiental

**Proyecto de Investigación:**

**“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE CACAO EN LA  
OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO PARA SER USADO COMO MEDIO  
FILTRANTE”**

**Autor:**

Macías Cedeño Génessis Mariuxi

**Docente Auspiciante:**

Ing. María Lorena Cadme, Ms.C.

**Quevedo-Los Ríos- Ecuador**

**2021**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIA Y SESIÓN DE DERECHOS**

Yo, MACÍAS CEDEÑO GÉNESSIS MARIUXI, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi 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.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, y por la normatividad institucional vigente.

---

**MACÍAS CEDEÑO GÉNESSIS MARIUXI**

## **CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

La suscrita, Ing. María Lorena Cadme, Ms.C. de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la Egresada Macías Cedeño Génessis Mariuxi, realizó el proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental “aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante”, bajo mi dirección, habiendo cumplido con todas las disposiciones reglamentarias establecidas.

---

Ing. María Lorena Cadme, Ms.C.

**DIRECTORA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

# CERTIFICACIÓN DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACÁDEMICO

The screenshot displays the Curiginal report interface. At the top, there is a navigation bar with a back arrow, the text "VOLVER A LA DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ANÁLISIS", and icons for refresh, download, and help. On the right, there is a "PERFIL" dropdown menu. Below the navigation bar, the report details are shown: "REMITENTE: mcadme@uteq.edu.ec", "ARCHIVO: TESIS FINAL GENESSIS MARIUXI CA 1532021.docx", and "SEMEJANZA: 0%". There are three tabs: "RECOMENDACIONES" (selected), "FUENTES", and "DOCUMENTO COMPLETO". The main content area features the Curiginal logo and the "Document Information" section, which includes: "Analyzed document: TESIS FINAL GENESSIS MARIUXI CA 1532021.docx (D98442306)", "Submitted: 3/15/2021 8:11:00 PM", "Submitted by", "Submitter email: mcadme@uteq.edu.ec", and "Analysis address: mcadme.uteq@analysis.orkund.com". Below this is the "Sources included in the report" section, which lists two sources, each with a "SA" icon, a document title, a document ID, and a count of "1".

Document Information		
Analyzed document	TESIS FINAL GENESSIS MARIUXI CA 1532021.docx (D98442306)	
Submitted	3/15/2021 8:11:00 PM	
Submitted by		
Submitter email	mcadme@uteq.edu.ec	
Analysis address	mcadme.uteq@analysis.orkund.com	

Sources included in the report		
SA	<b>TESIS URKUND estero Salado ALEXANDRA CHEME 2DA VERSION.docx</b> Document TESIS URKUND estero Salado ALEXANDRA CHEME 2DA VERSION.docx (D80876489)	1
SA	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO / TESIS FINAL RONNY MENDEZ VERDUGA Urkund.docx</b> Document TESIS FINAL RONNY MENDEZ VERDUGA Urkund.docx (D54588192) Submitted by: mcadme@uteq.edu.ec Receiver: mcadme.uteq@analysis.orkund.com	1

---

Ing. María Lorena Cadme, Ms.C.

DIRECTORA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

**“APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE CACAO EN LA  
OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO PARA SER USADO COMO MEDIO  
FILTRANTE”.**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental.

**Aprobado por:**

---

Ing. MC.. Betty González, PhD

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

## **AGRADECIMIENTO**

En este momento tan esperado e importante de mi vida dejo constancia de mi agradecimiento:

A Dios, el Dios de mis victorias y dador de todo lo que he obtenido hasta ahora, guía de mi camino y forjador de mi futuro;

A mi madre, mi primera maestra y testigo de los muchos desvelos que trajo consigo esta esforzada carrera y quien supo apoyarme con su amor y constancia, definitivamente ha sido el impulso para lograr cada meta;

A mi padre, símbolo de esfuerzo y quien hizo posible que tuviera todos los recursos para culminar esta meta;

A mi hermano, por el solo hecho de existir y permitirme ser un ejemplo para él;

A mi apoyo incondicional el Ing. Eric Alcívar, por la ayuda brindada que con amor y paciencia supo brindarme, al ser mi soporte y empuje en este proceso, a quien le extiendo mi amor e infinito agradecimiento;

A mi mejor amiga que siempre confió en mí y en cada proceso ha sabido ser un ser excepcional de apoyo;

A la ing. María Lorena Cadme Arévalo M.Sc., mi tutora y gran amiga quien siempre confió en mí y me brindo su apoyo hasta las últimas instancias;

Al Ing. Loguard Smith Rojas Uribe Ph. Por ser un excelente profesional siempre dispuesto a brindarme su apoyo;

Al Ing. José Benjamín Vargas Sánchez por el apoyo en las actividades de logística;

Finalmente expreso mi agradecimiento a todas las maravillosas personas que de una u otra forma colaboraron en la culminación de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación con mucho cariño a Dios, que me ha bendecido cada día con sabiduría. Con todo mi corazón dedico mi tesis a mi madre, pues sin ella no lo habría logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo. También quiero dedicarle este mi esfuerzo a cada persona que ha sido parte de mi vida a lo largo de mi carrera y me han compartido sus conocimientos, profesores, compañeros y amigos.

## RESUMEN EJECUTIVO

La contaminación de los recursos hídricos es un problema de interés mundial que ha motivado investigaciones para determinar alternativas de tratamiento y depuración que viabilice su uso con fines domésticos, agrícolas y preservación de la vida acuática, mediante el aprovechamiento de residuos de cosecha. El presente trabajo de investigación consistió en producir carbón activado por activación química con ácido ortofosfórico, a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) y usarlo como medio filtrante de contaminantes presentes en muestras de agua del río Quevedo. La cáscara de cacao mantiene el 90,43% de humedad y un rendimiento de carbón activado del 61,65% en el proceso de obtención de carbón activado. Se realizó análisis físicos, químicos y microbiológico del agua. Los resultados refieren su capacidad de adsorbente con azul de metileno, correspondiendo absorción homogénea a las partículas de 2-3 mm, sometida a 350°C durante 20 minutos y absorbancia lineal con el tamaño de 0-1 mm, sometida a 375°C durante 20 minutos. Las dos muestras con mayor absorbancia fueron utilizadas como medio filtrante para la remoción de contaminantes. Se diseñaron dos filtros, el primero contenía algodón, grava gruesa, grava fina, arena gruesa y los dos carbones activados; en el segundo filtro se utilizó algodón y una capa de cada carbón activado. El filtro con algodón y carbón activado presentaron excelentes resultados, sin embargo, el filtro compuesto actuó mejor en la disminución de los parámetros analizados. Se observó que el filtro con algodón y carbón activado ejerce mayor influencia en la disminución de nitratos.

**Palabras claves:** carbón activado, activación química, características fisicoquímicas

## ABSTRAC

he contamination of water resources is a problem of global interest that has motivated research to determine treatment and purification alternatives that make their use for domestic, agricultural and preservation of aquatic life viable, through the use of crop residues. The present research work consisted of producing activated carbon by chemical activation with orthophosphoric acid, from cocoa shell (*Theobroma cacao*) and using it as a filter medium for pollutants present in water samples from the Quevedo river. The cocoa shell maintains 90.43% humidity and an activated carbon yield of 61.65% in the process of obtaining activated carbon. Physical, chemical and microbiological analyzes of the water were carried out. The results refer to its adsorbent capacity with methylene blue, corresponding homogeneous absorption to 2-3 mm particles, subjected to 350 °C for 20 minutes and linear absorbance with the size of 0-1 mm, subjected to 375 °C during 20 minutes. The two samples with the highest absorbance were used as a filter medium for the removal of contaminants. Two filters were designed, the first one contained cotton, coarse gravel, fine gravel, coarse sand and the two activated coals; cotton and a layer of each activated coal were used in the second filter. The filter with cotton and activated carbon presented excellent results, however, the composite filter performed better in reducing the parameters analyzed. It was observed that the filter with cotton and activated coal exerts a greater influence on the reduction of nitrates.

**Keywords:** activated carbon, chemical activation, physicochemical characteristics

## TABLA DE CONTENIDO

Portada.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORIA Y SESIÓN DE DERECHOS .....	ii
CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL RESPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACÁDEMICO .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. Problema de investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema .....	4
Diagnóstico.....	5
Pronóstico.....	6
1.1.2. Formulación del problema .....	6
1.1.3. Sistematización del problema.....	6
1.2. Objetivos.....	7
1.2.1. Objetivo general.....	7
1.2.2. Objetivos específicos .....	7
1.3. Justificación .....	7
CAPÍTULO II.....	9
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
2.1. Marco Conceptual.....	10
2.1.1. Agua.....	10
2.1.2. Aguas residuales .....	10
2.1.3. Actividades antrópicas .....	10
2.1.4. Cacao .....	11
2.1.5. Carbón activado .....	11
2.1.6. Absorción.....	11
2.1.7. Activación química .....	12
2.1.8. Filtro de carbón activado .....	12

2.1.9.	Espectrofotometría.....	12
2.2.	Marco referencial .....	13
2.2.1.	Resultados de trabajos de investigación en absorción de contaminantes con carbón activado .....	13
2.3.	Marco teórico .....	14
2.3.1.	Calidad del agua .....	14
2.3.1.1.	Importancia de la calidad del agua.....	15
2.3.2.	Tipos de contaminación del agua .....	16
2.3.2.1.	Fuentes puntuales.....	16
2.3.2.2.	Fuentes difusas.....	16
2.3.2.3.	Contaminación por actividades antrópicas .....	16
2.3.2.4.	Contaminación del agua por agricultura.....	17
2.4.	Carbón Activado .....	18
2.4.1.	Propiedades físicas y químicas de los carbones activados .....	19
2.4.2.	Características Físico Químicas del Carbón Activado .....	20
2.4.2.1.	Área Superficial .....	20
2.4.2.2.	Método BET .....	20
2.4.2.3.	Porosidad .....	21
2.4.2.4.	Dureza.....	21
2.4.2.5.	Rango de tamaño de partícula.....	21
2.4.2.6.	Tamaño efectivo de la partícula.....	22
2.4.2.7.	Contenido de Cenizas .....	22
2.4.2.8.	pH.....	22
2.5.	Adsorción .....	22
2.5.1.	Adsorción física y Química .....	23
2.5.1.1.	Adsorción física .....	23
2.5.1.2.	Adsorción Química .....	23
2.6.	Biomasa.....	24
2.6.1.	Caracterización de las Biomosas .....	24
2.6.1.1.	Densidad Real .....	25
2.6.1.2.	Porosidad .....	25
2.7.	Cacao en Ecuador .....	25
2.7.1.	Cáscara de cacao.....	26
2.8.	Método de Taguchi .....	27
CAPÍTULO III .....		29

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.1.1. Obtención de carbón activado granular a partir de cáscara de cacao por activación química.....	30
3.1.1.1. Obtención de la materia prima y determinación del porcentaje de humedad en peso húmedo y seco.....	30
3.1.1.2. Activación química.....	30
3.1.2. Evaluar la influencia de la temperatura, tamaño y el tiempo en la obtención del carbón activado.....	32
3.1.3. Identificar las características fisicoquímicas del agua del río Quevedo.....	34
3.1.4. Capacidad de absorción y porcentaje de remoción del carbón activado obtenido a partir de cáscara de cacao.....	36
CAPÍTULO IV.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Obtención de carbón activado granular a partir de cáscara de cacao por activación química.....	39
4.1.1. Obtención de la materia prima y determinación del porcentaje de humedad en peso húmedo y seco.....	39
4.1.2. Porcentaje de rendimiento de la cáscara de cacao en estado seco hasta el producto final (carbón activado).....	40
4.2. Evaluar la influencia de la temperatura, tamaño y el tiempo en la obtención del carbón activado.....	41
4.3. Identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Quevedo.....	47
4.4. Capacidad de absorción y porcentaje de remoción de contaminantes con carbón activado obtenido a partir de cascara de cacao.....	53
CAPÍTULO V.....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
5.1. Conclusiones.....	69
5.2. Recomendaciones.....	70
CAPÍTULO VI.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gránulo de carbón activado. ....	19
<b>Figura 2.</b> Etapas del proceso de adsorción .....	24
<b>Figura 3.</b> Diagrama del proceso de elaboración del carbón activado.....	31
<b>Figura 4.</b> Gráfico de medias de masa de Carbón versus Temperatura de carbonización... 42	
<b>Figura 5.</b> Curva de calibración .....	53
<b>Figura 6.</b> Curva de calibración .....	54
<b>Figura 7.</b> Valores de color verdadero del agua sin tratar y tratada del río Quevedo .....	56
<b>Figura 8.</b> Valores de temperatura del agua sin tratar y tratada del río Quevedo .....	57
<b>Figura 9.</b> Valores de turbiedad del agua sin tratar y tratada del río Quevedo .....	57
<b>Figura 10.</b> Valores de PH del agua sin tratar y tratada del río Quevedo .....	59
<b>Figura 11.</b> Valores de Nitratos del agua sin tratar y tratada del río Quevedo .....	59
<b>Figura 12.</b> Valores de Sólidos en Suspensión del agua sin tratar y tratada del río Quevedo .....	60
<b>Figura 13.</b> Valores de Oxígeno Disuelto del agua sin tratar y tratada del río Quevedo.....	61
<b>Figura 14.</b> Valores de Fosfato del agua sin tratar y tratada del río Quevedo .....	62
<b>Figura 15.</b> Valores de DBO5 del agua sin tratar y tratada del río Quevedo.....	63
<b>Figura 16.</b> Valores de Coliformes totales del agua sin tratar y tratada del río Quevedo....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Factores en estudio de carbonización. ....	33
<b>Tabla 2.</b> Diseño de los tratamientos de carbonización. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Puntos de estudio. ....	35
<b>Tabla 4.</b> Parámetros de análisis de agua del río Quevedo antes y después de filtrar. ....	35
<b>Tabla 5.</b> Análisis de Varianza para masa de carbón. ....	41
<b>Tabla 6.</b> Pruebas de Múltiple Rangos para masa de carbón por tamaño de partícula. ....	42
<b>Tabla 7.</b> Pruebas de Múltiples Rangos para masa de carbón por temperatura. ....	43
<b>Tabla 8.</b> Pruebas de Múltiple Rangos para masa de carbón por tiempo. ....	44
<b>Tabla 9.</b> Pruebas de Múltiple Rangos para masa de carbón por ácido ortofosforico. ....	45
<b>Tabla 10.</b> Medias por Mínimos Cuadrados para masa de carbón. ....	45
<b>Tabla 11.</b> Análisis de los parámetros físicos químicos y microbiológicos del río Quevedo .....	47
<b>Tabla 12.</b> Valores para la curva de calibración con azul de metileno .....	53
<b>Tabla 13.</b> Concentraciones de azul de metileno con CA aplicando factor de dilución .....	54
<b>Tabla 14.</b> Valores para realizar la curva de calibración .....	54
<b>Tabla 15.</b> Concentraciones de azul de metileno con CA aplicando factor de dilución .....	55
<b>Tabla 16.</b> Criterios de calidad del agua (TULSMA) de la República del Ecuador .....	65
<b>Tabla 17.</b> Criterios de calidad del agua del gobierno de los Estados Unidos Mexicanos ..	66
<b>Tabla 18.</b> Criterios de calidad del agua de la República de Venezuela.....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Lavado de las mazorcas de cacao. ....	80
<b>Anexo 2</b> Agitación de la materia prima para eliminación de la celulosa. ....	80
<b>Anexo 3.</b> Secado en la mufla.....	81
<b>Anexo 4.</b> Disminución del tamaño de partículas de la muestra de cacao seca.....	81
<b>Anexo 5.</b> Adición de ácido fosfórico para activación química del CA.....	82
<b>Anexo 6.</b> Carbonización en la mufla a distintas temperaturas y tiempo de carbonización .	82
<b>Anexo 7.</b> CA a diferentes tamaños de partículas, temperatura y tiempo .....	83
<b>Anexo 8.</b> Curva de calibración .....	83
<b>Anexo 9</b> Prueba de adsorción con azul de metileno en el espectrofotómetro .....	84
<b>Anexo 10.</b> Toma de muestra de agua en el río Quevedo.....	84
<b>Anexo 11.</b> Análisis de agua en el I. Municipio de Quevedo .....	85
<b>Anexo 12.</b> Filtro de agua para prueba de absorción de las muestras de agua con CA.....	85
<b>Anexo 13.</b> Muestras comparación del agua del río Quevedo, sin tratar y tratada con CA	86
<b>Anexo 14.</b> Resultados de pruebas físicas, químicas y microbiológicas antes y después del tratamiento con carbón activado.....	86
<b>Anexo 15.</b> Resultados de pruebas físicas, químicas y microbiológicas antes y después del tratamiento con carbón activado.....	87

## CÓDIGO DUBLÍN

<b>Título:</b>	“Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante”
<b>Autor:</b>	Macías Cedeño Génesis Mariuxi
<b>Palabras clave:</b>	carbón activado, activación química, características fisicoquímicas
<b>Fecha de publicación:</b>	
<b>Editorial:</b>	Quevedo: UTEQ 2021
<b>Resumen: (hasta 300 palabras)</b>	<p>La contaminación de los recursos hídricos es un problema de interés mundial que ha motivado investigaciones para determinar alternativas de tratamiento y depuración que viabilice su uso con fines domésticos, agrícolas y preservación de la vida acuática, mediante el aprovechamiento de residuos de cosecha. El presente trabajo de investigación consistió en producir carbón activado por activación química con ácido ortofosfórico, a partir de cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) y usarlo como medio filtrante de contaminantes presentes en muestras de agua del río Quevedo. La cáscara de cacao mantiene el 90,43% de humedad y un rendimiento de carbón activado del 61,65% en el proceso de obtención de carbón activado. Se realizó análisis físicos, químicos y microbiológico del agua. Los resultados refieren su capacidad de adsorbente con azul de metileno, correspondiendo absorción homogénea a las partículas de 2-3 mm, sometida a 350°C durante 20 minutos y absorbancia lineal con el tamaño de 0-1 mm, sometida a 375°C durante 20 minutos. Las dos muestras con mayor absorbancia fueron utilizadas como medio filtrante para la remoción de contaminantes. Se diseñaron dos filtros, el primero contenía algodón, grava gruesa, grava fina, arena gruesa y los dos carbones activados; en el segundo filtro se utilizó algodón y una capa de cada carbón activado. El filtro con algodón y carbón activado presentaron excelentes resultados, sin embargo, el filtro compuesto actuó mejor en la disminución de los parámetros analizados. Se observó que el filtro con algodón y carbón activado ejerce mayor influencia en la disminución de nitratos.</p>
<b>Descripción:</b>	103 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162
<b>URI:</b>	

## Introducción

El agua es un recurso regulado de manera natural en el proceso conocido como “ciclo del agua”, el cual le permite pasar por diferentes estados físicos que inciden en su proceso de purificación (Peña, 2019), sin embargo, la actividad antrópica ha convertido el agua superficial en un vertedero en el que se acumulan una diversidad de agentes contaminantes (pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc.) de difícil tratamiento que han alterado su calidad, lo que ha incidido a que sea considerado como un problema de interés mundial (Vinces, 2018), ya que son peligrosas para la salud humana (Peña, 2019).

Existen algunos procesos de purificación del agua que requieren altos costos de implementación, por lo que actualmente se está utilizando carbón activado obtenido a partir de residuos vegetales, tales como: arroz, coco, banano, cacao, cáscara de naranja, entre otros (Hernández Morales & Felipe, 2017), (Tejada S., Almanza, Villabona, Colpas, & Granados, 2017). El material vegetal, es una alternativa viable y de bajo costo en la preparación de carbón activado ya que permite disminuir los residuos agrícolas en el campo y la consecuente producción de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos.

