



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DEL ENDOCARPIO  
DEL COCO**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del**

**Título de Ingeniero Ambiental**

**AUTORES: JEFFERSON GUIDO TORRES RIVERA**

**LAURA ROMINA PINTO SANCÁN**

**TUTOR: ING. NESTOR MARCELO BERRONES RIVERA, M. I. A.**

**Guayaquil - Ecuador**

**2024**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jefferson Guido Torres Rivera con documento de identificación No. 0958829715 y Laura Romina Pinto Sancan con documento de identificación No. 0956340780 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 27 agosto del 2024

Atentamente,



Jefferson Guido Torres Rivera

0958829715



Laura Romina Pinto Sancan

0956340780

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Jefferson Guido Torres Rivera con documento de identificación No. 0958829715 y Laura Romina Pinto Sancan con documento de identificación No. 0956340780 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo experimental: “Elaboración de carbón activado a partir del endocarpio del coco”, en el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el monumento que hacemos la entrega el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 agosto del 2024

Atentamente,

Jefferson Guido Torres Rivera

0958829715

Laura Romina Pinto Sancan

0956340780

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Néstor Marcelo Berrones Rivera con documento de identificación No. 0914078290, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO”**, realizado por Jefferson Guido Torres Rivera con documento de identificación No. 0958829715 y Laura Romina Pinto Sancan con documento de identificación No. 095634780, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinadas por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 agosto del 2024



Ing. Néstor Marcelo Berrones Rivera, M.I.A.

C.C. No. 0914078290

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a personas especiales que han sido pilares fundamentales en mi vida y mi formación:

A mi papá Francisco Pinto, por ser la razón por la cual hoy estoy donde siempre soñé desde niña. Gracias por nunca cuestionar mis decisiones y por brindarme tu apoyo incondicional en cada paso del camino.

A mis hermanos Vanessa Franco, Andrés Pinto, Javier Pinto y Kiara Pinto, cuyos consejos y ayuda me guiaron y fortalecieron a lo largo de mi carrera.

A mi abuela Laura Licoa, que, a pesar de haber pasado por momentos difíciles de salud, hoy sigue aquí, cumpliendo su sueño de verme culminar mi carrera universitaria.

A mis queridas amigas Julexy Mendoza y Damaris Limones, quienes me han motivado en todo momento. Muchas gracias por aceptarme tal como soy, por quererme y apoyarme incluso cuando me equivoco.

A mi novio, por ser mi constante motivación y apoyo diario. Gracias por tu paciencia infinita, por estar dispuesto a sacrificar tus propios sueños por los míos. Dedico este trabajo a ti con todo mi corazón.

Y finalmente, a mi mamá Flor Sancan, por tu amor incondicional y por esperarme siempre con los brazos abiertos, tanto en las mañanas como en las noches, asegurándote de que regresara a casa con salud. Gracias por confiar en mi capacidad de alcanzar mis metas. Este trabajo también es tuyo, mamá.

**Laura Romina Pinto Sancan.**

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mi querido padre, quien, aunque ya no está en este plano terrenal, sé que desde el más allá me cuida y guía a su manera. En vida, me brindó los mejores consejos, los cuales he aplicado a lo largo de esta trayectoria. Su sabiduría y amor continúan siendo una fuente de inspiración para mí.

A mis hermanas, por su constante compañía y apoyo. A pesar de que mis actitudes no siempre han sido las mejores, siempre han estado ahí para ofrecerme su ayuda y sus sabios consejos cuando más los he necesitado.

A mis queridas mascotas, por acompañarme en las largas noches de estudio y recibirme con euforia cada vez que llegaba a casa. Su compañía me ha brindado innumerables momentos de alegría y calma en los momentos más difíciles.

Y a mi querida madre, por su amor y apoyo incondicional. Gracias por soportar mis cambios de humor, por esperarme hasta altas horas de la noche cuando llegaba tarde de la universidad, y por apoyarme en cada decisión, ya sea acertada o no. Eres la mejor madre del mundo y has estado a mi lado en los mejores y peores momentos que la vida me ha presentado.