Los estudios realizados con cáscara de cacao reportan excelentes resultados en la adsorción de azul de metileno (Burgos & Jaramillo, 2015), hierro (Fe) (Tapia, 2019) níquel (Ni) (Reyes, 2019), cadmio (Cd), plomo (Pb) (Sánchez, 2016), y aguas residuales de lubricadoras (López, 2019), entre otros, por lo que se ha propuesto el diseño de una planta para la producción de filtros (Cortez & Limpio, 2013).

Ecuador es el mayor productor de cacao fino de aroma a nivel mundial y exporta alrededor del 70 % de su producción. Actualmente, se ha dado valor agregado al grano de cacao y se obtienen algunos subproductos como sustancias nitrogenadas, grasas, fibras, combustible, harina y abono (Burgos & Jaramillo, 2015). Algunos autores han referido resultados satisfactorios usando carbón activado obtenido de la cáscara de cacao como una alternativa para la filtración de aguas.

El uso de carbón activado obtenido a partir de cascara de cacao se convierte entonces en una estrategia viable y de bajo costo que puede ser utilizado en el tratamiento de las aguas contaminadas de manera amigable con el medio ambiente. Se resalta también que el carbón activado posee propiedades adsorbentes, por lo que al ser económico se pueden producir en grandes cantidades y aprovechar la cáscara de cacao al máximo.

## **CAPÍTULO I**

### **CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Actualmente el problema de la contaminación del agua y del ambiente está llegando a niveles críticos, en especial en países de bajos y medianos recursos en donde las grandes o medianas ciudades no cuentan con plantas de tratamiento de agua y donde los ríos contaminados terminan afectando a las poblaciones cercanas y destruyen a su paso los recursos naturales de flora y fauna hasta llegar al océano. Ante la dramática situación que enfrenta la población mundial respecto a la carencia de agua para el consumo en un futuro no muy lejano, se hace imperativa la necesidad de evaluar la situación de contaminación de aguas en ríos que fluyen a lo largo de ciudades en países de medianos y bajos recursos (Gómez, 2018).

A nivel nacional únicamente la ciudad de Cuenca y algunos sectores de Guayaquil y Loja, cuentan con sistemas de tratamiento de aguas de alcantarillado, lo que les ha permitido disminuir las tasas de parasitosis, enfermedades intestinales de las personas y la pérdida de biodiversidad acuática a causa de la contaminación de cuerpos de agua cercanos a centros poblados y/o urbanos. Por consiguiente, urge tomar medidas de gestión ambiental que permitan recuperar estas fuentes de agua primarias que ya han sido intervenidas, pero que se las puede restaurar con un adecuado manejo y recuperación de las zonas de riberas, junto a los cuerpos de agua, y un plan de delimitación de zonas de protección hidrológica (Terneus, 2018).

Dentro del tratamiento de aguas contaminadas, una de las técnicas más recomendadas, por ser amigable con el medio ambiente y el bajo coste, es el uso del carbón activado con filtros purificadores de agua que emplean el carbón como medio filtrante, son muy eficaces debido a que este medio filtrante presenta una alta porosidad y área superficial en su estructura interna que permite mayor adsorción de las impurezas. Al ser el carbón activado un material con capacidad de adsorción, elimina contaminantes orgánicos del agua por el proceso de adsorción química, atrayendo y acumulando el adsorbato sobre su superficie (Pesantes, 2016).

El río Quevedo presenta un alto grado de contaminación ambiental sin tratamiento, que afecta a la salud de la ciudadanía, es por ello que crece la preocupación de los habitantes

y la necesidad de un tratamiento apto para la disminución de contaminación, por las diferentes actividades humanas, realizadas diariamente que perjudican de manera directa la calidad del recurso hídrico.

### **Diagnóstico**

La calidad de agua del río Quevedo se encuentra afectada por la actividad industrial, descarga de aguas residuales de los hogares a los esteros aledaños, la ineficiencia del sistema de alcantarillado, la constante fertilización de suelos agrícolas y el mal hábito de arrojar los desechos sólidos a las fuentes hídrica que conllevan al deterioro de la calidad del agua, ocasionando el proceso de eutrofización en las aguas, turbidez, mal olor, además de intoxicaciones, muerte de la flora y fauna, propagación de vectores, presencia de enfermedades dérmicas y gastrointestinales por la presencia de microorganismos patógenos de origen fecal que ocasionan hasta la muerte, pérdida paisajística y disminución del turismo.

En la actualidad, los ríos se encuentran altamente deteriorados, siendo el caso del río de Quevedo, el cual, según información socializada, se encuentra en niveles por encima de los límites máximos permisibles que preocupan a los organismos estatales ya que es uno de los recursos necesarios e importantes para subsistir.

Es pertinente referir que, de manera tradicional, la cáscara de cacao es integrada al suelo, la cual en su proceso de descomposición libera cadmio generando contaminación del suelo. Además, durante la escorrentía y la infiltración, puede ser arrastrado hacia fuentes hídricas superficiales y subterráneas, por lo que es conveniente limitar su presencia en el suelo, darle valor agregado como carbón activado y promover su uso como medio filtrante de aguas contaminadas.

## **Pronóstico**

De mantenerse el inadecuado manejo de los residuos y aguas servidas derivadas de la actividad humana, las cuales son dirigidas al río Quevedo se incrementará los niveles de contaminación de este afluente con los consecuentes conflictos socios ambientales.

Los estudios realizados informan que el carbón activado proveniente de cáscara de cacao presenta excelentes resultados de adsorción de una diversidad de contaminantes presentes en el agua, por lo que esta investigación provee información relevante para producir carbón activado a partir de esta materia prima de tal manera que se disminuya su presencia e impacto en el suelo agrícola dedicado a este cultivo, y su uso como medio filtrante de aguas contaminadas.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera los residuos de cáscara de cacao pueden aprovecharse para ser utilizados como un medio filtrante?

### **1.1.3. Sistematización del problema**

¿La activación química permite obtener carbón activado granular a partir de la cáscara de cacao?

¿La temperatura y el tiempo ejercen influencia en la obtención del carbón activado?

¿Las características físicas químicas y microbiológicas en los tres puntos de muestreo del río Quevedo reúnen las características físicas, químicas y microbiológicas que permiten el consumo de la población?

¿El carbón activado obtenido a partir de la cáscara de cacao tiene mayor capacidad de absorción?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar la cáscara de cacao en la obtención de carbón activado como medio de absorción de contaminantes presentes en el agua.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Obtener carbón activado granular a partir de cáscara de cacao por activación química.
- Evaluar la influencia de la temperatura, tamaño y el tiempo en la obtención del carbón activado.
- Identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Quevedo.
- Comparar la capacidad de absorción y porcentaje de remoción de contaminantes del carbón activado obtenido a partir de cáscara de cacao.

## **1.3. Justificación**

El Ecuador es uno de los mayores productores de cacao que genera gran disponibilidad de cáscara en lechos abiertos, los cuales, en su proceso de putrefacción generan el desarrollo de plagas y enfermedades que afectan los cultivos y aportan a la contaminación del ambiente, por lo que es pertinente promover su uso como materia prima y darle un valor agregado para la obtención de subproductos de interés comercial y ambiental.

En este sentido, ante la creciente contaminación de las aguas superficiales por la actividad humana que ha conllevado a realizar una diversidad de investigaciones que han referido resultados satisfactorios del uso del carbón activado obtenido a partir de la cáscara de cacao como un recurso de gran interés y aplicabilidad en los procesos para depurar y desodorizar contaminantes presentes en el agua.

En este trabajo de investigación se realizó el proceso de activación física para obtener carbón activado a partir de la cáscara de cacao y se analizó la eficiencia en el proceso de adsorción de contaminantes presentes en el agua del río Quevedo, logrando su aplicación un sistema de purificación viable y de bajo costo aplicable a las diferentes ciudades que puedan replicar este método, mediante la eliminación de material contaminante presentes en el agua que se libera de las conexiones domésticas al río Quevedo, permitiendo con ello a corto plazo disminuir la liberación de desechos contaminantes al río y, a largo plazo recuperar la flora y fauna nativa y mejorar la calidad de agua del río Quevedo.

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco Conceptual**

Con el propósito de unificar significados de algunas definiciones utilizados en el presente estudio a continuación se definirán los siguientes términos:

### **2.1.1. Agua**

El agua es la sustancia que más abunda en la tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso. La mayor reserva de agua está en los océanos, que contienen el 97% del agua que existe en la Tierra. Se trata de agua salada, que sólo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales (Franco & Rodríguez, 2016).

### **2.1.2. Aguas residuales**

Las aguas residuales (AR) son todas aquellas que resultan del uso doméstico, agrícola, industrial, pluvial y como consecuencia son contaminadas con materia orgánica y sustancias tóxicas sobrantes de las diferentes actividades humanas. Estas aguas han sido clasificadas en cuatro tipos: la de tipo doméstico (ARD), que a su vez se dividen en aguas negras y grises; las aguas negras transportan materia fecal y orina; las grises, son las provenientes del uso de detergentes (Méndez, 2019). En otra de sus definiciones, se considera que las aguas residuales son aquellas que proceden de haberse utilizado de aguas naturales y agua potable, en diferentes usos. Es por ello, que a las aguas residuales al momento de desaguar se les denomina vertidos (Díaz & Valdivia , 2018).

### **2.1.3. Actividades antrópicas**

Son realizadas por las actividades diarias que ocasiona el ser humano con sus procesos como es la actividad agrícola, minera, el turismo excesivo y la ganadería intensiva. Esta es causada por múltiples factores, desde la deforestación hasta políticas públicas ambientales que rigen en una localidad, aquellos impactos ambientales por las actividades humanas, son mucho más rápidas, y ocasionan más daño que impactos naturales (Sabando , 2019).

#### **2.1.4. Cacao**

El cacao es un grano que se cultiva en la mayoría de los países tropicales que poseen un clima caliente y húmedo entre los 20° latitud norte y los 20° latitud sur de la línea ecuatorial, es un cultivo umbrófilo, es decir que se deben cultivar en lugares bajo sombra de otros árboles, por la delicada que es en los primeros meses en su crecimiento (Flores & Juera, 2018).

#### **2.1.5. Carbón activado**

El carbón activado es carbón que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna, es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados, por gramo de carbón. Puede ser producido a partir de muchos precursores sólidos carbonosos, tanto de origen natural como sintético. El carbón activado se puede obtener de muchas maneras y en muchos procesos que conllevan a activaciones físicas y químicas del material para obtener los resultados esperados y una mejor eficiencia de este (Medina & Manrique , 2018).

#### **2.1.6. Adsorción**

Define adsorción como el proceso en el cual átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otro compuesto, fuerzas conocidas como “fuerzas de Van Der Waals”, por lo tanto, este fenómeno ocurre en la superficie de un sólido lo que nos indica que a mayor área superficial mejor será la adsorción de otros compuestos (Carrasco & Londa, 2018).

Este verbo puede hacer referencia a distintas cuestiones: al amortiguamiento ejercido por un cuerpo ante una radiación que lo traspasa; a la atracción desarrollada por un sólido sobre un líquido con la intención de que las moléculas de éste logren penetrar en su sustancia; a la capacidad de un tejido o de una célula para recibir una materia que procede de su exterior (Lozano, 2019).

### **2.1.7. Activación química**

La activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. En este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico, principalmente ácido fosfórico (o cloruro de zinc) y el material impregnado se calienta en un horno a 500–700 °C (Vayas, 2017).

### **2.1.8. Filtro de carbón activado**

El filtro de carbón funciona por el mismo principio que el filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón activado es un material natural que con millones de agujeros microscópicos que atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes presentes. Se diseña normalmente para retener sustancias no polares como aceite mineral, polihidrocarburos aromáticos, cloro y derivados, sustancias halogenadas como I, Br, Cl, H, F, sustancias generadoras de malos olores y sabores en el agua, levaduras, materia orgánica, microorganismos, herbicidas, pesticidas, etc., todo ello sin alterar la composición original del agua, respetando los oligominerales y sin generar residuos (Ávila & Moreno, 2016).

### **2.1.9. Espectrofotometría**

Mediante la espectrofotometría UV/Visible, es posible detectar la absorbancia de determinados elementos cromóforos en el rango de longitudes de onda comprendido entre 190 y 700 nm, es decir, desde el cercano UV (190 a 400 nm) hasta todo el espectro visible (400 a 700 nm) inclusive. Esta técnica se basa en la capacidad de las moléculas en solución de absorber la radiación incidente, ya sea en forma total o parcial. La eficiencia con la cual las moléculas absorben energía a una determinada longitud de onda, depende de la estructura atómica y de distintas condiciones del medio (temperatura, pH, fuerza iónica, etc.) (Camelino, Minchiotti, Bariles, & López, 2018).

Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que absorbe depende de la estructura atómica y las condiciones del medio (pH, temperatura, etc.) (Chaparro, 2017).

## **2.2. Marco referencial**

### **2.2.1. Resultados de trabajos de investigación en absorción de contaminantes con carbón activado**

En el trabajo investigativo titulado “Efecto del carbón activado de la *Theobroma cacao* en la adsorción de hierro del agua del río Moche, 2017, utilizaron cuatro tamaños con granulometrías de 20, 50, 70 y 100 mesh, a diferentes tiempos de resistencia (30, 60, 90 y 120 minutos). En la prueba inicial de absorción se obtuvo 2,66 ppm de concentración de hierro. En el análisis experimental utilizando carbón activado de *Theobroma cacao* se demostró que a medida que aumenta el tiempo y el número de mesh del tamaño del carbón, disminuye la concentración del hierro en el agua estudiada. En el efecto del tamaño del gránulo se reporta la mayor adsorción de hierro a 100 mesh con el 69,51. El mejor tiempo evaluado corresponde a 120 minutos con el 90,1% de adsorción y, en el análisis de la interacción entre el tiempo de residencia y el tamaño del granulo, sobre el porcentaje a adsorción de hierro, 100 mesh presentó el mejor resultado a 120 minutos con el 90% de absorción (Soto, 2017).

De acuerdo a (Maya , 2017), en la investigación titulada “Análisis de la cáscara de cacao como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias de lácteos Salinerito de la ciudad de Guaranda” se informa que el biofiltro de 55 gal construido con estructura metálica, recipientes de plásticos manteniendo como material filtrante cáscara de cacao. Los análisis informaron reducción máxima de 85,27% en DQO, 86,70% en DBO<sub>5</sub> y, una disminución del 33,54% en aceites y grasas, demostrando con ello eficacia en la reducción de los parámetros estudiados. Se mantuvo un promedio del índice de biodegradabilidad del 0,47%, lo que indica que puede ser utilizado en tratamientos primarios posteriores.

Los resultados obtenidos en la investigación titulada “Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas” mencionan que, en el análisis de variación de temperatura y tiempo, las dos materias primas presentan los mejores resultados a 200°C por 120 minutos, obteniendo la carbonización total. Según los requisitos de la norma INEN 1991:94 el carbón activado a partir de cascara de coco está dentro de los rangos para carbón activado en polvo y el cacao está fuera del rango. En la prueba de adsorción con azul de metileno, la

concentración del carbón activado de coco va disminuyendo conforme avanza el tiempo, mientras que en el carbón activado de cacao no hay mucha diferencia de concentración entre 3 y 6 horas. Se reporta que con el carbón activado comercial la concentración del azul de metileno disminuye considerablemente entre 1, 3 y 6 horas (Burgos & Jaramillo, 2015).

## **2.3. Marco teórico**

### **2.3.1. Calidad del agua**

El problema de la calidad de agua es tan importante como aquellos relativos a la escasez de la misma, sin embargo, se le han brindado menos atención. El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria. La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario (Loayza & Cano, 2015).

La relación de la calidad de agua con la salud, es evidente y es una prioridad sanitaria desde siempre, incluso a nivel programático desde Alma Ata que fue el evento de política de salud internacional más importante de la década de los setenta, cuyo lema fue «Salud para todos en el año 2000». La síntesis de sus intenciones se expresó en la Declaración de Alma Ata, subrayando la importancia de la atención primaria de salud como estrategia para alcanzar un mejor nivel de salud de los pueblos, priorizándose el desarrollo de una adecuada fuente de agua potable y de salubridad básica. Además de la relación de la calidad del agua y la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) donde se encuentra relación directa entre la calidad del agua y la pobreza (Villena, 2018).

Es así como el control de la potabilidad y calidad del agua es muy importante, debido que esta es vehículo de transmisión de enfermedades producidas por patógenos intestinales, como bacterias (disentería, cólera, leptospirosis), virus (hepatitis, poliomieltis), protozoos (amebiasis, giardiasis) y helmintos (hidatidosis, bilarsiasis); o por contaminación fisicoquímica debido a la aparición de sustancias no deseables o que siendo elementos de la composición habitual del agua superan la concentración máxima admisible (Simanca, Álvarez, & Paternina, 2017).

Cabe mencionar que en muchas regiones del mundo el agua es un recurso cada vez más escaso ante el incremento demográfico y las consecuentes actividades domésticas, industriales, agrícolas, ganaderas, mineras, entre otras. Dicha situación ocasiona una gran demanda y genera la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento; así el agua se torna en un valioso recurso que es necesario preservar para mantener un suministro permanente que asegure la vida en las ciudades (Gastañaga, 2018).

Según (Pazmiño, 2018), la situación actual sobre la disposición final de las aguas residuales generadas en la urbe de Quevedo ha alcanzado niveles preocupantes, debido a que todo el sistema de recolección de aguas servidas desemboca en caudales naturales sin previo tratamiento; un ejemplo de aquello es el deterioro de la calidad de agua del río Quevedo y los esteros Guayaquil, Macache y El Atascoso, cuyas características hidromorfológicas y propiedades fisicoquímicas se han deteriorado. Este escenario ha configurado un importante problema ambiental relacionado con la calidad del agua superficial en el cantón, debido a que las descargas domésticas, industriales y agrícolas sin tratamiento previo constituyen las principales fuentes de contaminación hídrica en el cantón y el país.

### **2.3.1.1. Importancia de la calidad del agua**

Todos conocemos la importancia del agua en la vida de cualquier ser vivo del planeta. Por ello, su calidad es un tema que preocupa cada vez más en países de todo el mundo por motivos como la salud de la población, el desarrollo económico nacional y la calidad ambiental de los ecosistemas. Cabe recordar que hay 2.400 millones de personas que no tienen garantizado el acceso al saneamiento y unos 760 millones de personas no tienen acceso a agua potable, pese a que tanto el agua como el saneamiento son derechos humanos reconocidos por las Naciones Unidas (Picazo, 2016).

### **2.3.2. Tipos de contaminación del agua**

Contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua (Loayza & Cano, 2015).

#### **2.3.2.1. Fuentes puntuales**

Es la descarga de agentes contaminantes en lugares específicos en los cuerpos de aguas superficiales, su detección y eliminación pueden ser más sencillos, un ejemplo de contaminación puntual sería el vertido de aguas residuales industriales o domésticas a través de tuberías o de alcantarillas (Pérez M. , 2018).

#### **2.3.2.2. Fuentes difusas**

Otro factor a tener en cuenta es la contaminación debida a fuentes difusas, proviene de actividades como la agricultura y la ganadería principalmente, un problema muy poco o nada estudiado de nuestro medio y que incluso en otros países del mundo es considerada como la más importante y de mayor complejidad comparada con la contaminación puntual (Vintimilla, 2016).

#### **2.3.2.3. Contaminación por actividades antrópicas**

La gran explosión demográfica hoy en día ha hecho que el hombre aproveche inadecuadamente la tierra ocupando áreas que son destinadas a protección, haciendo uso inadecuado del territorio, lo que trae consigo escorrentía superficial más rápida, y por ende el deterioro de la calidad del agua. Haciendo mención que el 80% del deterioro de la calidad del agua es debido a sedimentos suspendidos, provenientes de la erosión de suelos como producto de edificaciones rurales y perturbaciones en masas forestales, de las cuales, los aprovechamientos forestales, incendios, pastoreo por ganadería y la agricultura constituyen ser las prácticas más comunes de interés (Ayala, 2016).

#### **2.3.2.4. Contaminación del agua por agricultura**

La contaminación del recurso se da inicio en la década de los 60 - 70, y es, por la demanda de alimentos, por ello la agricultura se ha convertido en un componente dominante en la economía mundial, el agua utilizada en la agricultura retorna en forma de agua superficial y subterránea. No obstante, la agricultura se desempeña como causante y víctima de la contaminación de los recursos hídricos, debido a la descarga de contaminantes y sedimentos en las aguas superficiales y/o subterránea (Moreira & Vera , 2016).

La agricultura es en gran parte responsable del agotamiento del agua subterránea disponible y del 70% de su contaminación. Ambos fenómenos se aceleran. Las inversiones destinadas a incrementar la productividad del agua en los productos básicos o en los cultivos de elevado valor comercial no deberían degradar irreparablemente los recursos hídricos y sus ecosistemas. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 2008) subraya la necesidad de invertir en agua, agricultura y ecosistemas como estrategia para reducir el hambre y la pobreza (Cárdenas & Cárdenas , 2009).

La agricultura ocupa cada vez con mayor frecuencia un lugar destacado. En la medida en que las iniciativas se orientan a corregir los abusos cometidos contra sus recursos hídricos, se hace más necesario determinar las causas de la degradación de la calidad del agua y cuantificar la contribución de los numerosos factores de contaminación. La contaminación por la agricultura en la superficie de los cuerpos de agua toma tres formas generales (Ayala, 2016).

- A.** Sedimentación producto de la erosión de los suelos
- B.** Eutroficación, también conocido como nutrientes ricos en fósforo y nitrógeno en el agua.
- C.** Contaminación con químicos tóxicos como herbicidas e insecticidas o por organismos que causan daños a la salud (Ayala, 2016).

## 2.4. Carbón Activado

el carbón activado es un material carbonoso con estructuras y propiedades similares al grafito; posee una estructura cristalina retículas, es considerablemente poroso y puede desarrollar áreas superficiales de 500 m<sup>2</sup> hasta mayores de 1500 m<sup>2</sup> por gramo de carbón, esto depende de la materia prima y proceso de activación. Los carbones activados aportan en las tareas de reducción de emisiones al permitir la limpieza y separación de componentes en los flujos líquidos y gaseosos (Bravo & Garzón, 2017).

El carbón granular es el que suele usarse en el tratamiento de emisiones contaminadas por compuestos orgánicos volátiles (COVs). El carbón activado es clásico de acuerdo con su estado físico (polvo o granular) o su uso (potabilización, decoloración, etc.). El carbón activado en polvo (CAP) posee dos propiedades importantes, la filtrabilidad y la densidad. Las principales propiedades físicas del carbón activado granular (CAG) son la dureza y el tamaño de la partícula. La velocidad de adsorción del carbón activado en polvo es 100 veces mayor que la del carbón en gránulos. Sin embargo, el carbón activado en polvo es el más difícil de manejar (Jiménez & Mantilla, 2016).

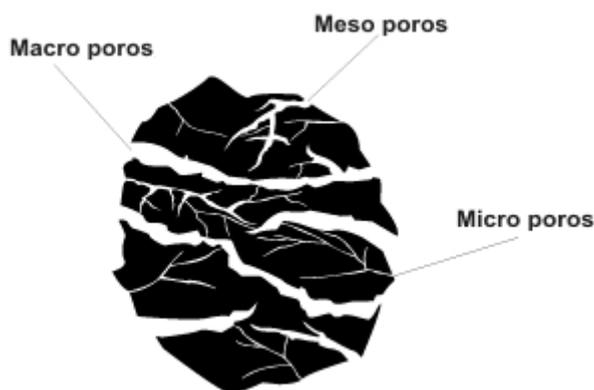
Todos los carbones presentan en principio, un carácter hidrófobo, que puede ser disminuido por la adición de ciertos grupos superficiales, lo que puede conseguirse por oxidación con algún tipo de agente oxidante que crea grupos oxigenados, dando lugar a la adsorción de moléculas de agua, que a su vez adsorberán nuevas moléculas por formación de puentes de hidrógeno; de esta forma se incrementa el carácter hidrófilo, que resulta beneficioso para la adsorción de compuestos inorgánicos en fase acuosa (Nuñez, 2017).

### 2.4.1. Propiedades físicas y químicas de los carbones activados

La estructura porosa interna de los carbones activados es tan desarrollada y accesible a los procesos de adsorción, que le otorga su principal característica, su gran capacidad adsorbente. Los carbones activados son materiales adsorbentes muy versátiles debido a que el tamaño y la distribución de los poros pueden ser controlados mediante la elección del precursor, el método de activación y el control de las condiciones de preparación (Jaramillo & Burgos, 2015).

De acuerdo a la clasificación de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), los poros se clasifican en función de su tamaño de diámetro en tres grupos principales, como se muestra en la figura 1.

- Microporos: diámetro de poro menor de 2 nm.
- Mesoporos: diámetro de poro entre 2 nm y 50 nm.
- Macroporos: diámetro de poro mayor de 50 nm.



**Figura 1. Gránulo de carbón activado.**

Aunque los principales responsables de la adsorción en un carbón activado son los microporos, ya que son los que contribuyen en mayor medida a la superficie específica del carbón, ya que facilitan el acceso de los adsorbatos a los microporos. Las propiedades adsorbentes de los carbones activados se deben a su estructura porosa y también se ve definitivos por su naturaleza química, ya que poseen en su estructura pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, o nitrógeno, lo que da como resultado que sustancias polares sean retenidas sobre la superficie del carbón activado (Jaramillo & Burgos, 2015).

La contaminación de las fuentes hídricas debido al incremento de los contaminantes tóxicos provenientes de los efluentes generados por las actividades antropogénicas es uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta el hombre actualmente. Algunos de los residuos más peligrosos son los metales pesados como el Níquel, Cromo, Cadmio, Mercurio, entre otros, los cuales aunque se presenten en bajas concentraciones tienen un gran impacto sobre la vida acuática y la salud humana, puesto que causan problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, hipertensión, alteración del material genético, cáncer, alteraciones neurológicas e incluso la muerte (Lara, 2016).

## **2.4.2. Características Físico Químicas del Carbón Activado**

### **2.4.2.1. Área Superficial**

El área superficial depende mucho del tipo de activación y de la materia prima utilizada, el momento que se da la activación ya sea química o física se genera o se brinda porosidad al material el que le concede la propiedad de adsorción ya sea de gases, líquidos, vapores y sólidos coloidales, lo que lo hace de suma importancia en la industria de transformación química y petroquímica (Carrasco & Londa, 2018).

### **2.4.2.2. Método BET**

El área superficial se obtiene por medio de medida de adsorción física por el llamado método BET, desarrollado por Brunauer, Emmet y Teller, en 1938 extendieron la teoría cinética de Langmuir a la adsorción de múltiples capas (la teoría de Langmuir describe que una molécula se adsorbe en un sitio de superficie libre y que una monocapa de tales especies se puede lograr, teniendo un calor constante de adsorción  $\Delta H_1$ ), la extensión indica que las capas adicionales se pueden adsorber sobre la primera capa formada, con los calores de adsorción equivalentes al calor latente de la vaporización del gas (Chungata, 2017).

### **2.4.2.3. Porosidad**

Al referirse del tamaño de los poros del carbón activado, estaríamos tomando en cuenta un rango amplio donde las dimensiones más próximas son los micrómetros. IUPAC posee la clasificación por tamaños, comprendiendo las siguientes clases de poros (Aparcana & Olivera, 2018).

- Macroporos: poros de tamaño superior a 50 nm.
- Mesoporos: poros de tamaño entre 2 y 50 nm.
- Microporos: poros de tamaño inferior a 2 nm.

Densidad Aparente Al secarse el carbón activado en aire llega a pesar en g/cm<sup>3</sup>, donde se incluirá los espacios que existen entre las partículas y los poros, esto es importante para determinar el volumen de cama que contendrá una masa específica de carbón activado granular (Aparcana & Olivera, 2018).

### **2.4.2.4. Dureza**

A pesar de la gran variedad de métodos para evaluar la dureza, no hay alguno que brinde las condiciones reales provocando el rompimiento del carbón en distintas etapas de uso, erosión y retro lavado. El rango de medición recomendado es entre 0 y 100. Según el manual ASTM D-3802 esta detalla explícitamente que se agite la muestra de carbón junto con balines de acero al esperar 30 minutos se tiene que medir un porcentaje en peso de carbón que queda sobre una malla por el cual la abertura es lo más cercano a la mitad de la abertura de la malla que puede definir el mínimo tamaño de partícula nominal de la muestra original (Rios, 2018).

### **2.4.2.5. Rango de tamaño de partícula**

La distribución del tamaño de partícula como muchos de los métodos utilizados para este análisis, según la ley de Stokes. Este método, permite un funcionamiento automático y sin supervisión. Con él se llega a reducir los errores, esto dando como resultado un porcentaje de error de sólo 1,5%, muy inferior a cualquier método convencional (Moreno & Márquez, 2018).

#### **2.4.2.6. Tamaño efectivo de la partícula**

El tamaño efectivo no tiene específica un rango si no que para cada caso será diferente, puesto que todo es depende de la presión que esté disponible para el flujo y de la necesidad o no que el carbón activado cumpla su función de filtración. Teniendo en cuenta el tamaño óptico efectivo se puede llegar a la definición como el diámetro medio de la esfera (en el carbón activado). Así mismo, las partículas no llegan a ser esferas a la vez son difíciles de medir con precisión (Rios, 2018).

#### **2.4.2.7. Contenido de Cenizas**

Se sabe que es el residuo que queda después de exponer a 650 °C, llegar a un peso constante y su expresión es en términos de porcentaje en base seca. La cantidad y su composición pueden influir en ciertas propiedades y en la misma adsorción del carbón. Con la posibilidad de disminuir la presencia del carbón activado mediante lavados con ácido, esto se hace en el caso de proceso que se ven afectados por ellas. Al menor contenido de ceniza mayor es su temperatura de ignición disminuyendo el riesgo que esto pueda suceder debido a que las cenizas son potasio, óxidos de sodio y otros metales que actúan como chispa y producen la ignición de la cama de carbón saturado (Jiménez & Mantilla, 2016).

#### **2.4.2.8. pH**

Es la medida de la diferencia de potenciales de hidrogeno de carbón activado, originada por la solución en agua de sustancias contenidas en el carbón activado, tanto en caliente a 80 ° c como en temperatura ambiente debe estar seco (Lazo, 2015).

### **2.5. Adsorción**

La adsorción es una operación unitaria de separación de mezclas fluidas que se produce por la retención de uno o varios componentes sobre la superficie interna de un sólido poroso. Esta adsorción se produce por la existencia de fuerzas de interacción entre el adsorbato y el adsorbente. Según el grado de interacción adsorbente-adsorbato la adsorción puede ser física, producida por fuerzas intermoleculares del tipo de Van Der Waals o puentes de hidrogeno, o química, donde la fuerza de atracción es similar a la de un enlace químico (Michelangeli, 2018).

El rendimiento de los procesos de adsorción depende de:

❖ **Las propiedades del sorbente:**

- Tamaño del pellet.
- Distribución del tamaño del poro y área de la superficie interna.
- Composición del material sorbente.

❖ **De las condiciones ambientales:**

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Concentración del gas a eliminar.

❖ **Del diseño del lecho:**

- La profundidad del lecho
- La porosidad del lecho.
- El caudal de trabajo.
- La densidad del relleno (Michelangeli, 2018).

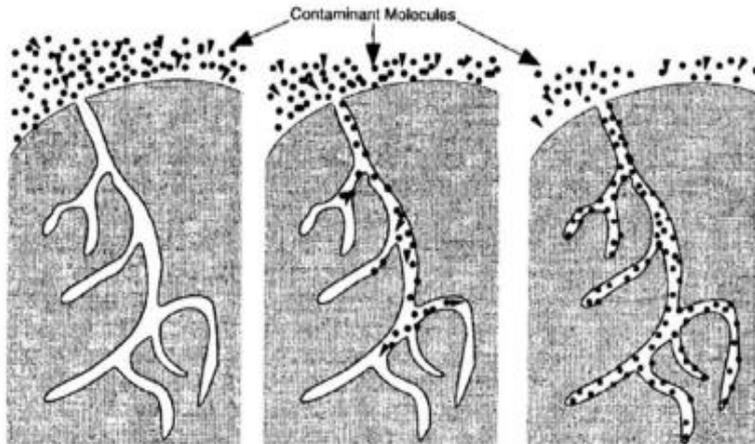
## **2.5.1. Adsorción física y Química**

### **2.5.1.1. Adsorción física**

Se basa en las fuerzas de van der Waals (fuerzas intermoleculares) entre el gas y el sorbente / gas, que no conducen a un cambio significativo en los patrones orbitales electrónicos del gas y el sorbente. Los sorbentes se pueden regenerar fácilmente cambiando la temperatura o la presión. La cantidad de gas adsorbido en un adsorbente es proporcional a la masa  $m$  de la muestra. Además, también depende de la temperatura  $T$  y de la presión  $p$  del gas, así como de las propiedades primitivas del adsorbente y el adsorbato (Cabello, 2019).

### **2.5.1.2. Adsorción Química**

Se ocasiona cuando las partículas adsorbidas entran en reacción bajo un principio químico con la capa exterior. Este tipo de adsorción conocido como quimisorción, se destaca por la unión química muy integrada entre el adsorbato y el adsorbente, por lo que es más difícil de revertir y necesita una mayor cantidad de energía para descartar las moléculas adsorbidas respecto a la adsorción física (Arangundi, 2018).



**Figura 2. Etapas del proceso de adsorción**

**Fuente:** Etapa de proceso de adsorción (Jiménez & Mantilla, 2016).

## **2.6. Biomasa**

La producción de biomasa tiene la particularidad de integrar al sector forestal, como generador de materias primas, y al sector industrial, como transformador de las mismas en distintos tipos de energía (electricidad y calor o ambas al mismo tiempo). Por otro lado, tiene la ventaja de que la biomasa puede ser transformada en varios tipos de combustibles (líquidos, sólidos y gaseosos), lo que permite cierta flexibilidad al momento de optar por alguna alternativa que se adapte a las condiciones y/o situaciones particulares del momento (Resquin, 2019).

### **2.6.1. Caracterización de las Biomosas**

Mediante la caracterización de la biomasa se obtiene información sobre las propiedades físicas que tiene, como su humedad, tamaño de partícula, densidad aparente, densidad partícula y durabilidad si procede, sobre sus propiedades químicas, como son la composición elemental, el contenido en volátiles, contenido en cenizas y contenido en elementos inorgánicos minoritarios y mayoritarios y sobre sus propiedades termoquímicas, entre las que destacan el poder calorífico (Portero, 2018).

### **2.6.1.1. Densidad Real**

La optimización de la producción se debe realizar en función del diseño del cultivo, a través de la definición de la densidad y el turno de corta adecuado, que, por otra parte, están vinculados a la logística de recolección y transporte. Esta labor la ha desarrollado también el centro de investigación, apoyado por la parte industrial, para tratar de asociar los temas puramente forestales (Saint & Gutiérrez, 2015).

### **2.6.1.2. Porosidad**

Hace relación a la fracción de su volumen que está siendo ocupado por espacio vacío. Es una medida de rugosidad y de capacidad de superficie, en donde por efectos prácticos se calcula a partir de las densidades aparente y real de la muestra. La porosidad es importante dentro de los procesos de adsorción, ya que esta determina el espacio disponible entre las partículas, que será llenado por el líquido (Freire, 2018).

## **2.7. Cacao en Ecuador**

“El nombre científico del cacao es teobroma de cacao que en griego significa comida de los dioses, es un árbol nativo de las selvas de América central y del sur”. “El cacao es una fruta de origen tropical, su altura es de 5-8 metros, las hojas de forma alargada y de color verde oscuro, las flores son pequeñas y los pétalos son largos”.

El tamaño, el color y la forma de los frutos del cacao son variados, aunque la mayoría tiene unos 30 cm. La cáscara es gruesa y de una consistencia similar al cuero. Ecuador es un país de biodiversidad, gracias a su ubicación geográfica y sus características edafoclimáticas. Su economía se basa en la agricultura, principalmente en la producción de cacao, que en 2014 registró una exportación de 235,000 toneladas métricas (Sanchez & Lapo, 2018).

Existen vestigios de que en el Ecuador existió la primera planta de cacao cultivada domésticamente, es decir por la mano del hombre ya que antiguamente solo se encontraban las silvestres. Esto según arqueólogos mencionan que hace 5500 años a.c, en la provincia de Zamora Chinchipe vivía una comunidad denominada Palarta, que habitaban en casas circulares y que a su vez tenían templos donde alababan a sus dioses y honraban a sus muertos, aquí dentro de estas tumbas se encontraron vestigios de alimentos, entre ellos, el cacao, el cual lo consumían como una bebida energizante (Álvarez & Quilumba, 2018).

Actualmente, el Ecuador es el cuarto exportador mundial de cacao en grano y lidera la producción de la variedad de cacao fino de aroma con una participación del 63% a nivel mundial. La Unión Europea y Estados Unidos constituyen los principales destinos de exportación. Se conoce que actualmente la producción anual de cacao corresponde a 300 mil toneladas (Rodríguez, 2019).

### **2.7.1. Cáscara de cacao**

La cáscara de cacao es considerada como un subproducto o un desecho abundante proveniente de la explotación cacaotera, por ser un desperdicio agrícola con contenido celulósico, tiene una alta capacidad de adsorción de contaminantes, razón por la que es considerado como un adsorbente eficaz de contaminantes en solución acuosa. Estudios de caracterización han revelado varias cualidades de la cáscara de cacao, como, por ejemplo, su gran poder de absorción y de retención de agua, un alto contenido de grupos OH los que se asocian principalmente a la presencia de celulosas y ligninas y por último una alta biodegradabilidad (Freire, 2018).

La cascara de cacao es una cutícula, tiene las características de un material fibroso, crujiente, seco de color marrón y un aroma agradable como el chocolate. Cuando es removida la cascarilla puede contener del 2 al 3% de grano de cacao que no puede retirarse. Netamente la cascarilla de cacao en el Ecuador, se la utiliza como materia orgánica, en la elaboración de balanceados para animales, en la industria de abonos y fertilizantes (Morales, 2017). Se caracteriza por contar con vitamina A y C, fibra, pectina, teobromina componente que se caracteriza por tener en su formación química cafeína el

cual genera efectos estimulantes siendo este de manera incolora o blanca la cual genera el sabor a amargo tanto en el grano como en la cascara de cacao, también se encuentra constituida por calcio, magnesio, ácido oleico el cual permite la reducción de enfermedades cardiovasculares compuesto por omega ; ácido linoleico el cual está compuesto con omega y permite la disminución de enfermedades del sistema circulatorio (Valbuena, 2018).

Algunos estudios refieren la presencia de cadmio en las hojas y cascara de cacao (Sánchez, 2016), (Tuesta, 2019), (Álvarez & Quilumba, 2018). A nivel técnico, no se puede hablar de zonas de ocurrencia o con mayor concentración de cadmio en el Ecuador, ya que los valores pueden variar de una finca a otra (Rodríguez, 2019) y, aumentar en relación al manejo del cultivo, generando contaminación del suelo.