**Jefferson Guido Torres Rivera**

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la culminación de este trabajo:

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la oportunidad y la vida para llegar a este momento y culminar mis estudios.

A mis profesores y mi tutor, que fueron guías en esta trayectoria de la elaboración de este trabajo experimental.

A mis padres, les debo un profundo agradecimiento por su constante motivación y por brindarme todo su amor y apoyo incondicional a lo largo de este proceso.

A mi compañero de tesis, quiero decirte que más allá de ser un colega, has sido un verdadero amigo. Sin tu apoyo y dedicación, no estaríamos aquí hoy.

A mis amigos de curso, agradezco sinceramente los momentos de diversión y compañerismo que hicieron este trayecto más llevadero y agradable.

A mi familia, les agradezco por estar siempre presentes, brindándome su apoyo y ayuda en cada momento en que lo necesité.

Y a todas las personas cercanas a mí, mi gratitud por el apoyo y la ayuda constante que me permitieron culminar mi carrera.

**Laura Romina Pinto Sancan.**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi papá, Guido Torres Francis Chávez, y a mi mamá, Santa María Rivera Tinoco, por su invaluable orientación, que ha guiado cada paso de mi vida hacia un futuro próspero. Su paciencia ante cada decisión que he tomado y su amor incondicional han sido pilares fundamentales en mi vida. Su fe en mí ha sido una fuente inagotable de fuerza, especialmente en los momentos más difíciles, cuando parecía que todo se desmoronaba. Gracias a su apoyo, he podido superar los desafíos que la vida me ha presentado y continuar con la misma carisma y positividad que siempre me han caracterizado.

A mis amigos y compañeros de estudio, con quienes he tenido la fortuna de formar lazos de amistad durante mi trayectoria universitaria. Gracias por estar siempre dispuestos a brindarme su ayuda cuando la necesité, por sus valiosos consejos y por su compañía en las largas horas de estudio. Los momentos y las risas que compartimos han hecho que esta etapa de la vida se haya pasado en un abrir y cerrar de ojos.

Finalmente, quiero agradecer a mis hermanas, a mis parientes más cercanos y a mis queridas mascotas, por estar a mi lado durante todo este trayecto. Sus acciones y aportaciones, sin importar lo grandes o pequeñas que fueran, han sido esenciales para alcanzar este gran logro en mi vida.

A todos, mis más sinceras gracias, de corazón.

**Jefferson Guido Torres Rivera**

## Contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	IV
Dedicatoria.....	V
Dedicatoria.....	VI
Agradecimientos.....	VII
Índice de Figuras .....	XIV
Índice de Anexos .....	XVII
Glosario de Palabras .....	XXI
Abreviaturas.....	XXIII
Capítulo I.....	1
Introducción.....	1
1 Problema.....	2
1.1 Antecedente .....	2
1.2 Justificación .....	4
1.3 Importancia y alcance .....	4
1.4 Delimitación.....	6
1.4.1 Delimitación geográfica .....	6
1.4.2 Delimitación sectorial.....	7

1.4.3	Delimitación temporal .....	7
1.5	Objetivos .....	7
1.5.1	Objetivo General.....	7
1.5.2	Objetivos Específicos .....	7
1.6	Marco Hipotético .....	8
1.6.1	Hipótesis General .....	8
1.6.2	Hipótesis específicas.....	8
Capítulo II.....		9
2	Marco teórico .....	9
2.1	El coco .....	9
2.1.1	Origen del coco.....	9
2.1.2	Beneficios del coco.....	9
2.1.3	Estructura del coco .....	10
2.1.4	Clasificación de cocoteros según su tamaño .....	11
2.2	Carbón activado .....	12
2.2.1	Concepto del carbón .....	12
2.2.2	Concepto de carbón activado.....	12
2.2.3	Clasificación de poros del carbón activado .....	13
2.2.4	Formas físicas del carbón activado.....	13
2.3	Pirólisis .....	15
2.3.1	Pirólisis rápida .....	16
2.3.2	Pirólisis lenta .....	16