Por este motivo, siendo Ecuador unos de los principales países cacaoteros, desde el 2017 el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a través del Proyecto de Reactivación del Café y Cacao Nacional Fino de Aroma (PRCC), ha venido coordinado acciones con el sector público y privado para enfrentar dicha problemática, y desde el año anterior se comenzó a desarrollar la Agenda Nacional de Mitigación de cadmio (Rodríguez, 2019).

## **2.8. Método de Taguchi**

El método de Taguchi se distingue por haber desarrollado ideas novedosas. La calidad debe verse como la mínima pérdida ocasionada a la sociedad desde que el producto se embarca y puede expresarse en forma matemática. El método de Taguchi aun cuando no se ha aplicado extensivamente en la industria de alimentos promete ser una herramienta útil para el mejoramiento de la calidad. A comparación de otros diseños factoriales, necesita pocos datos para determinar los parámetros que más influyen en la respuesta y la optimización, con una cantidad mínima de experimentos, de esa manera se logra ahorrar recursos (Sotomayor , 2019).

Existen diversos tipos de DOE, entre ellos, el método de Taguchi. El japonés Genichi Taguchi innovó y simplificó el DOE clásico con la introducción de las tablas conocidas como arreglos ortogonales (AO), que son una modificación de las matrices de Hadamard (matrices ortogonales  $n \times n$ ). A través de un AO se determina de una manera estandarizada la combinación de los niveles de los factores que se probarán en cada ensayo. Los AO permiten examinar hasta un total de  $n-1$  factores, siempre y cuando no se consideren las interacciones entre los mismos. La visión acerca de la mejora de la calidad de Taguchi es integral: no sólo propone un método para optimizar la media de los procesos, sino también brinda un método para disminuir la variabilidad presente en todo proceso (Hernández , Guillon , & García , 2015).

Según Taguchi, es importante hacer que la función del producto se acerque lo más posible a la función ideal. Por lo tanto, es muy importante medir correctamente la distancia entre el rendimiento del producto y la función ideal. Para medir esta diferencia, tenemos que considerar los siguientes problemas:

- Identificar la señal y el ruido
- Seleccione varios puntos del espacio
- Seleccione un parámetro de diseño adecuado para observar el rendimiento
- Considerar un posible método de calibración o ajuste
- Seleccione una medida apropiada relacionada con la distancia media (Canchucaja, 2018).

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1.1. Obtención de carbón activado granular a partir de cáscara de cacao por activación química**

#### **3.1.1.1. Obtención de la materia prima y determinación del porcentaje de humedad en peso húmedo y seco**

Para el proceso de obtención del carbón activado se aplicó la metodología de (Mendez, 2019), con algunas modificaciones, según se detalla a continuación:

Se colectó la cáscara de cacao en la plantación del Sr. Aquiles Alcívar localizada en el Cantón “El Empalme”. El material colectado fue observado minuciosamente para evitar la presencia de alteraciones físicas originada por alguna plaga y/o enfermedad. La materia prima se lavó con agua destilada a 60°C por 30 minutos bajo una agitación de 100rpm para extraer partículas y polímeros de desechos (figura 3), luego se secó a 120°C durante 24 horas. Se pesó en estado húmedo y seco para determinar el porcentaje de humedad aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{(P_H - P_S)}{P_H} * 100 \quad (1)$$

Dónde:  $P_H$ : peso húmedo en (g)

$P_S$ : peso seco en (g)

#### **3.1.1.2. Activación química**

##### **a) Preparación de la materia prima mediante activación química**

La materia prima seca se molió para disminuir su tamaño de partícula a 0-1 mm, 1-2 mm y, 2-3 mm. Para proceder a impregnar con una solución concentrada de ácido ortofosfórico al 85% en una proporción de 1:5; es decir, 1 gramo de materia prima con 5 ml de ácido ortofosfórico que se mantuvieron en contacto por 24 horas. Transcurrido este tiempo, se realizaron varios lavados con agua destilada adicionando Hidróxido de Sodio a 1 Molar para regular la muestra a un pH neutro, seguida de filtración. A continuación, se secó en estufa a 200 °C durante 2 horas (Figura 3).

**Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración del carbón activado**



**Fuente.** Elaborado por autora

## **b) Carbonización**

Se tomó 3 g de la materia prima tratada con el agente activante (ácido ortofosfórico) y se llevó a mufla preparada a temperaturas de 375°C, 350°C y 325°C; durante 20 min, 30 min y 40 min. El carbón obtenido se lavó por tres ocasiones con agua destilada (hasta que no presente coloración). A continuación, se secó en mufla a 110°C durante 2 horas. Se pesó el producto obtenido y se registraron los datos. Determinando el rendimiento del producto aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Carbón } \left(\% \frac{P}{P}\right) = \frac{\omega_{\text{carbón}}}{\omega_{\text{biomasa}}} \quad (2)$$

Donde  $\omega_{\text{biomasa}}$  es la masa inicial y  $\omega_{\text{carbón}}$  es el peso del residuo sólido remanente luego de la reacción.

### **3.1.2. Evaluar la influencia de la temperatura, tamaño y el tiempo en la obtención del carbón activado**

El análisis estadístico se realizó mediante el programa STATGRAPHICS Centurion XVI (StatPoint Technologies, Inc. 1982-2010), aplicando un diseño experimental ortogonal  $L_9$  ( $3^4$ ) (Tabla 3). Se determinaron variables de media y varianza como estadística descriptiva. Posteriormente se realizó un análisis multivariante con una ANOVA Multifactorial en el cual se efectuó el análisis de varianza, separación de medias y múltiples rangos de Tukey HSD donde los factores de estudio son Tamaño de partícula, Temperatura, Tiempo y Concentración de Ácido Ortofosfórico (Tabla 2) y la variable dependiente fue el rendimiento del producto.

La metodología de Taguchi permitió seleccionar el mejor tratamiento en la preparación de carbón activado en relación a la temperatura, tiempo de obtención del carbón activado y peso, los cuales fueron consideradas en la prueba de adsorción.

**Tabla 1. Factores en estudio de carbonización.**

Nombre	Código	Niveles en estudio		
		1	2	3
Tamaño de partícula (mm)	A	0-1 mm	1-2 mm	2-3 mm
Temperatura (°C)	B	375	350	325
Tiempo (min)	C	20	30	40
Acido Orto fosfórico (%)	D	85	85	85

**Tabla 2. Diseño de los tratamientos de carbonización.**

Tratamientos	Factores			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

La metodología de Taguchi, es un método innovador en el diseño de experimentos, se centra en la robustez del proceso de diseño de un producto o servicio con el fin de acercarse a las especificaciones deseadas, mediante la determinación de las condiciones de funcionamiento del proceso, de modo que las características del producto estén tan cerca como sea posible del valor objetivo y la variabilidad de dicho objetivo se minimice, facilitando de esta manera la selección del proceso.

Se realizó el análisis de varianza de varios factores para masa de carbón con varias pruebas y gráficas y se determinó los factores con efecto estadísticamente significativo sobre masa de carbón. Se evaluó la significancia de las interacciones entre los factores. Las pruebas-F en la tabla ANOVA identificó los factores significativos. Las Pruebas de Rangos Múltiples reportaron las medias con diferencia significativa entre ellas. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones facilitó interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos permitieron identificar si los datos difirieron de los supuestos subyacentes al análisis de varianza.

### **3.1.3. Identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Quevedo**

Se establecieron tres puntos de muestreo identificados como zonas: 1, 2 y 3, detalladas en la Tabla 4. Se realizaron tomas de muestras simples o puntuales de los efluentes de aguas residuales liberados al río de Quevedo. La muestra simple es aquella que se recoge de una sola vez, reflejándose de esta forma las condiciones del medio en un momento concreto. Se lleva a cabo cuando se desea analizar parámetros como el pH, el oxígeno disuelto, la temperatura, etc., que precisen una determinación rápida, si el efluente fluye sólo de forma intermitente y, si el muestreo es constante en el tiempo.

Considerando que los puntos de muestreo seleccionados, presentaron una variación en relación a la hora de liberación de las aguas residuales y las condiciones antes mencionadas, se realizó la toma de una muestra de agua en cada uno de los puntos a las 08H00 am, hora en la cual y previa observación, se determinó mayor salida de aguas residuales.

El proceso de muestreo se fundamentó en las Normas Técnicas Ecuatorianas vigentes en el Ecuador:

- 1) NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del Agua, muestreo, manejo y conservación. Correspondió al análisis físico (pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Turbidez) y químicos (Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Oxígeno Disuelto (OD), Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>))
- 2) NTE INEN 2176:98 Calidad de agua, técnicas de muestreo. Correspondió al análisis físico para determinar el cambio de temperatura.
- 3) NTE INEN 1105:1983. Permitió realizar el análisis biológico y se determinó coliformes totales.

Los valores de referencia que se utilizaron para el análisis de los resultados de los parámetros (físico, químico y microbiológicos) corresponden a la normativa nacional del acuerdo ministerial N°97-A (TULSMA, 2021). En los cuales se detallan los criterios de calidad de agua para consumo humano y doméstico, en función de los límites permisibles, los cuales permitirán determinar si los rangos son aceptables para consumo humano.

Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios y criterios de calidad de aguas para riego agrícola. Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de la planta de tratamientos de la Municipalidad del Cantón el Empalme, de acuerdo a la metodología establecida por Standard Methods.

Los resultados obtenidos permitieron identificar las características (físicoquímicas y microbiológicas) presentes en las muestras de agua (antes y después del proceso de adsorción con carbón activado). Los resultados obtenidos permitieron comprobar si el carbón activado con mayor adsorción en azul de metileno ejercía la misma adsorción en las muestras de agua del río Quevedo.

**Tabla 3. Puntos de estudio.**

Zonas	Localización del sector	Coordenadas	
Zona 1	Mercado del río – Puente N° 2	X: 670731	Y: 9886397
Zona 2	Malecón – Puente Velasco Ibarra	X: 670819	Y: 9886975
Zona 3	Plaza de mariscos – Mercado de San Camilo	X: 670940	Y: 9886755

Los parámetros analizados se indican en la tabla 4.

**Tabla 4. Parámetros de análisis de agua del río Quevedo antes y después de filtrar**

Características Físico – Químicas	Unidad	Microbiológicas	Unidad
Color verdadero	Unds Pt/Co	Coliformes Totales	NMP/100 ml
Temperatura	°C		
Turbiedad	NTU		
PH	-		
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/l		
Sólidos en Suspensión	mg/l		
Oxígeno Disuelto	mg/l		
Fosfato	mg/l		
DBO <sub>5</sub>	mg/l		

**Fuente:** Elaborado por autora

### **3.1.4. Capacidad de absorción y porcentaje de remoción del carbón activado obtenido a partir de cáscara de cacao**

El análisis estadístico (Taguchi) aplicado, permitió seleccionar el mejor tratamiento en la producción de carbón activado. Se utilizaron todas las muestras de carbón activado obtenidos en el proceso de carbonización para las pruebas de absorbancia con azul de metileno y las muestras de agua tomadas en el río Quevedo. La metodología aplicada consistió en varias etapas:

#### **a) Pruebas de absorbancia con azul de metileno**

Se realizó la Prueba de Longitud de Onda (PLO) Es una técnica analítica de espectrofotometría para cuantificar la cantidad inicial y final de contaminantes orgánicos contenidos en un medio acuoso. El equipo utilizado fue el Espectrofotómetro marca HACH DR 3900 del laboratorio de Aguas y suelos de la UTEQ. Se aplicó el siguiente protocolo:

La solución madre se preparó con 0,1g de azul de metileno en un Erlenmeyer de 1000 ml con agua desionizada, de la cual se realizó la curva de calibración del espectrofotómetro UV a 6, 8, 10, 12 14, 16 y 18 ppm, curva que no puede ser menos de 0,98 ni pasar valores de 0,99. Se preparó la submuestra 1, que consistió en 500 ml de la solución madre con 0,1 g de carbón activado para realizar la prueba de error manteniéndola en agitación. se tomaron 50 ml de la submuestra 1, de la cual se tomó 10 ml con 30 ml de agua desionizada para realizar la prueba de absorbancia cada 30 minutos en el espectrofotómetro, lo cual correspondió al factor dilución.

Se buscó el máximo de absorción para las pruebas con azul de metileno puro y empleando como blanco agua desionizada, se utilizó un factor de dilución (número que indica las veces que debe diluirse una solución para obtener una de menor concentración, por lo tanto, su concentración depende del número de partículas del soluto y del volumen total)

Los tratamientos del diseño se evaluaron en la prueba de absorbancia en los cuales se determinó el poder de la adsorción en la decoloración de azul de metileno valores que se obtuvieron mediante curvas de calibración usando regresiones lineales. Las estimaciones

se ajustaron a la variable real. Esta información obtenida se analizó mediante la construcción de la curva de adsorción de azul de metileno en función del tiempo, identificando el mejor tratamiento.

#### **b) Pruebas de absorbancia con carbón activado**

Las muestras de carbón activado que presentaron mayor absorbancia con azul de metileno, fueron utilizadas en las pruebas de absorción del agua del río Quevedo, para lo cual se diseñaron dos filtros.

- a) El primer filtro, denominado “FILTRO COMPUESTO” elaborado con una botella plástica de 3lt (ver Anexo 12) que contenía varias capas de material filtrante: algodón, gravilla gruesa (1 lb), gravilla fina (1/2 lb), arena gruesa (1/2 lb) y dos capas de Carbón activado (30 g c/u). La primera capa correspondió al carbón activado de 2 - 3 mm a 350°C por 20 minutos que presentó absorción más homogénea en el proceso de adsorción con azul de metileno; la segunda con la muestra de carbón activado de 0 -1 mm a 375°C por 20 minutos que presentó absorción lineal
- b) El segundo filtro contenía algodón y dos capas de carbón activado utilizados en el filtro compuesto.

Se realizó análisis físico, químico y microbiológico al agua filtrada para determinar la capacidad depurativa de los carbones activados seleccionados en esta investigación.

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **4.1. Obtención de carbón activado granular a partir de cáscara de cacao por activación química**

### **4.1.1. Obtención de la materia prima y determinación del porcentaje de humedad en peso húmedo y seco**

Se determinó que las muestras de la cáscara de cacao presentan el 90,43% de agua en su estructura, quedando un peso de 9,57 % de materia prima disponible para el proceso de carbonización. Como se muestra a continuación en la aplicación de la fórmula que permitió determinar el porcentaje de humedad.

$$\% \text{Humedad} = \frac{(P_H - P_S)}{P_H} \times 100$$

$$\% \text{Humedad} = \frac{(3620,6 - 346,44)}{3620,6} \times 100$$

$$\% \text{Humedad} = 90,43$$

El porcentaje de humedad corresponde al 90,43% de humedad, muy por encima del reportado por (Burgos & Jaramillo, 2015), quienes refieren el valor de 15,41%, menor al asignado al carbón activado comercial. Se podría considerar el incremento de humedad en este trabajo investigativo porque la materia prima fue colectada en época de invierno.

(Abney, 2015), menciona que la humedad influye en la calidad del carbón activado por que cuanto más baja sea la humedad, mayor será la capacidad de adsorción. Según la Norma INEN 1991:84, el valor permitido de porcentaje de humedad del carbón activado en polvo es un máximo de 12% m/m.

#### **4.1.2. Porcentaje de rendimiento de la cáscara de cacao en estado seco hasta el producto final (carbón activado)**

$$\text{Carbón}\left(\% \frac{P}{P}\right) = \frac{\text{Carbón}}{\text{Biomasa}}$$

$$\text{Carbón}\left(\% \frac{P}{P}\right) = \frac{49,9698}{81,0512}$$

$$\text{Carbón}\left(\% \frac{P}{P}\right) = 0,6165 \times 100$$

$$\text{Carbón}\left(\% \frac{P}{P}\right) = 61,65\%$$

En el proceso de obtención del carbón activado se presentan pérdidas durante la activación y lavado por lo que es necesario realizar el cálculo para determinar la rentabilidad a mayor escala. El porcentaje de rendimiento obtenido en la elaboración de carbón activado a partir de cáscara de cacao es del 61,65%, con el 38,35% de pérdida en el proceso de activación química. De acuerdo a lo expuesto por (Burgos & Jaramillo, 2015), partiendo de 500 g en peso seco de cáscaras de cacao, obtuvo un rendimiento de carbón activado del 30%, lo cual es inferior a los resultados obtenidos en esta investigación.

En el trabajo investigativo de (Suárez & Villegas , 2019), se reporta un rendimiento del carbón activado en cacao del 30,20% al 36,27% con temperaturas de 500°C a 700°C a 30, 60 y 90 minutos. Los valores reportados por (Burgos & Jaramillo, 2015) y (Suárez & Villegas , 2019) son inferiores a los de la presente investigación, es decir el rendimiento está por debajo del 61,25%. (Suárez & Villegas , 2019), menciona que los carbones sometidos a la temperatura de 500°C presentan mayor cantidad de masa residual y por ende mayor rendimiento que los carbones que fueron sometidos a 700°C. Manteniendo un intervalo del 30% al 36% a 500°C, 600 °C y 700 °C durante 30, 60 y 90 minutos. Simultáneamente, los carbones sometidos a un mayor tiempo de exposición presentan menor rendimiento. Esto debido a que a mayor temperatura y tiempo de exposición se acentúa la pérdida de material volátil.

## 4.2. Evaluar la influencia de la temperatura, tamaño y el tiempo en la obtención del carbón activado

El análisis de varianza determinó los factores que presentaron efecto estadísticamente significativo sobre la masa de carbón y determinó la significancia de las interacciones entre los factores. Las pruebas-F en la tabla ANOVA permitió identificar los factores significativos y las Pruebas de Rangos Múltiples informaron las medias significativamente diferentes de otras.

La tabla 5 descompone la variabilidad de la masa de carbón en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre masa de carbón con un 95,0% de nivel de confianza.

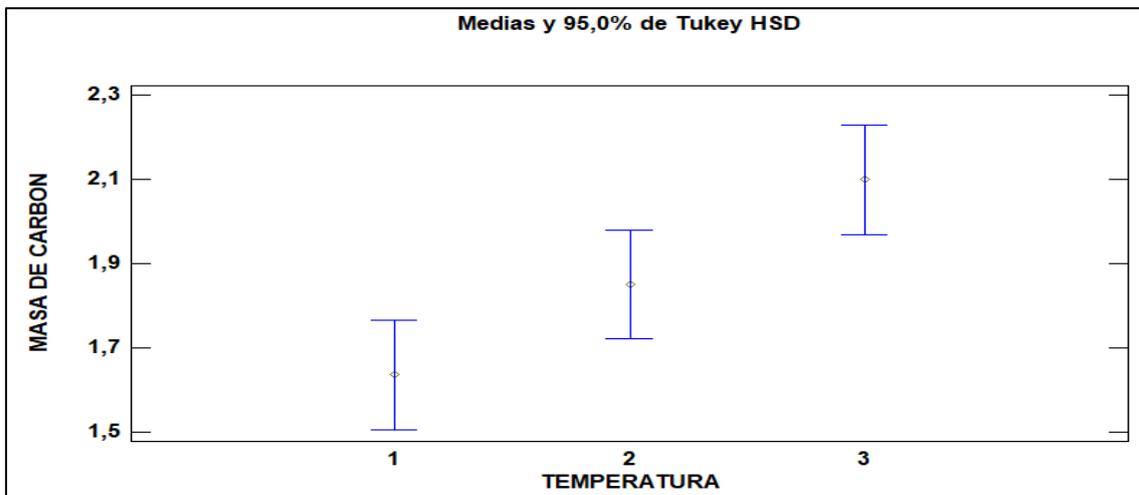
**Tabla 5. Análisis de Varianza para masa de carbón.**

Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: TAMAÑO DE PARTICULA	0,180285	2	0,0901427	1,94	0,1724
B: TEMPERATURA	0,971172	2	0,485586	10,46	<b>0,001</b>
C: TIEMPO	0,0289724	2	0,0144862	0,31	0,7359
D: ÁCIDO ORTOFOSFORICO	0,0843284	2	0,0421642	0,91	0,421
RESIDUOS	0,835874	18	0,0464375		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>2,10063</b>	<b>26</b>			

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

Los resultados referidos en la tabla 5 reportan que existe influencia de un factor sobre la producción de carbón activado de cáscara de cacao la temperatura de carbonización. Hecho que se observa claramente en el gráfico de medias del factor. Además, se evidencia la no influencia de los Factores de Tamaño de Partícula, Tiempo de Carbonización y Concentración en la producción de carbón activado de cáscara de cacao. Probablemente porque el intervalo de tiempo de carbonización es de 10 min entre los niveles (20 min, 30 min, 40 min) y con respecto a la concentración de ácido ortofosforico es constante en los niveles al 85% como agente químico activante (Figura 4).

**Figura 4. Gráfico de medias de masa de Carbón versus Temperatura de carbonización.**



La tabla 6 aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la tabla, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 6. Pruebas de Múltiple Rangos para masa de carbón por tamaño de partícula.**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD				
TAMAÑO DE PARTICULA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	9	1,74893	0,0718312	X
+2	9	1,89699	0,0718312	X
3	9	1,93961	0,0718312	X
00				
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
1-2		-0,148056	0,259383	
1-3		-0,190678	0,259383	
2-3		-0,0426222	0,259383	

\* indica una diferencia significativa.

La tabla 6 refiere que no encontró diferencia significativa todos los grupos son Homogéneos, por lo que se concluye que el tiempo de carbonización no influye en la producción de carbón activado.

En la tabla 7 se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se colocó un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 7. Pruebas de Múltiples Rangos para masa de carbón por temperatura.**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD					
TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	
1	9	1,63528	0,0718312	X	
2	9	1,85081	0,0718312	XX	
3	9	2,09944	0,0718312	X	
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites		
1-2		-0,215533	0,259383		
1-3	*	-0,464167	0,259383		
2-3		-0,248633	0,259383		

\* indica una diferencia significativa.

Los resultados reportados en la tabla 7 refieren dos grupos independientes, mostrando que a mayor temperatura de carbonización (375°C) y (350°C) se obtiene mayor producción de carbón activado, por lo que se concluye que la temperatura de carbonización influye en la producción de carbón activado.

En la tabla 8 se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la tabla, se identificó un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 8. Pruebas de Múltiple Rangos para masa de carbón por tiempo.**

<b>Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD</b>				
TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	9	1,82303	0,0718312	X
2	9	1,85934	0,0718312	X
1	9	1,90316	0,0718312	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
1-2		0,0438111	0,259383	
1-3		0,0801222	0,259383	
2-3		0,0363111	0,259383	

\* indica una diferencia significativa.

La tabla 8 refiere que no se encontró diferencia significativa todos los grupos son Homogéneos, por lo que se concluye que el tiempo de carbonización no influye en la producción de carbón activado.

La tabla 9 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la tabla, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa

(HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 9. Pruebas de Múltiple Rangos para masa de carbón por ácido ortofosfórico.**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD				
ÁCIDO				
ORTOFOSFORICO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	9	1,79546	0,0718312	X
1	9	1,8579	0,0718312	X
2	9	1,93218	0,0718312	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
1-2		-0,0742778	0,259383	
1-3		0,0624444	0,259383	
2-3		0,136722	0,259383	

\* indica una diferencia significativa.

Los resultados en la tabla 9 indican que no se encontró diferencia significativa, se concluye que el tiempo de carbonización no influye en la producción de carbón activado.

La tabla 10 muestra la media de masa de carbón para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias.

**Tabla 10. Medias por Mínimos Cuadrados para masa de carbón.**

Intervalos de confianza del 95,0%					
Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	27	1,86184			
TAMAÑO DE PARTICULA					
1	9	1,74893	0,0718312	1,59802	1,89985
2	9	1,89699	0,0718312	1,74608	2,0479
3	9	1,93961	0,0718312	1,7887	2,09052
TEMPERATURA					
1	9	1,63528	0,0718312	1,48437	1,78619
2	9	1,85081	0,0718312	1,6999	2,00172
3	9	2,09944	0,0718312	1,94853	2,25036
TIEMPO					
1	9	1,90316	0,0718312	1,75224	2,05407
2	9	1,85934	0,0718312	1,70843	2,01026

3	9	1,82303	0,0718312	1,67212	1,97395
ÁCIDO ORTOFOSFORICO					
1	9	1,8579	0,0718312	1,70699	2,00881
2	9	1,93218	0,0718312	1,78127	2,08309
3	9	1,79546	0,0718312	1,64454	1,94637

En la tabla de Medias, el error estándar indica una misma dispersión entre los niveles y Factores, evidenciándose mediante la Media que el tamaño de la partícula con mejor producción de carbón activo es el 3 (2mm a 3mm) con una media de 1,93961 gr de carbón activo, la temperatura de carbonización con mejor producción de carbón activado es la 3 (325°C) con una media 2,09944 gr de Carbón Activo, el tiempo de carbonización con mejor producción de carbón activado es la 1 (20 min) con una media 0,948367 gr de Carbón Activado, la concentración del agente químico activante con mejor producción de carbón activado es la 2 ( 85% Acido Orto fosfórico) con una media 0,883878 gr de carbón activado.

La tabla 10 reporta que los valores óptimos en la producción de carbón activado de Cacao son: Tamaño de Partícula de 2 a 3 mm, Temperatura de Carbonización 325 °C, Tiempo de Carbonización 20 min y 85% de concentración de Ácido Ortofosfórico como agente activante químico cuyo código es A3B3C1D2.

De acuerdo a (Burgos & Jaramillo, 2015), la variación del tiempo (90 minutos, 120 minutos, 150 minutos) y temperatura (150°C, 200°C, 250°C), determinaron que las mejores condiciones para obtener carbón activado a partir de cacao por activación física se lograron a 200°C por 120 minutos, consiguiendo la carbonización total de ambas materias primas. Las condiciones de activación influyen de forma importante en las características fisicoquímicas de los carbones activados. A mayor tiempo y temperatura se produce la presencia de cenizas (250°C), a menor tiempo y temperatura no hay reacción o se presenta ligera carbonización (150°C).

El resultado obtenido en la tabla 10 no implica que sea el tratamiento de mejor absorción de contaminantes del agua, por lo que se realizó la prueba de absorbancia con Azul de Metileno.

### 4.3. Identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Quevedo

De acuerdo a (Almazán & Almazán , 2016), los diferentes parámetros que determinan la calidad del agua de los ríos para consumo humano u otro fin, dependen de la temporada del año en que se toman las muestras, de las condiciones sociodemográficas, de los factores ambientales y de la ubicación geográfica. Condiciones que pudieren haber incidido en los resultados alcanzados en esta investigación.

En la tabla 11 se identifican los valores reportados en el análisis físico, químico y microbiológico de las muestras de agua tomadas en el río Quevedo, las mismas que se realizaron en el laboratorio del municipio de El Empalme, en los cuales se reporta que en la zona 3 se presentan los valores más altos en los parámetros estudiados.

**Tabla 11. Análisis de los parámetros físicos químicos y microbiológicos del río Quevedo**

PARÁMETROS	UNIDAD	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Color verdadero	Unds Pt/Co	51	27	310
Temperatura	°C	22,8	22,5	22,4
Turbiedad	NTU	7,47	4,22	20,4
Potencial de hidrogeno	PH	6,86	7,5	6,9
Nitratos (N-NO3)	mg/lt	2,7	2,4	12,2
Sólidos en suspensión	mg/lt	5	1	32
Oxígeno Disuelto	mg/lt	4,82	4,99	0,33
Fosfato	mg/lt	0,67	1,22	1,02
DBO5	mg/lt	2,1	2,23	3,2
Coliformes totales	NMP/100 ml	8600	6700	0

**Fuente:** Elaborado por autora

Se observa que, de manera general, en la zona 1 se mantienen valores menores en relación a las zonas de estudio 2 y 3, exceptuado la temperatura que mantiene 22,8°C, lo cual es preocupante, ya que valores alta de temperatura limitan la presencia de suficiente oxígeno

el agua y por lo tanto influirá en la presencia de especies acuáticas y la calidad de la misma.

Se detectó valores de 27 Unds pT/Co a 310 Unds pT/Co para el color verdadero del agua del río Quevedo, lo que identifica que en la zona 3 (Mercado de mariscos-San Camilo) se encuentra muy por encima del valor (75Unds Pt/co) establecido en el TULSMA para consumo humano. No se reporta valores para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces ni para calidad de agua dirigida al riego agrícola. La normativa para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de la República de Venezuela refiere el valor de < 150 Unds Pt/Co para consumo doméstico.

Se informa el valor de 109,13Unds Pt/Co para este parámetro. Es necesario referir que las muestras de agua corresponden al periodo invernal con el correspondiente arrastre de material orgánica y productos químicos generados en la actividad agrícola, lo cual, junto a la actividad de venta de mariscos, legumbres y frutas localizada estaría influyendo en el color verdadero (Ordoñez , 2017).

En este trabajo se determinó 22,4°C a 22,8°C de temperatura. No existen valores referenciales en el TULSMA ni la normativa mexicana. Se ha reportado valores de 18,8°C a 21°C (Robinson, 2015). De acuerdo al trabajo realizado por (Muñoz & Orozco, 2015), se refieren valores de 16,4°C a 19,7°C, con temperaturas mínimas en el periodo invernal y, según (Robinson, 2015) en el año 2013 se determinó valores de 27°C a 27,3°C y, 18,8°C a 21°C en el año 2015. En el trabajo de (Ordoñez , 2017) se reporta valores promedios del agua del río Quevedo con valores promedios de 35,14°C. Los resultados no coinciden en esta investigación. (Pérez, Arriola , & García , 2016), confirman que la temperatura puede variar de acuerdo a la temporada (invierno y verano) en la que se toman las muestras, inclusive si se toman en diferentes fechas de la misma temporada.

Se presentan valores de turbiedad con 7,47NTU en la zona 1 (Puente No.2-Mercado del río), 4,22NTU en la zona 2 (Malecón Puente Velasco Ibarra) y 20,4NTU en la zona 3 (Plaza de marisco-Mercado de San Camilo). Los resultados obtenidos pueden deberse al periodo invernal y, que en los puntos 2 y 3 se expulsa al río materia orgánica vegetal y animal, lo cual puede incidir en la turbiedad del agua por la descomposición de la materia orgánica liberada al río por los comerciantes. TULSMA refiere el valor de 100NTU para

consumo humano y no reporta valores para la vida acuática en aguas dulces y riego. La normativa mexicana no establece valores para este parámetro. La normativa para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de la República de Venezuela refiere el valor de < 250NTU para consumo doméstico.

(Almazán & Almazán , 2016), refieren que en la época de sequía se presenta un menor caudal comparado con el de lluvias, aumentando la turbiedad, debido a que por las lluvias el río presenta fuertes corrientes con considerable arrastre de materia suspendida. De manera general, en la época de invierno los sólidos sedimentables, suspendidos totales y la turbiedad presentaron valores fuera de la norma. (Robinson, 2015), refiere valores de 6NTU a 10,5NTU en turbidez, 6mg/l a 6,79 mg/l.

El pH obtenido en las muestras de agua del río Quevedo en el año 2021 mantienen valores de 6,86 a 7,5; los mismos que se encuentran en los límites permisibles en el TULSMA 6 a 9 para consumo humano y riego agrícola y, de 6,5 a 9 para la vida acuática y riego. La normativa mexicana refiere valores de 6,5 a 8,5 para consumo humano y de 4,5 a 9 para riego. La normativa para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de la República de Venezuela refiere el valor de 6,0 a 8,5 para consumo doméstico y preservación de la vida acuática y vida silvestre en aguas dulces.

(Robinson, 2015), informa que en el año 2013 se determinaron valores de 7,1 a 7,3 y de 7,23 a 7,47 en el año 2015. (Pérez, Arriola , & García , 2016), informa que los niveles de pH pueden oscilar entre 6,3 a 8, de acuerdo a las mismas circunstancias referidas en relación a la temperatura.

Se aprecia que los nitratos presentan un valor alto (12,2mg/l en la zona 3 y valores de 2,7 g/l en la zona 1; y, 2,4mg/l en la zona 2. TULSMA establece el valor de 10mg/l para consumo humano y, 6 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces y, para riego. La normativa para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de la República de Venezuela refiere el valor de 10mg/l para consumo doméstico. En el trabajo de (Ordoñez , 2017) se refiere valores promedios del agua del río Quevedo de 6,05mg/l. De acuerdo a (Peñafiel, 2014), los valores de nitratos se concentran en la época de estiaje (caudales bajos) y se diluyen

en la época lluviosa (caudales altos), lo que puede haber incidido en los valores obtenidos en esta investigación, ya que las muestras tomadas corresponden al periodo invernal.

Los sólidos en suspensión detectados en el agua del río Quevedo corresponden a valores de 5mg/lit en la zona 1, 1 mg/lit en la zona 2 y 32mg/lit en la zona 3, manteniéndose igual situación que en el color verdadero y DBO<sub>5</sub>, lo que puede estar inducido por arrastre de material orgánica proveniente de la venta de mariscos, legumbres, frutas y productos químicos generados en la actividad agrícola. Es pertinente referir que el estudio de los sólidos suspendidos adquiere importancia ya que en su superficie se transportan contaminantes y patógenos, por lo que, a mayor tamaño se localizará más carga de contaminantes presentes en el agua. TULSMA no establece valores para este parámetro. La normativa mexicana refiere el valor de 50mg/lit para aguas dirigidas al riego de cultivos, pero no refiere valores para consumo humano ni la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.

Para oxígeno disuelto se reporta valores de 4,82mg/lit en la zona 1; 4,99mg/lit en la zona 2 y, 0,33mg/lit en la zona 3, manteniendo muy poca diferencia en las zonas 2 con la zona 3, lo cual puede deberse al arrastre de producto químicos utilizados en la actividad agrícola que han sido arrastrados por el periodo invernal hacia el río Quevedo. TULSMA establece el valor de >80 para la preservación de especies acuáticas en aguas dulces y 3 para riego. La normativa mexicana refiere valores de 5 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces y, 6 para el agua dirigida al riego. No existen referencias para consumo humano. La normativa para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de la República de Venezuela refiere el valor de >4 para consumo doméstico y >5 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.

Si se considera que el OD es la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua, el cual es fundamental para la vida de las especies acuáticas, los valores inferiores a 5mg/lit afectan la vida acuática y un alto nivel de oxígeno disuelto otorga un mejor sabor al agua. (Robinson, 2015), informa valores 6mg/lit a 6,79mg/lit en el año 2015 para oxígeno disuelto.

Se ha reportado que en el agua del río Zahuapan predominan concentraciones de oxígeno disuelto con valores de promedios 3,05mg/lit a 3,34 mg/lit en el periodo de sequía al inicio del año y, 4,02mg/lit a 6,31mg/lit en la sequía después del periodo de lluvias, así como, que en el periodo invernal se mantienen valores de 5,07mg/lit a 6,02mg/lit, además, presentan mayores concentraciones en las mañanas y disminuyeron con el transcurso del día (Muñoz & Orozco, 2015), lo que indica que estos valores pueden variar en relación a la fecha y hora de la toma de muestras y si estas corresponden al periodo de sequía o invernal, así como a los productos químicos y actividad agrícola realizada en zonas colindantes al río.

Es pertinente referir que la producción primaria, la respiración de la comunidad y las tasas de aireación controlan los cambios de concentración del OD con respecto al tiempo (Riley, 2013).

La presencia de fosfato corresponde a 0,67mg/lit en la zona 1; 1,22mg/lit en la zona 2 y 1,02mg/lit en la zona 3. No se refieren valores mínimos permisibles en el TULSMA, sin embargo, estos valores se encuentran en los límites permisibles establecidos por los Estados Unidos Mexicanos que refieren valores de 5mg/lit para preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces y de 6 para riego agrícola (tabla 18). (Ordoñez, 2017), reporta valores promedios del agua del río Quevedo de 2,33mg/lit. (Pérez, Arriola, & García, 2016), menciona que la presencia del fósforo puede atribuirse a la entrada de compuestos fosforados por el agua proveniente de las lixiviaciones de los suelos y rocas. No deberán exceder de 0,05 mg/ en influentes a lagos o embalses ni de 0,025 mg/ dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutrofización acelerada, como lo marcan los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001-1989).

En el caso de DBO<sub>5</sub> se reporta 2,1mg/lit en la zona 1; 2,23mg/lit en la zona 2 y 3,2mg/lit en la zona 3. TULSMA establece los valores mínimos permisibles de <2 para fuentes de consumo humano y 20 para la preservación de la vida acuática y silvestre. Los resultados refieren que no es apta para consumo humano. (Robinson, 2015), informa valores que oscilan de 3,1mg/lit a 16 mg/lit. De acuerdo a (Pérez, Arriola, & García, 2016), el aumento en la concentración de DBO<sub>5</sub> significa una reducción en el contenido de oxígeno disuelto

en el agua, afectando considerablemente a los organismos y los ecosistemas acuáticos (Atlas Digital del Agua México, 2012).

Para coliformes totales se identificó valores de 8600NMP/100ml en la zona 1, 6700 NMP/100ml en la zona 2 y no se detectó presencia en la zona 3. TULSMA refiere el valor de 3 000 NMP/100ml para consumo humano. La normativa para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de la República de Venezuela refiere el valor de >10000 para consumo doméstico y >1000 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces. (Robinson, 2015), informa valores de 12NMP/100ml a 13NMP/100ml en el año 2013 y, 192,500NMP/100ml a 920 NMP/100ml en el año 2015. (Ordoñez , 2017), refiere valores de 54,6NMP y >1600NMP, en los diferentes puntos de muestreo y diferentes fechas de toma de muestras.

Los valores reportados no coinciden con los resultados obtenidos en esta investigación, lo que puede deberse al periodo invernal en el que se tomaron las muestras de agua del río Quevedo y a lo expuesto por (Peñañiel, 2014), quien refiere que existe una relación entre la calidad del agua y el caudal correspondiente a las épocas de estiaje y lluviosas. Los parámetros: nitratos, nitrógeno amoniacal, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza y DBO5 se concentran en la época de estiaje (caudales bajos) y se diluyen en la época lluviosa (caudales altos). Pero fosfatos, sólidos suspendidos y turbiedad presentan mayores valores en caudales altos, debido al mayor arrastre que genera la corriente del agua. Afectando de esta manera a la calidad del agua siendo menor la calidad en estiaje. Por tanto, en la época de transición de invierno a estiaje (caudales medios) el río presenta una mejor calidad.

Se debe resaltar que los valores reportados en los parámetros estudiados en esta investigación, pueden variar con los obtenidos en otros trabajos similares, en relación a la intensidad de las lluvias y, al arrastre de materia orgánica con productos químicos aplicados en la actividad agrícola (previo a las lluvias y fechas de toma de muestras).