2.4	Humedad .....	16
2.5	Demanda Química de Oxígeno .....	17
2.6	Densidad aparente .....	17
2.7	Carbono orgánico total.....	18
2.8	Sólidos disueltos totales.....	18
2.9	Sólidos suspendidos totales .....	19
2.10	Sólidos totales .....	19
2.11	Mortero .....	19
2.11.1	Usos del mortero de porcelana .....	20
2.12	Espectrofotómetro.....	20
2.13	Cenizas totales .....	21
2.14	Formas de activar el carbón activo .....	21
2.14.1	Activación química con ácido fosfórico.....	21
2.14.2	Activación química con cloruro de zinc .....	22
2.15	Activación física .....	22
2.16	Fundamento legal.....	23
Capítulo III .....		27
3	Metodología .....	27
3.1	Población .....	27
3.2	Insumos requeridos .....	28
3.3	Método para la recolección y preparación del endocarpio del coco.....	29
3.4	Método por pirólisis para la obtención del carbón natural de coco .....	29

3.5	Método para la limpieza del carbón obtenido.....	30
3.6	Método para la activación química del carbón activado alternativo.....	30
3.7	Método para la trituración y pre-tamizado .....	31
3.8	Método para el secado final del carbón activado.....	32
3.9	Parámetros para evaluar el cumplimiento de la normativa INEN 1991 en el producto a obtener .....	32
3.9.1	Humedad.....	32
3.9.2	Densidad aparente.....	33
3.9.3	Cenizas totales .....	34
3.10	Evaluación comparativa.....	35
3.10.1	Físicos.....	36
3.10.2	Químicos.....	40
4	Resultados .....	43
4.1	Propiedades físicas químicas del endocarpio del coco .....	43
4.2	Procedimiento de las pruebas experimentales .....	44
4.2.1	Recolección de la materia prima .....	44
4.2.2	Trituración .....	44
4.2.3	Pirólisis .....	45
4.2.4	Triturado, lavado y tamizado del carbón obtenido .....	45
4.3	Resultados de caracterización físico-químico del carbón activado proveniente del endocarpio del coco .....	47
4.4	Resultados de la eficiencia del carbón activado .....	48

4.4.1	Resultados del agua residual domestica antes de ser filtrada por el carbón proveniente del endocarpio del coco .....	48
4.4.2	Resultados del agua residual domestica después de ser filtrada por el carbón activado proveniente del endocarpio del coco .....	49
4.4.3	Resultados del agua residual doméstica después de ser filtrada por el carbón activado comercial.....	50
4.4.4	Análisis de los resultados .....	51
5	Conclusiones .....	53
6	Recomendaciones.....	54
7	Anexos.....	55
8	Bibliografía.....	67

## Índice de Figuras

Figura 1 Punto de Recolección .....	7
Figura 2 Estructura del Coco .....	11
Figura 3 Carbón Activado en polvo .....	14
Figura 4 Carbón activado granular .....	14
Figura 5 Carbón Activo en pellets .....	15
Figura 6 Endocarpio de coco triturado .....	44
Figura 7 Trituración del endocarpio del coco.....	44
Figura 8 Pirólisis del endocarpio del coco .....	45
Figura 9 Tamizado del carbón obtenido a base del endocarpio del coco con tamiz de 2,36 mm.....	46
v Figura 10 Activación del carbón obtenido a base del endocarpio de coco.....	46
Figura 11 Pesaje del endocarpio del coco en balanza .....	55
Figura 12 limpieza del carbón obtenido a base del endocarpio del coco con agua destilada .....	55
Figura 13 Secado del carbón activado obtenido del endocarpio del coco después de su limpieza en una estufa a 120 °C .....	56
Figura 14 Pesaje del carbón a base del endocarpio del coco en balanza.....	56
Figura 15 Carbón activado a base del endocarpio de coco en cápsulas de porcelana.....	57
Figura 16 Carbón activado en el desecador .....	57
Figura 17 Pesaje de papel filtro en balanza .....	58
Figura 18 Filtración de agua por papel filtro .....	58
Figura 19 Pesaje de Sólidos totales .....	59
Figura 20 Filtración de agua por el carbón activado obtenido a base del endocarpio del coco.....	59

## Índice de Tablas

Tabla 1 Requisitos del carbón activado.....	26
Tabla 2 Parámetros evaluados para el cumplimiento de la normativa INEN 1991 en el producto a obtener.....	27
Tabla 3 Materiales empleados.....	28
Tabla 4 Equipos empleados.....	28
Tabla 5 Reactivos usados .....	28
Tabla 6 Parámetros comparados .....	36
Tabla 7 Propiedades del endocarpio del coco .....	43
Tabla 8 Resultados de caracterización físico-químico del carbón activado proveniente del endocarpio del coco según INEN 1991.....	47
Tabla 9 Resultados de la muestra de agua residual domestica previo a ser filtrada por el carbón proveniente del endocarpio del coco.....	48
Tabla 10 Resultados de eficiencia del carbón activado derivado del endocarpio del coco.....	49
Tabla 11 Resultados de eficiencia del carbón activado comercial.....	50
Tabla 12 Resultado del % de Humedad del carbón activado proveniente del endocarpio del coco .....	60
Tabla 13 Resultado del % de cenizas totales del carbón activado proveniente del endocarpio del coco .....	60
Tabla 14 Resultado de la densidad aparente del carbón activado proveniente del endocarpio del coco.....	61
Tabla 15 Resultados de la muestra de agua a usar para la comparación del parámetro "Sólidos Totales" .....	61
Tabla 16 Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado comercial del parámetro "Sólidos Totales".....	62

Tabla 17 Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado proveniente del endocarpio del coco del parámetro "Sólidos Totales" .....	62
Tabla 18 Resultados de la muestra de agua a usar para la comparación del parámetro "Sólidos Suspendidos Totales" .....	63
Tabla 19 Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado comercial del parámetro "Sólidos Suspendidos Totales" .....	63
Tabla 20 Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado proveniente del endocarpio del coco del parámetro "Sólidos Suspendidos Totales" .....	64
Tabla 21 Resultados de la muestra de agua a usar para la comparación del parámetro "Sólidos Disueltos Totales" .....	64
Tabla 22 Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado comercial del parámetro "Sólidos Disueltos Totales".....	65
Tabla 23 Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado a base del endocarpio del coco del parámetro "Sólidos Disueltos Totales" .....	65
Tabla 24 Resultados del parámetro de "color real" .....	66
Tabla 25 Resultados del parámetro de "Demanda Química de Oxígeno".....	66
Tabla 26 Resultados del parámetro de "Carbono Orgánico Total" .....	66

## Índice de Anexos

Anexos 1. Endocarpio del coco .....	55
Anexos 2. Limpieza del carbón activado.....	55
Anexos 3. Secado del carbón activado .....	56
Anexos 4. Peso del carbón activado .....	56
Anexos 5. Carbón activado.....	57
Anexos 6. Control de temperatura .....	57
Anexos 7. Peso de sólidos suspendidos totales .....	58
Anexos 8. Procedimiento para sólidos suspendidos totales .....	58
Anexos 9. Sólidos totales .....	59
Anexos 10. Filtración de agua residual domestica .....	59
Anexos 11. Porcentaje de humedad.....	60
Anexos 12. Porcentaje de cenizas totales .....	60
Anexos 13. Porcentaje de densidad aparente.....	61
Anexos 14. Resultados de sólidos totales.....	61
Anexos 15. Resultados de Solidos totales filtrado .....	62
Anexos 16. Resultados de sólidos totales filtrado .....	62
Anexos 17. Resultados de sólidos suspendidos totales .....	63
Anexos 18. Resultados de sólidos suspendidos totales filtrado.....	63
Anexos 19. Resultados de sólidos suspendidos totales .....	64
Anexos 20. Resultados de sólidos disueltos totales.....	64
Anexos 21. Resultados de sólidos disueltos totales filtrado.....	65
Anexos 22. Resultados de sólidos disueltos totales filtrado.....	65
Anexos 23. Resultados de color real .....	66
Anexos 24. Resultados de DQO .....	66