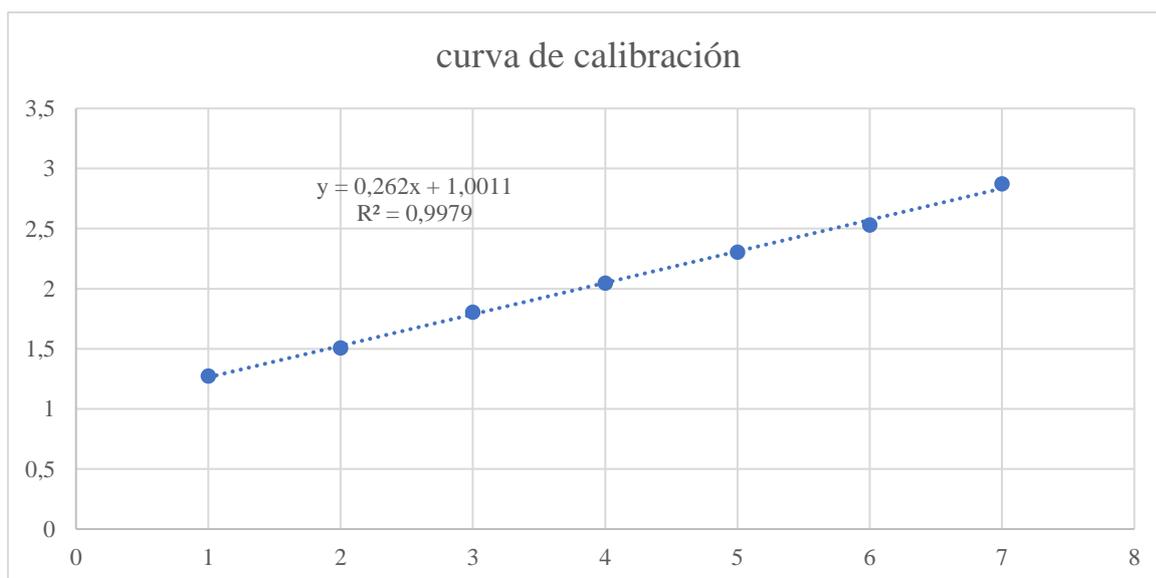
#### 4.4. Capacidad de absorción y porcentaje de remoción de contaminantes con carbón activado obtenido a partir de cascara de cacao

Los resultados de la absorción con azul de metileno a concentraciones de 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 ppm para ambas medidas de carbón activado (Figura 5y6) (Tabla 12y14), refieren valores que identifican la absorbancia homogénea con el tamaño de partícula de 2 - 3mm a 350°C en 20 minutos (Tabla 15) y, lineal 0 -1mm a 375°C en 20 minutos, con respecto al tiempo (Tabla 13).

Tabla 12. Valores para la curva de calibración con azul de metileno

Concentración (ppm)	Nanómetro (nm)	Absorción
8	663	1,275
10	663	1,508
12	663	1,805
14	663	2,048
16	663	2,305
18	663	2,530
20	663	2,872

Figura 5. Curva de calibración



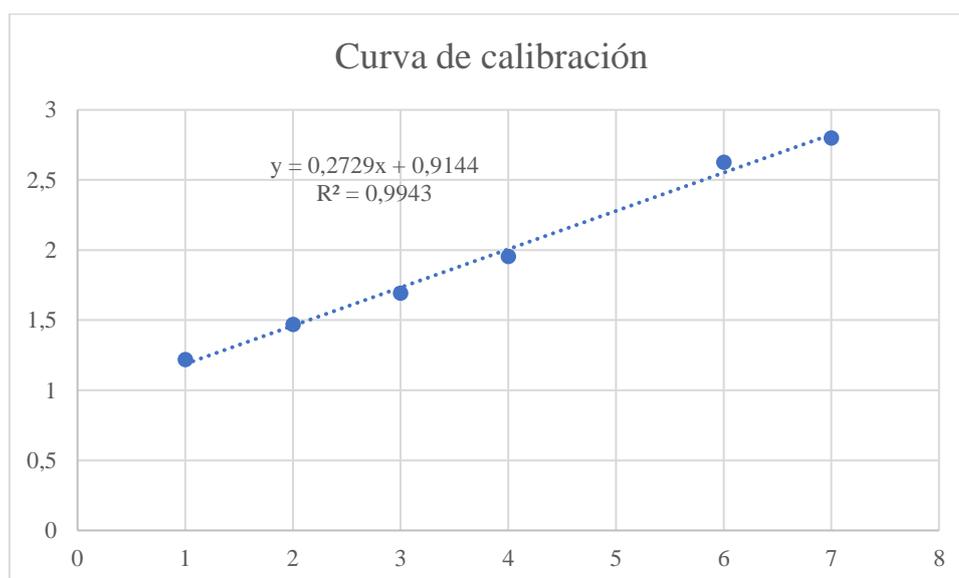
**Tabla 13. Concentraciones de azul de metileno con CA aplicando factor de dilución**

0,1 (g) CA 375°C 0-1mm (20min)			
Tiempo	Factor de dilución	Absorción muestra d	Concentración
30	4	2,565	26,876
60	4	2,742	25,579
90	4	2,592	24,289
120	4	2,574	24,014
150	4	2,494	22,792
180	4	2,307	19,937
210	4	2,214	18,518
240	4	2,098	16,747

**Tabla 14. Valores para realizar la curva de calibración**

Concentración (ppm)	Nanómetro (nm)	Absorción
8	663	1,219
10	663	1,470
12	663	1,693
14	663	1,955
18	663	2,626
20	663	2,800

**Figura 6. Curva de calibración**



**Tabla 15. Concentraciones de azul de metileno con CA aplicando factor de dilución**

0,1 (g) CA 350°C 2-3mm (20min)			
tiempo	Factor de dilución	Absorción muestra	Concentración
30	4	2,202	18,873
60	4	2,103	17,422
90	4	1,962	15,355
120	4	2,095	17,305
150	4	2,194	18,756
180	4	2,058	16,762
210	4	1,874	14,065
240	4	1,951	15,194

La prueba de adsorción con azul de metileno se basa en la cuantificación del azul de metileno adsorbido por el carbón; determinando el exceso de azul de metileno de una solución por medios fotocolorimétrico (Burgos & Jaramillo, 2015).

En esta investigación, se lo realizó por espectrofotometría UV/visible determinándose una ecuación lineal con el tratamiento de 2-3mm a 350°C por 20 minutos. Los resultados obtenidos por (Burgos & Jaramillo, 2015), demuestran que el carbón activado de cáscara de cacao no presenta mucha diferencia de concentración entre 3 y 6 horas en relación al obtenido con la cáscara de coco. El carbón activado comercial demuestra que la medida de absorbancia del azul de metileno disminuye considerablemente entre 1, 3 y 6 horas; tomando en cuenta que éste último es de origen mineral. Por lo tanto, se puede decir que mientras menor sea el valor de la absorbancia, es que el material fue capaz de retener la mayor cantidad de contaminante, que en el caso de esta prueba fue el azul de metileno

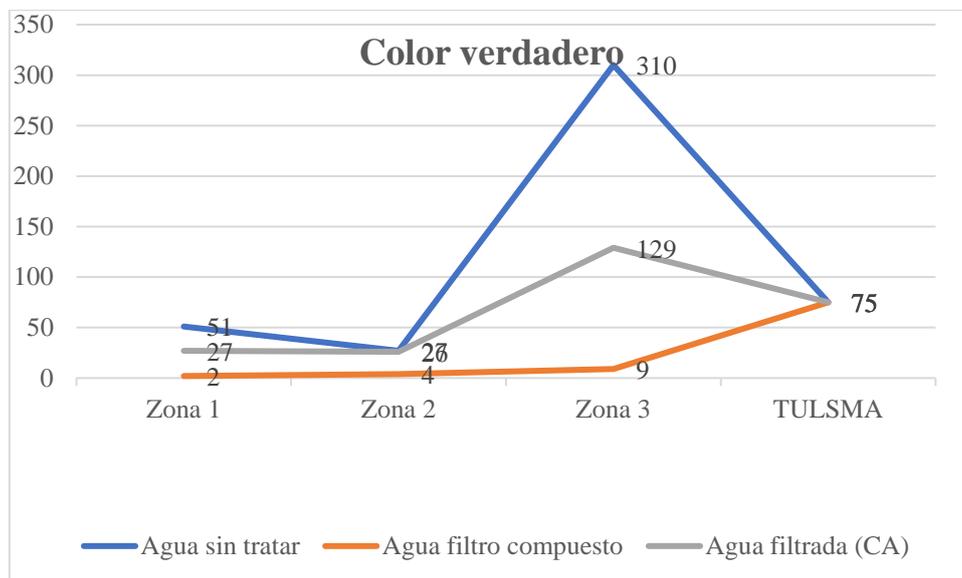
En el trabajo de (Suárez & Villegas , 2019), determinaron el carbón vegetal optimo, basados en la mayor capacidad de adsorción de  $C_2H_2O_4$  y un rendimiento de carbonización medio. En esta investigación se lo definió en relación al rendimiento y la mayor adsorción de azul de metileno.

El uso de carbón activado como medio filtrante permitió disminuir los parámetros considerados en esta investigación, con mejores resultados en el filtro compuesto, como se detalla en la explicación de cada uno de ellos.

## Color verdadero

De acuerdo a la figura 7 se observa que el carbón activado demuestra eficiencia en la aclaración del color verdadero del agua, notándose que el filtro con varias capas de material filtrante (algodón, gravilla grande, gravilla mediana, arena y carbón activado) presentó los mejores resultados en relación a los valores reportados en el agua sin tratar. La zona 3 está ubicada en el sector de la plaza de mariscos y mercado de legumbres y frutas de la parroquia San Camilo, área en la cual se libera mayor cantidad de subproductos generados por estas actividades, así como, que las muestras tomadas corresponden a periodo invernal, lo que permitiría considerar una mayor presencia de subproductos que alterarían con mayor intensidad el color verdadero del agua.

**Figura 7. Valores de color verdadero del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**

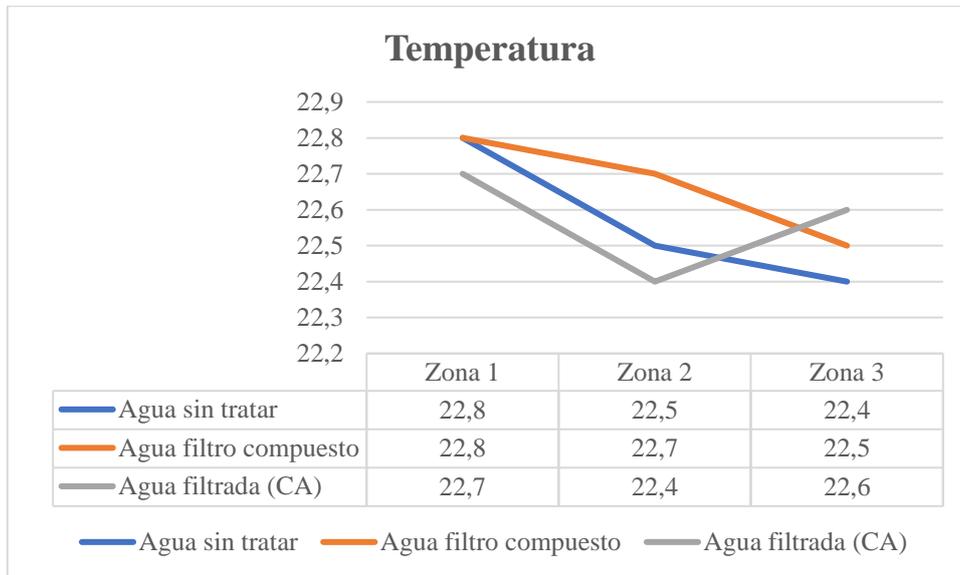


El tratamiento que mayor eficiencia obtuvo al finalizar el experimento fue el tratamiento 3 aplicando 100 mg de carbón activado obtenido a partir de coco, con un promedio de 59,43%, es decir, que el agua al pasar por el filtro de 100g de carbón activado disminuyó el color, pero no al 100%, no obstante, es necesario recordar que este parámetro de calidad del agua no solo está asociado a las sustancias en suspensión sino también a las sustancias disueltas (Bravo & Garzón, 2017).

## Temperatura

Se observa que la temperatura en el agua sin tratar oscila entre 22,4 a 22,8 el agua tratada con carbón activado valores de 22,4 a 22,7, notándose un leve incremento en el filtro compuesto con valores de 23,4 a 24,8 (Figura 8).

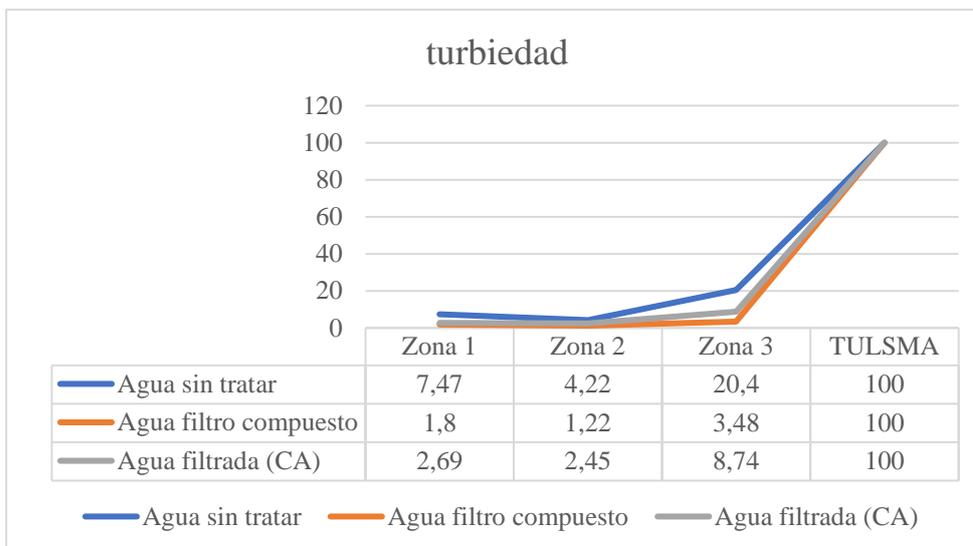
**Figura 8. Valores de temperatura del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**



## Turbiedad

En la figura 9 se reporta que el carbón activado mantiene actividad para disminuir la turbiedad en el agua. Se demuestra que el filtro compuesto por varias capas de material filtrante y adsorbente (carbón activado), presenta mejor resultado que el filtro solo con carbón activado.

**Figura 9. Valores de turbiedad del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**

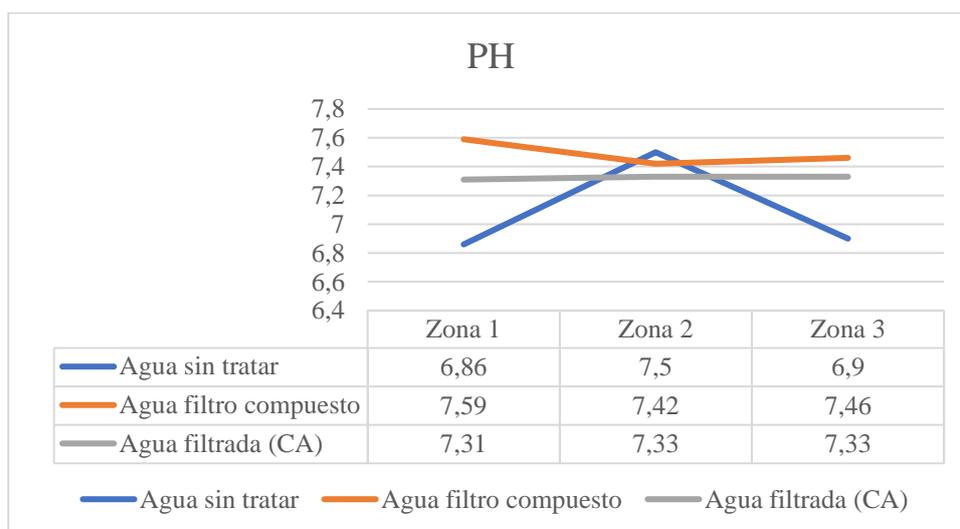


Se ha reportado que el agua tratada con carbón activado de coco, el tratamiento 3 (100mg) presento mayor eficiencia con un promedio de 52,65%, y el de menor eficiencia fue el tratamiento 1 (25 g) con el 36,61% ( Bravo & Garzón, 2017). La turbiedad, presenta mayores valores en caudales altos, debido al mayor arrastre que genera la corriente del agua. Afectando de esta manera a la calidad del agua siendo menor la calidad en estiaje. Por tanto, en la época de transición de invierno a estiaje (caudales medios) el río presenta una mejor calidad (Peñañiel, 2014).

## pH

Los resultados del pH refieren valores de 6,8 a 7,5 en el agua sin filtrar, oscilando valores de 7,31 a 7,33 en el agua tratada con carbón activado y, de 7,42 a 7,59 en el agua tratada con el filtro, lo cual puede deberse al hecho de que las muestras de agua corresponden al periodo invernal, posterior a lluvias torrenciales río arriba de las zonas estudiadas, lo que pudo incidir en los resultados del pH. Compuesto (Figura 10). Estos valores se encuentran en los límites permisibles en el TULSMA, el cual reporta valores de 6 a 9 para consumo humano y riego agrícola y, de 6,5 a 9 para la vida acuática (Tabla 17), en los establecidos por los Estados Unidos Mexicanos que refieren valores de 6,5 a 8,5 para consumo humano y de 4,5 a 9 para riego agrícola (tabla 16) y, por la República de Venezuela con valores de 6,5 a 8,5 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (Tabla 19).

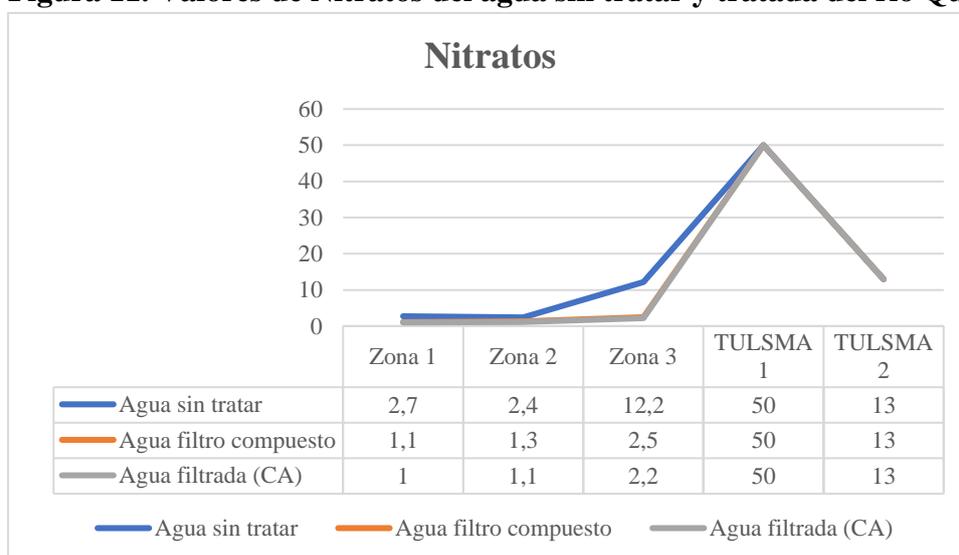
**Figura 10. Valores de PH del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**



## Nitratos

En la figura 11 se aprecia valores de nitratos que oscilan de 2,7 a 12,2 mg/lit en el agua sin tratar, notándose que el carbón activado presenta mayor efectividad (1 a 2,2 mg/lit) que el filtro compuesto (1,1 a 2,5 mg/lit).

**Figura 11. Valores de Nitratos del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**

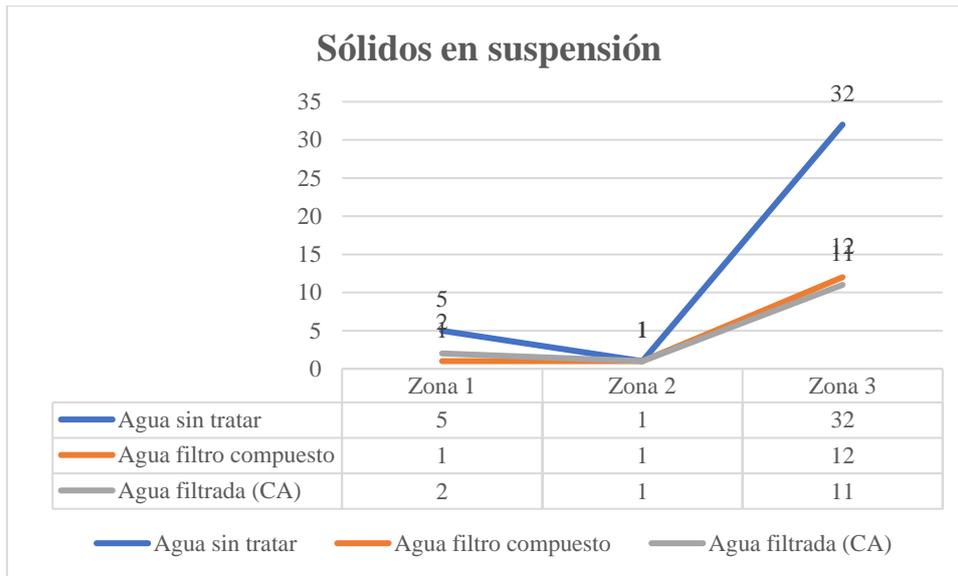


Estos valores se encuentran en los límites permisibles en el TULSMA, el cual reporta valores de 50 mg/lit para consumo humano y 13 mg/lit para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (Tabla 17), en los establecidos por los Estados Unidos Mexicanos que refieren valores de 10mg/lit para consumo humano, 6 mg/lit para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces y, para riego agrícola (tabla 18).

## Sólidos en suspensión

La figura 12 se observa que la zona 3 presenta el valor más alto (32mg/lt) de sólidos en suspensión, demostrándose que el carbón activado disminuye considerablemente la presencia de estas partículas suspendidas en el agua sin tratar.

**Figura 12. Valores de Sólidos en Suspensión del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**



Estos valores se encuentran en los límites permisibles por los Estados Unidos Mexicanos que refieren valores de 50mg/lt para riego agrícola (tabla 18).

En el trabajo de (Bravo & Garzón, 2017) con carbón activado obtenido a partir de coco se informa que todos los tratamientos aplicados disminuyeron más del 50% de sólidos suspendidos, sin embargo, el tratamiento 3 mantuvo valores de 96,05 aplicando 100 mg y, 83,37 en el tratamiento 1 con 25 g.

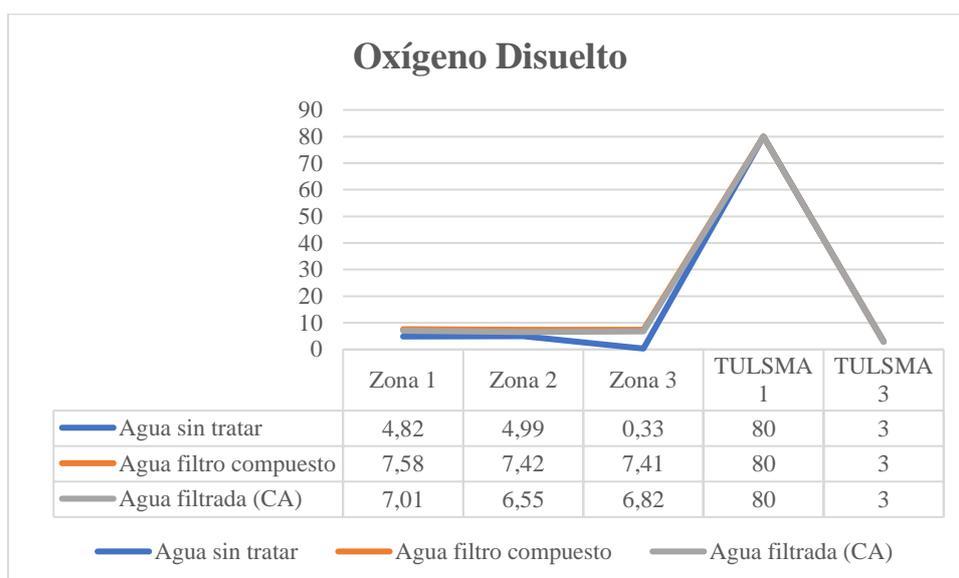
Los sólidos suspendidos, presentan mayores valores en caudales altos, debido al mayor arrastre que genera la corriente del agua. Afectando de esta manera a la calidad del agua siendo menor la calidad en estiaje. Por tanto, en la época de transición de invierno a estiaje (caudales medios) el río presenta una mejor calidad (Peñafilel, 2014).

## Oxígeno disuelto

Oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua, el cual es fundamental para la vida de las especies acuáticas. TULSMA considera valores >80 para aguas dirigidas a la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, 3 para calidad de agua dirigida al riego agrícola.

Los resultados obtenidos refieren valores de 0,33 a 4,82 mg/lit en el agua sin tratar, valores de 6,55 a 7,01 en el agua tratada con carbón activado y, de 7,41 a 7,58 en el agua tratada con el filtro compuesto (Figura 13), lo que indica que el agua tratada con carbón activado incrementa la cantidad de oxígeno disuelto.

**Figura 13. Valores de Oxígeno Disuelto del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**

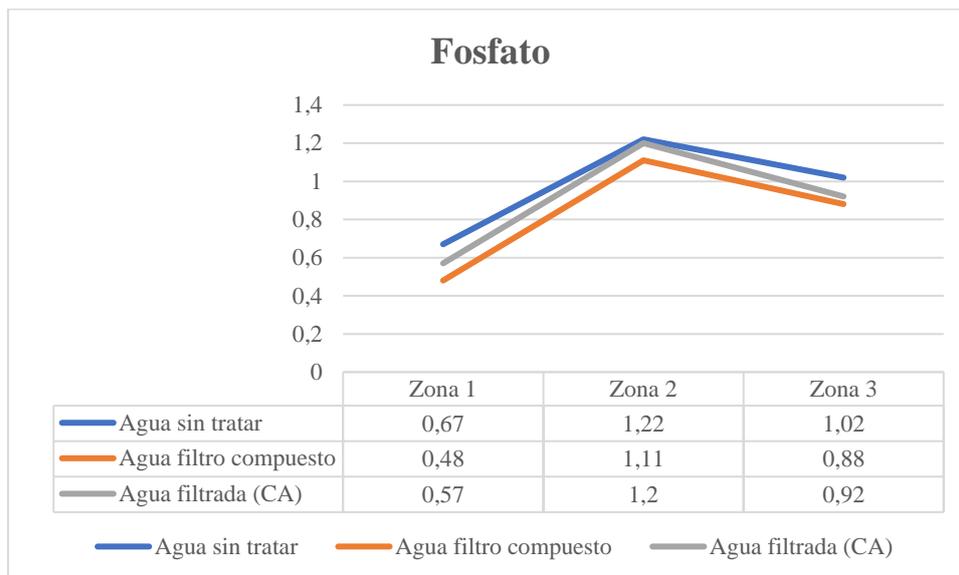


Estos valores se encuentran en los límites permisibles en el TULSMA, el cual reporta valores >80 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces 3 mg/lit para riego agrícola (Tabla 15), en los establecidos por los Estados Unidos Mexicanos que refieren valores de 5mg/lit para preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces y de 6 para riego agrícola (tabla 16) y, por la República de Venezuela con valores >5,0 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (Tabla 19).

## Fosfatos

Como se demuestra en la figura 14, el carbón activado influye en la disminución de fosfatos presentes en el agua sin tratar, obteniéndose mejores resultados en el agua tratada en el filtro compuesto.

**Figura 14. Valores de Fosfato del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**

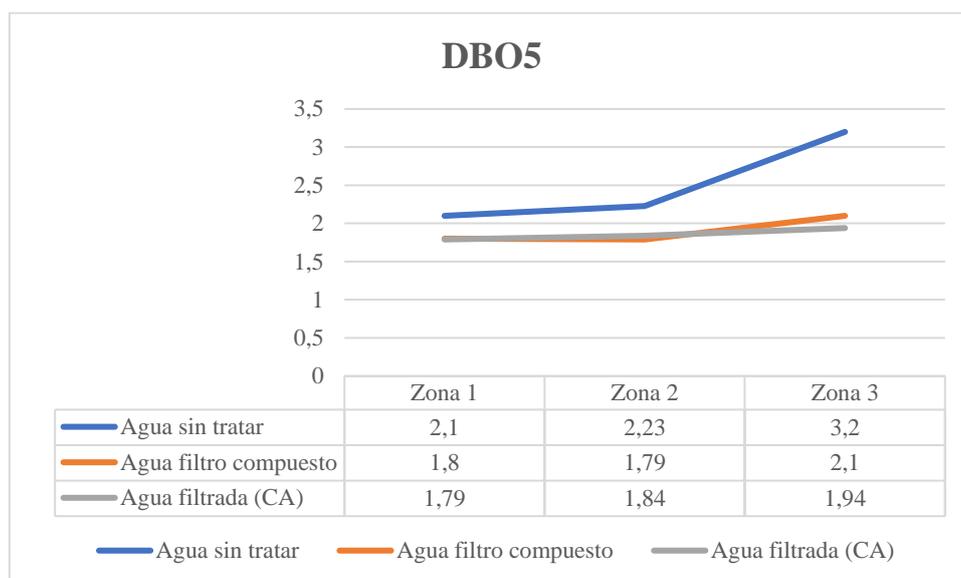


En el caso de fosfatos, presentan mayores valores en caudales altos, debido al mayor arrastre que genera la corriente del agua. Afectando de esta manera a la calidad del agua siendo menor la calidad en estiaje. Por tanto, en la época de transición de invierno a estiaje (caudales medios) el río presenta una mejor calidad (Peñafilel, 2014).

## DBO<sub>5</sub>

El DBO<sub>5</sub> indica la cantidad de oxígeno (Figura 15) que los seres vivos unicelulares consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua. Las muestras de agua sin tratar presentan valores de 2,1 a 3,2 mg/lit, observándose que al ser tratadas con carbón activado disminuyen, alcanzando los mejores resultados en el agua filtrada con CA en las zonas 1 (1,79) y 3 (1,84) en relación a las aguas tratadas con el filtro compuesto. TULSMA refiere valores <2 para aguas de consumo humano y doméstico y, 20 mg/lit para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.

**Figura 15. Valores de DBO5 del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**



De acuerdo a (Peñafiel, 2014), los valores de DBO<sub>5</sub> se concentran en la época de estiaje (caudales bajos) y se diluyen en la época lluviosa (caudales altos), lo que puede haber incidido en los valores obtenidos en esta investigación, ya que las muestras tomadas corresponden al periodo invernal.

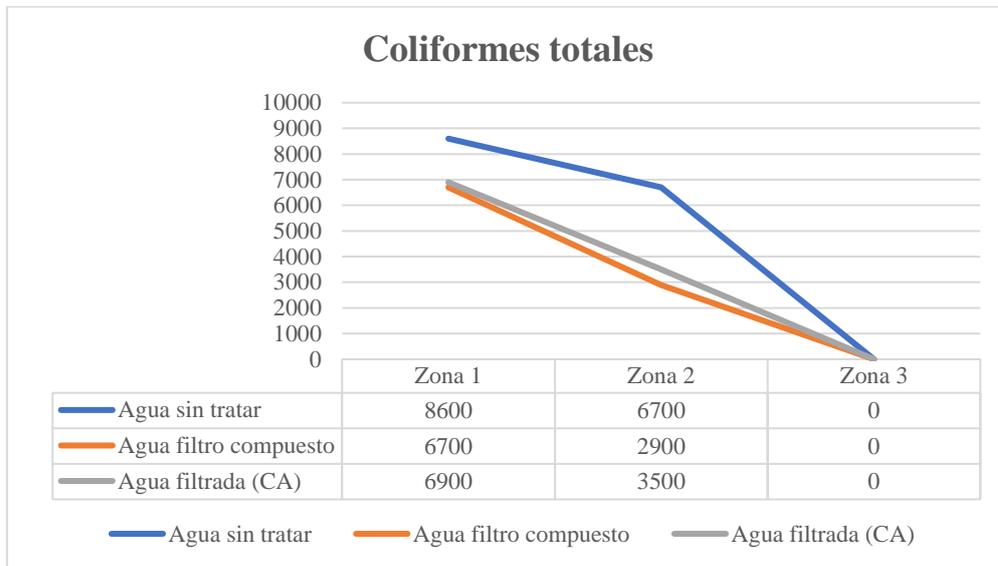
(Maya , 2017), reporta excelentes resultados del carbón activado obtenido de cascara de cacao para disminuir este parámetro con un valor del 86,70%.

### **Coliformes totales**

Los análisis realizados reportan valores de 8600 NMP/100ml en la zona 1 y 6700 NMP/100ml. En la zona 3 no se identificó la presencia de coliformes totales, lo que podría deberse a que en esta zona no se localizó drenaje de aguas servidas domésticas y a la toma de muestras en periodo invernal.

Se determinó que el tratamiento con carbón activado disminuye la presencia de coliformes totales, presentando los mejores resultados en el tratamiento con el filtro compuesto ya que se disminuyó a 6700 NMP/100ml en la zona 1 y 2900 NPM/100ml en la zona 2 (tabla 17).

**Figura 16. Valores de Coliformes totales del agua sin tratar y tratada del río Quevedo**



**Tabla 16. Criterios de calidad del agua (TULSMA) de la República del Ecuador**

PARÁMETROS	UNIDAD	CRITERIOS DE LÍMITES PERMISIBLES (TULSMA) DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR			AGUA SIN TRATAR DEL RIO QUEVEDO			AGUA TRATADA CON FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO (FILTRO COMPUESTO)			AGUA TRATADA CON FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO		
		FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES	CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA
					1	2	3	1	2	3	1	2	3
Color verdadero	Unds Pt/Co	75	-	-	51	27	310	2	4	9	27	26	129
Temperatura	°C	-	-	-	22,8	22,5	22,4	23,8	23,4	23,7	22,7	22,4	22,6
Turbiedad	NTU	100,0	-	-	7,47	4,22	20,4	1,8	1,22	3,48	2,69	2,45	8,74
Potencial de hidrogeno	PH	6-9	6,5 – 9	6-9	6,86	7,5	6,9	7,59	7,42	7,46	7,31	7,33	7,33
Nitratos (N-NO3)	mg/lt	50,0	13	-	2,7	2,4	12,2	1,1	1,3	2,5	1	1,1	2,2
Sólidos en suspensión	mg/lt	-	-	-	5	1	32	1	1	12	2	1	11
Oxígeno Disuelto	mg/lt	-	>80	3	4,82	4,99	0,33	7,58	7,42	7,41	7,01	6,55	6,82
Fosfato	mg/lt	-	-	-	0,67	1,22	1,02	0,48	1,11	0,88	0,57	1,2	0,92
DBO5	mg/lt	<2	20	-	2,1	2,23	3,2	1,8	1,79	2,1	1,79	1,84	1,94
Coliformes Totales	NMP/100 ml	3000	-	-	8600	6700	0	6700	2900	0	6900	3500	0

**Fuente:** Elaborado por autora

**Tabla 17. Criterios de calidad del agua del gobierno de los Estados Unidos Mexicanos**

PARÁMETROS	UNIDAD	CRITERIOS DE LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA DEL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS			AGUA SIN TRATAR DEL RIO QUEVEDO			AGUA TRATADA CON FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO (FILTRO COMPUESTO)			AGUA TRATADA CON FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO		
		FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES	CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA	ZONA
					1	2	3	1	2	3	1	2	3
Color verdadero	Unds Pt/Co	-	-	-	51	27	310	2	4	9	27	26	129
Temperatura	°C	-	-	-	22,8	22,5	22,4	23,8	23,4	23,7	22,7	22,4	22,6
Turbiedad	NTU	-	-	-	7,47	4,22	20,4	1,8	1,22	3,48	2,69	2,45	8,74
Potencial de hidrogeno	PH	6,5 – 8,5	-	4,5 - 9	6,86	7,5	6,9	7,59	7,42	7,46	7,31	7,33	7,33
Nitratos (N-NO3)	mg/lit	10	6	6	2,7	2,4	12,2	1,1	1,3	2,5	1	1,1	2,2
Sólidos en suspensión	mg/lit	-	-	50	5	1	32	1	1	12	2	1	11
Oxígeno Disuelto	mg/lit	-	5	6	4,82	4,99	0,33	7,58	7,42	7,41	7,01	6,55	6,82
Fosfato	mg/lit	-	5	6	0,67	1,22	1,02	0,48	1,11	0,88	0,57	1,2	0,92
DBO5	mg/lit	-	-	-	2,1	2,23	3,2	1,8	1,79	2,1	1,79	1,84	1,94
Coliformes Totales	NMP/100 ml	-	1	1000	8600	6700	0	6500	2900	0	6900	3500	0

**Fuente:** Elaborado por autora

**Tabla 18. Criterios de calidad del agua de la República de Venezuela**

PARÁMETROS	UNIDAD	CRITERIOS DE LÍMITES PERMISIBLES DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA			AGUA SIN TRATAR DEL RIO QUEVEDO			AGUA TRATADA CON FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO (FILTRIO COMPUESTO)			AGUA TRATADA CON FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO		
		FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES	CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Color verdadero	Unds Pt/Co	< 150	-	-	51	27	310	2	4	9	27	26	129
Temperatura	°C	-	-	-	22,8	22,5	22,4	23,8	23,4	23,7	22,7	22,4	22,6
Turbiedad	NTU	<250	-	-	7,47	4,22	20,4	1,8	1,22	3,48	2,69	2,45	8,74
Potencial de hidrogeno	PH	6,0 – 8,5	6,5 – 8.5	-	6,86	7,5	6,9	7,59	7,42	7,46	7,31	7,33	7,33
Nitratos (N-NO3)	mg/lit	10	-	-	2,7	2,4	12,2	1,1	1,3	2,5	1	1,1	2,2
Sólidos en suspensión	mg/lit	-	-	-	5	1	32	1	1	12	2	1	11
Oxígeno Disuelto	mg/lit	> 4	>5,0	-	4,82	4,99	0,33	7,58	7,42	7,41	7,01	6,55	6,82
Fosfato	mg/lit	-	-	-	0,67	1,22	1,02	0,48	1,11	0,88	0,57	1,2	0,92
DBO5	mg/lit	-	-	-	2,1	2,23	3,2	1,8	1,79	2,1	1,79	1,84	1,94
Coliformes Totales	NMP/100 ml	>10000	-	>1000	8600	6700	0	6500	2900	0	6900	3500	0

**Fuente:** Elaborado por autora

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones.

- La cáscara de cacao presenta el 90,43% de agua en su estructura, quedando un peso de 9,57 % de materia prima, con un rendimiento en carbón activado del 61,65%, con el tratamiento A3B3C1D2, correspondiente al tamaño de Partícula de 2 -3 mm, a 325 °C, por 20 min de activación química con Ácido Ortofosfórico al 85% de concentración.
- La mayor absorbancia homogénea con azul de metileno se obtuvo con el carbón obtenido a de 2-3 mm, sometida a 350°C durante 20 minutos y absorbancia lineal con el tamaño de 0-1 mm, sometida a 375°C durante 20 minutos.
- El agua sin tratamiento presenta valores promedios para temperatura de 22,6°C; color verdadero de 129,3; 10,7NTU para turbiedad, pH de 7,1; 5,8 mg/l para nitratos; 12,7mg/l para sólidos en suspensión; 3,38 mg/l para oxígeno disuelto; 0,9 mg/l en fosfatos; 2,51 mg/li en DBO<sub>5</sub>; y 5100 en coliformes totales, los cuales se encuentran en los rangos permisibles por TULSMA, lo cual puede deberse al hecho de que las muestras fueron tomadas en periodo invernal en la que se genera mayor arrastre por la corriente de materia orgánica y contaminantes.
- El carbón activado obtenido a partir de cáscara de cacao mediante activación química con ácido ortofosfórico ejerce notable influencia en la disminución de los elementos presentes en el agua del río Quevedo, observándose que el filtro compuesto con varias capas presentó los mejores resultados.
- El agua tratada con el filtro que contiene algodón, grava, arena y dos capas del carbón activado, presenta valores promedios para temperatura de 22,7°C; color verdadero de 5; 2,2NTU para turbiedad, pH de 7,49; 1,63mg/l para nitratos; 4,7mg/l para sólidos en suspensión; 7,47 mg/l para oxígeno disuelto; 0,82mg/l en fosfatos; 1,9mg/l en DBO<sub>5</sub>; y 2234,3 en coliformes totales.
- El agua tratada con el filtro que contiene algodón y dos capas de carbón activado, presenta valores promedios para temperatura de 22,6°C; color verdadero de 60,7; 4,63NTU para turbiedad, pH de 7,32; 1,43mg/l para nitratos; 7,7mg/l para sólidos en suspensión; 6,8 mg/l para oxígeno disuelto; 0,89mg/l en fosfatos; 1,86mg/l en DBO<sub>5</sub>; y 3467 en coliformes totales.