Anexos 25. Resultados de COT.....66

## Resumen

Este estudio se centra en la elaboración y caracterización de carbón activado a partir del endocarpio del coco, proponiendo su uso como una alternativa sostenible y económica a los carbones activados comerciales utilizados en el tratamiento de aguas. Se exploraron diferentes metodologías de activación, tanto física como química, para optimizar las propiedades adsorbentes del carbón activado producido. El proceso de pirólisis se empleó como etapa inicial para la carbonización del endocarpio del coco, seguido de tratamientos de activación con agentes químicos como el ácido fosfórico.

Se llevó a cabo una serie de experimentos para evaluar las propiedades fisicoquímicas del carbón activado, tales como la humedad, la densidad aparente y el contenido de cenizas. Además, se realizaron pruebas de adsorción para determinar la eficiencia del carbón activado en la remoción de contaminantes.

Los resultados obtenidos demostraron que el carbón activado derivado del endocarpio del coco posee características adsorbentes comparables a las de los carbones activados comerciales, con una alta capacidad para remover contaminantes del agua. Estos hallazgos sugieren que el uso de residuos agroindustriales como el endocarpio del coco para la producción de carbón activado no solo es una solución económica y efectiva para el tratamiento de aguas, sino también una estrategia sustentable que contribuye a la reducción de residuos y al aprovechamiento de recursos naturales.

**Palabras clave:** carbón activado, endocarpio del coco, adsorción, remoción de contaminantes.

## **Abstract**

This study focuses on the elaboration and characterization of activated carbon from coconut endocarp, proposing its use as a sustainable and economical alternative to commercial activated carbons used in water treatment. Different activation methodologies, both physical and chemical, were explored to optimize the adsorptive properties of the activated carbon produced. The pyrolysis process was used as the initial stage for the carbonization of the coconut endocarp, followed by activation treatments with chemical agents such as phosphoric acid.

A series of experiments were carried out to evaluate the physicochemical properties of the activated carbon, such as moisture, bulk density and ash content. In addition, adsorption tests were carried out to determine the efficiency of the activated carbon in the removal of contaminants.

The results obtained showed that the activated carbon derived from coconut endocarp has adsorption characteristics comparable to those of commercial activated carbons, with a high capacity to remove contaminants from water. These findings suggest that the use of agroindustrial wastes such as coconut endocarp for the production of activated carbon is not only an economical and effective solution for water treatment, but also a sustainable strategy that contributes to the reduction of waste and the use of natural resources.

***Key words:*** activated carbon, coconut endocarp, adsorption, pollutant removal.

## **Glosario de Palabras**

**Adsorción:** Proceso por el cual un sólido (adsorbente) retiene moléculas de gases, líquidos o solutos en su superficie.

**Activación química:** Método para producir carbón activado mediante el tratamiento del precursor con agentes químicos como ácido fosfórico o cloruro de zinc, que facilitan la formación de poros.

**Activación física:** Proceso de producción de carbón activado mediante la carbonización del precursor y su posterior activación con gases oxidantes, como vapor de agua o dióxido de carbono.

**Carbonización:** Proceso de descomposición térmica de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno, resultando en la formación de carbón.

**Endocarpio:** Parte interna de la cáscara de frutos como el coco, que se utiliza como precursor en la producción de carbón activado.

**Porosidad:** Propiedad de un material que describe la cantidad de espacio vacío o poros que posee, lo cual es crucial para la capacidad de adsorción en el carbón activado.

**Precursor:** Material de partida utilizado en la producción de carbón activado, en este caso, el endocarpio del coco.

**Temperatura de carbonización:** Rango de temperatura al que se somete el precursor para convertirlo en carbón.

**Textura porosa:** Estructura interna del carbón activado que determina su capacidad para adsorber sustancias.

**Estructura pinnada:** se caracteriza por la disposición de partes de una planta, como los foliolos de una hoja, alineadas a lo largo de un eje central, similar a las barbas de una pluma. Este tipo de estructura se observa en las hojas de algunas plantas, como las palmas de coco, donde los foliolos se organizan en pares a lo largo de un raquis, dando a la hoja una apariencia plumosa.