## **5.2. Recomendaciones.**

- Se recomienda el uso de la cáscara de cacao para la obtención de carbón activado, a fin de darle un valor agregado como subproducto agrícola, disminuir los problemas de contaminación como material de desecho proveedor de cadmio en el suelo.
- Realizar nuevas investigaciones con mayor temperatura, tiempo y activación con otros precursores químicos a fin de determinar nuevos procesos que provean mayor producción de carbón activado por cantidad de materia prima inicial.
- Realizar análisis de calidad del agua del río Quevedo en periodo de verano.
- Utilizar el carbón activado obtenido a partir de cáscara de cacao para disminuir la presencia de elementos contaminantes en el agua del río Quevedo. Se recomienda utilizar el filtro compuesto con algodón, grava gruesa, grava fina, arena gruesa y carbón activado en zonas urbano marginales, ya que mantuvieron mejores resultados con materiales accesibles y de bajo costo.
- Utilizar el filtro con algodón y carbón activado para disminuir la presencia de nitratos en el agua

**CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## Referencias bibliográficas

- Álvarez, K., & Quilumba, F. (2018). Aprovechamiento de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la elaboración de polvo y sus usos culinarios. Guayaquil, Ecuador.
- Aparcana, F., & Olivera, C. (2018). “Eficiencia del Carbón Activado a base de Pepas de Níspero de Palo (*Mespilus communi*) en la remoción del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) para mejorar la Calidad del Aire”. 24-27.
- Arangundi, L. (2018). Análisis sobre investigaciones de sistema de climatización por adsorción utilizando fuentes renovables de energía. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Avila, I., & Moreno, M. (Junio de 2016). Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de san antonio de anapoima. Bogota, Colombia.
- Ayala, M. (2016). Uso del territorio y la calidad de agua en las microcuencas Rumiayacu y Mishquiayacu para una gestión eficiente de los recursos hídricos. Moyobamba.
- Bravo, K., & Garzon, A. (Junio de 2017). Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua. Calceta, Ecuador.
- Bravo, K., & Garzón, A. (Junio de 2017). Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (Cocos Nucifera) para remoción de contaminantes en agua. Calceta, Ecuador.
- Burgos, G., & Jarramillo, J. (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas. Milagro.
- Cabello, L. (2019). Investigación y Desarrollo de Óxido de Calcio como Material Sorbente de CO<sub>2</sub>, proveniente de la Cáscara de Huevo, de tamaño nanométrico, Dopado con TiO<sub>2</sub>, PET y Carbón Activado. Santiago de Querétaro., Mexico .

- Camelino, S., Minchiotti, M., Bariles , R., & López , R. (2018). Optimización de un procedimiento para la determinación de oro mediante espectrofotometría UV/Vis. Scielo.
- Carangui, G., & Polit, P. (12 de 2017). Determinación del Índice de calidad del agua del estero salado, entre el puente “5 de Junio” y el puente “El Velero”. Guayaquil, Ecuador.
- Cárdenas , G., & Cárdenas , J. (2009). Agricultura, urbanización y agua. Montevideo , Uruguay: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Carrasco, B., & Londa, E. (2018). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco “Cocos Nucífera L”. Cuenca, Ecuador.
- Chaparro, L. (2017). Métodos automatizados basados en técnicas de análisis en flujo multiconmutadas para la determinación de elementos traza. Islas Baleares, España.
- Chungata, L. (2017). “Estudio del área superficial específica en la caracterización de los catalizadores a utilizarse en la gasificación catalítica para la producción de hidrógeno.”. Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Díaz, E., & Valdivia , I. (2018). Efecto del tiempo de retención y variación de especies de plantas ornamentales para la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas. Cajamarca, Perú.
- Flores, A., & Juela, G. (Mayo de 2018). Análisis de producción del cacao y su rentabilidad agrícola en el cantón Milagro. Milagro , Guayas , Ecuador.
- Franco, P., & Rodríguez, M. B. (2016). Formulación de líneas estratégicas para un proyecto participativo de conservación de un ojo de agua de la parroquia el condado, barrio colinas del norte, sector el manantial y sector rancho bajo. Quito , Pichincha , Ecuador .
- Freire, P. (2018). Remoción de paracetamol por biosorción en tanque agitado usando cáscara de cacao y bagazo de caña de azúcar. 20-24. Cuenca , Ecuador .
- Gastañaga, M. d. (2018). Agua, Saneamiento y Salud. Scielo, 181.

- Gómez, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Scielo.
- González, A. (2019). Evaluación de la calidad de Agua ca'ptada para el abastecimiento a la ciudad de Baños de Agua Santa mediante ICA - NSF. Quito, Ecuador.
- Guanuche, F. A., Sares, L. A., Nieves, A. M., & Morales, M. A. (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de arroz. Conference Proceeding, , 766-777.
- Hernández Morales, H. F., & Felipe, P. A. (2017). Evaluación de Biochar por pirolisis lenta como medio adsorbente de cinc, cobre, cromo y níquel. Bogotá, D. C., Colombia: UNiversidad de La Salle.
- INEN. (2011). NTE INEN 1 108:2011. Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
- Jaramillo, J., & Burgos, G. (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado. Guayaquil, Ecuador.
- Jarrín, P., & León, L. (2015). Implemeentación del agroturismo en la hacienda la Colonia 24 de mayo, cantón Buena Fe. Guayaquil, Ecuador.
- Jiménez, O., & Mantilla, C. (2016). Aprovechamiento de la cascara de mazorca de cacao En la elaboración de carbono activo Para el tratamiento de aguas residuales. 21.
- Lara, J. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. ION, 114.
- Lazo, R. (2015). Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco. Callao, Perú.
- Loayza, J., & Cano, P. (2015). Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del río shullcas – huancayo – junín. Huancayo, Perú.
- Lozano, K. (2019). Elaboración de una teja a partir de tusa picada de maíz y materiales tradicionales para viviendas de interés social. Guayaquil, Ecuador.

- Maya , K. (2017). Análisis de la cáscara de cacao como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de lacteos Salinerito de la ciudad de Guaranda. Ambato, Ecuador.
- Medina, K., & Manrique , R. (2018). Uso del carbón activado para el tratamiento de aguas. Revista Nacional de ingenierias.
- Méndez, M. (2019). Propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de arbelaez a partir del sistema de deer island wastewater treatment plant. Bogotá, Colombia.
- Mendez, R. (2019). Producción de carbón activado con raquis de banano y su efecto en el tratamiento de agua destinada al consumo humano, Quevedo año 2018. Quevedo , Los Rios , Ecuador .
- Michelangeli, G. (18 de Junio de 2018). Optimización del control de la capacidad de adsorción de gases contaminantes en lechos secos. Barcelona, España.
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). Informe sobre el sector bananero ecuatoriano. Quito.
- Morales, J. M. (2017). “Propuesta de diseño de proceso industrial para la elaboración de té de cascarilla de cacao en la provincia de santa elena”. La Libertad, Ecuador.
- Moreira , J., & Vera , J. (2016). Contaminación por agroquímicos en agua, suelo y fruto en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en las comunidades: Guabital y Las Maravillas del Cantón Rocafuerte, época seca, 2016. Tesis de Grado previo a la obtencion de título en ingeniero de Recursos Naturales y Ambientales. Manta, Ecuador.
- Moreno, J., & Márquez, A. (2018). Análisis de la distribución del tamaño de partículas en arcillas usando métodos tradicionales y modernos. Bogota, Colombia .
- Nieto, C. J., & Guevara, S. A. (2012). anano Rechazado para Exportación en Ecuador:Propuesta de Creación de valor para Lograr su Introducción al Mercado Internacional . Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Nuñez, A. (2017). Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO<sub>3</sub>. Revista Cubana de Quimica , 27.

- OMS, O. M. (2017). Guías para la calidad del agua potable.
- Ordoñez , L. (2017). Evaluación de la incidencia de las descargas contaminantes en la calidad del agua del río Quevedo, Cantón Quevedo, Provincia de los Ríos, Año 2016. Quevedo, Ecuador .
- Pazmiño, J. (2018). Modelización de la calidad del agua del estero aguas Claras, cantón Quevedo, Ecuador. Scielo, 205.
- Peña, D. (2019). “Efectos de la contaminación de aguas residuales del lago de morona cocha en la salud de la población ribereña iquitos-2018”. Iquitos - Peru.
- Peñafiel, A. (2014). Evaluación de a calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del Insituto Mexicano de tecnología del agua. Cuenca , Ecuador .
- Perez, M. (2018). Modelización de la calidad del agua del estero El Limón, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, estación lluviosa. Quevedo , Ecuador .
- Pesantes, A. A. (2016). Remoción de contaminantes presentes en aguas superficiales empleando carbón activado generado a partir de materiales de desecho agroindustrial. Costa Rica.
- Picazo, M. (29 de abril de 2016). La importancia de la calidad del agua. Ecoavant.com.
- Portero, H. (Febrero de 2018). Estudio experimental de peletizado en plantas piloto y de combustion en caldera de biomasa a baja potencia. Ciudad Real, España .
- Proaño, L. (2018). Análisis bibliográfico sobre investigaciones de sistema de climatización por adsorción utilizando fuentes renovables de energias. Guayaquil , Ecuador.
- Resquin, F. (2019). Producción de biomasa en plantaciones intensivas de Eucalyptus spp. Cordova, Uruguay: UCOPress.
- Rios, J. (2018). “Eficiencia del Carbón Activado a base de Cascara de Coco (Cocos nucifera) en la remoción del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) para mejorar la Calidad del Aire”. Lima , Perú.

- Robinson , R. (2015). Caracterización de la calidad del agua para consumo humano domestico del río Quevedo en el Cantón Quevedo, provincia de los Ríos . Guayaquil, Ecuador.
- Sabando , E. (2019). Actividades antrópicas y turismo en la comunidad de puerto cayo, manabí, ecuador. Puerto Cayo, Manabí, Ecuador.
- Sabando, E. (2019). Actividades antrópicas y turismo en la comunidad de puerto cayo, manabí, ecuador. Puerto Cayo, Manabí, Ecuador.
- Saint, R., & Gutiérrez, M. (2015). Utilizacion de cultivos energeticos para generacion electrica. Oviedo, España .
- Sanchez, Y., & Lapo, B. (2018). Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cáscara de cacao. 11-12. Machala , Ecuador .
- Senplades. (2015). Quito, Ecuador.
- Simanca, M., Álvarez, B., & Paternina, R. (13 de Diciembre de 2017). Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería. *Temas Agrarios*, 72.
- Soto, K. (2017). Efecto del carbón activado de la theobroma cacao en la adsorción de hierro del agua del río Moche, 2017. Trujillo , Perú.
- Suárez , D., & Villegas , E. (2019). Evaluación de la absorción del carbón obtenido del mesocarpio de cacao (theobroma cacao l.) modificado por ultra sonido. Lima , Perú.
- Tejada S., C. N., Almanza, D., Villabona, A., Colpas, F., & Granados, C. (2017). Caracterización de carbón activado sintetizado a baja temperatura a partir de cáscara de cacao (Theobroma cacao) para la adsorción de amoxicilina. *Ingeniería Y Competitividad*. Vol. 19, No. 2 , 45-54.
- Terneus, E. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en ecuador. Scielo.
- TULSMA. (2015). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. . Quito: Ecuador: Ministerio del Ambiente.

- TULSMA. (12 de Marzo de 2021). TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Valbuena, D. (2018). Aprovechamiento de la cascarilla de cacao para la generación de un producto derivado en la asociación de productores orgánicos del municipio de dibulla (apomd). Bogota , Colombia .
- Vayas, J. (2017). Análisis del carbón activado de origen vegetal con las costras de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la textilera “andelas” cia ltda., ubicada en el parque industrial de ambato. Ambato, Ecuador.
- Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. Scielo, 305.
- Vinces, D. (2018). Impactos ambientales de las descargas de aguas negras en el río burro de la ciudad de manta. Jipijapa.
- Vintimilla, D. (2016). Determinacion de contaminacion difusa en la cuenca del rio torebamba en Manay. Programa para el manejo de agua y suelo. Cuenca, Ecuador.

## **CAPITULO VII**

### **ANEXOS**

## FOTOGRAFIAS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN



**Anexo 1.** Lavado de las mazorcas de cacao.



**Anexo 2.** Agitación de la materia prima para eliminación de la celulosa.



**Anexo 3.** Secado en la mufla.



**Anexo 4.** Disminución del tamaño de partículas de la muestra de cacao seca.



**Anexo 5.** Adición de ácido ortofosfórico para activación química del carbón activado.



**Anexo 6.** Carbonización en la mufla a distintas temperaturas y tiempo de carbonización



**Anexo 7.** Carbón activado a diferentes tamaños de partículas, temperatura y tiempo.



**Anexo 8.** Curva de calibración.



**Anexo 9.** Prueba de adsorción con azul de metileno en el espectrofotómetro.



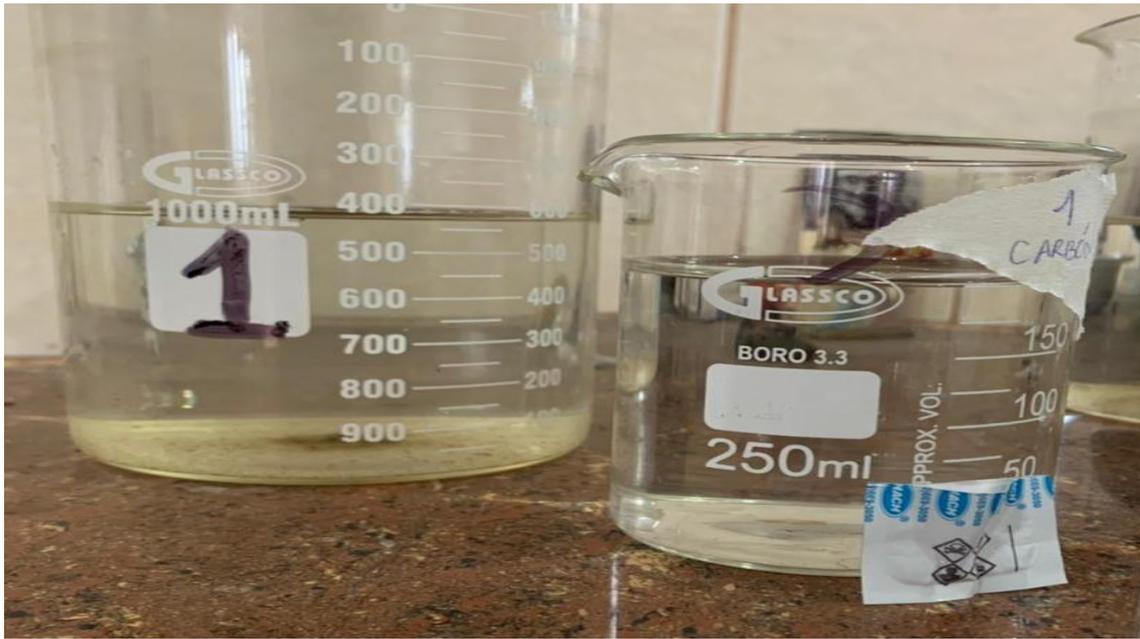
**Anexo 10.** Toma de muestra de agua en el río Quevedo.



**Anexo 11.** Análisis de agua en el laboratorio de agua potable del Cantón El Empalme.



**Anexo 12.** Filtros de agua para prueba de absorción de las muestras de agua con carbón activado.



**Anexo 13.** Comparación del agua del río Quevedo, sin tratar y tratada con carbón activado.




**DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE**  
 Jefatura de Planta de Agua y Control de Calidad

**Registró De Análisis Físico-Químico y Bacteriológico de Agua**  
 Fecha de muestreo: 9 de marzo de 2021  
 Laboratorio: Dirección de Agua Potable del Cantón El Empalme

**Muestra 1. Mercado del río – Puente colgante**

Parámetros	Unidad	Agua sin filtrar	Agua filtrada 1 (filtro compuesto)	Agua filtrada 2
<b>Características Físico – Químicas</b>				
Color verdadero	Unds Pt/Co	51	2	27
Temperatura	°C	22,8	22,8	22,7
Turbiedad	NTU	7,47	1,8	2,69
PH	-	6,86	7,59	7,31
Nitratos (N-NO3)	mg/lit	2,7	1,1	1,0
Sólidos en Suspensión	mg/lit	5	1,0	2
Oxígeno Disuelto	mg/lit	4,82	7,58	7,01
Fosfato	mg/lit	0,67	0,48	0,57
DBO5	mg/lit	2,1	1,8	1,79
<b>Características Microbiológicas</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	8600	6700	6900

**Muestra 2. Malecón – Puente Velasco Ibarra**

Parámetros	Unidad	Agua sin filtrar	Agua filtrada 1 (filtro compuesto)	Agua filtrada 2
<b>Características Físico – Químicas</b>				
Color verdadero	Unds Pt/Co	27	4	26
Temperatura	°C	22,5	22,7	22,4
Turbiedad	NTU	4,22	1,22	2,45
PH	-	7,5	7,42	7,33
Nitratos (N-NO3)	mg/lit	2,4	1,3	1,1
Sólidos en Suspensión	mg/lit	1	1	1
Oxígeno Disuelto	mg/lit	4,99	7,42	6,55
Fosfato	mg/lit	1,22	1,11	1,20
DBO5	mg/lit	2,23	1,79	1,84
<b>Características Microbiológicas</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	6700	2900	3500

**Anexo 14.** Resultados de pruebas físicas, químicas y microbiológicas antes y después del tratamiento con carbón activado

**Muestra 3. Plaza de mariscos - Mercado de San Camilo**

Parámetros	Unidad	Agua sin filtrar	Agua filtrada 1 (filtro compuesto)	Agua filtrada 2
<b>Características Físico - Químicas</b>				
Color verdadero	Unds Pt/Co	310	9	129
Temperatura	°C	22,4	22,5	22,6
Turbiedad	NTU	20,4	3,48	8,74
PH	-	6,90	7,46	7,33
Nitratos (N-NO3)	mg/lt	12,2	2,5	2,2
Sólidos en Suspensión	mg/lt	32	12	11
Oxígeno Disuelto	mg/lt	0,33	7,41	6,82
Fosfato	mg/lt	1,02	0,88	0,92
DBO5	mg/lt	3,20	2,1	1,94
<b>Características Microbiológicas</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	0	0	0

  
  
 Ing. Miguel Contreras Flores  
 Jefe de Planta de Agua Potable y Control de Calidad

**Anexo 15.** Resultados de pruebas físicas, químicas y microbiológicas antes y después del tratamiento con carbón activado