**Cocotero:** es una palma perteneciente a la familia de las *Arecáceas*. Se trata de una planta tropical que se cultiva en áreas cálidas y costeras de diversas regiones del mundo, particularmente en el sudeste asiático, América Latina y las islas del Pacífico.

## Abreviaturas

- **CO<sub>2</sub>**: Dióxido de carbono.
- **H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**: Ácido fosfórico, un agente químico comúnmente utilizado en la activación química.
- **INEN**: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Organismo que establece normas técnicas en Ecuador.
- **NTE**: Norma Técnica Ecuatoriana
- **INEC**: Instituto Nacional de Estadística y Censo
- **RCOT**: Porcentaje de Rendimiento de Carbono Orgánico Total.
- **NO<sub>x</sub>**: Óxidos de nitrógeno, compuestos químicos que pueden ser adsorbidos por el carbón activado.
- **ST**: Sólidos Totales. Suma de sólidos disueltos y suspendidos en un líquido, generalmente agua
- **DQO**: Demanda Química de Oxígeno. Parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica e inorgánica presente en el agua.
- **SST**: Sólidos Suspendidos Totales. Medida de la cantidad de partículas suspendidas en un líquido, que pueden ser filtradas mediante una membrana.
- **SDT**: Sólidos Disueltos Totales. Medida de la cantidad de sustancias disueltas en un líquido, generalmente agua.
- **PtCo**: Se refiere al método de medición de color conocido como el "índice de color Platino-Cobalto" (Pt-Co), que es una escala utilizada para evaluar el color de líquidos.

# Capítulo I

## Introducción

En el contexto actual de creciente preocupación por el medio ambiente y la sostenibilidad, la gestión adecuada de los residuos sólidos se ha convertido en un desafío crucial. En Ecuador, la generación diaria de residuos sólidos alcanza niveles significativos, con un 55% de estos residuos siendo orgánicos. La ciudad de Guayaquil, en particular, produce aproximadamente 4200 toneladas diarias de basura (Karla Aguas, 2019), de las cuales una gran proporción corresponde a residuos orgánicos como las cáscaras de coco, subproductos de la comercialización de la pulpa y el jugo de este fruto.

La acumulación de estos residuos en vertederos y espacios públicos no solo representa un problema ambiental, sino también una oportunidad desperdiciada para la generación de productos de alto valor añadido. Una alternativa viable para mitigar este problema es la utilización del endocarpio del coco, la parte interna y dura de la cáscara, para la producción de carbón activado. Este material, conocido por su alta capacidad de adsorción, tiene aplicaciones diversas en la purificación de agua y aire, así como en la industria farmacéutica.

El objetivo de esta tesis es desarrollar un proceso alternativo para la producción de carbón activado a partir del endocarpio del coco, aprovechando un residuo orgánico abundante y renovable. La implementación de este proceso no solo contribuiría a la reducción de residuos en Guayaquil, sino que también podría generar nuevas oportunidades económicas y de empleo, fomentando el desarrollo de una economía circular.

En este estudio, se llevarán a cabo diversas pruebas experimentales para optimizar el proceso de producción del carbón activado, evaluando parámetros como la temperatura y el tiempo de activación, así como el tipo de agente activador utilizado. Además, se realizará

una evaluación comparativa de la calidad del carbón activado obtenido frente a productos comerciales, analizando su capacidad de adsorción y otros parámetros relevantes.

A través de esta investigación, se espera demostrar que la utilización del endocarpio del coco como materia prima para la producción de carbón activado es una solución viable y sostenible, que puede tener un impacto significativo en la gestión de residuos y en la promoción de prácticas ambientales responsables en Ecuador.

## **1 Problema**

### **1.1 Antecedente**

En Ecuador, la generación de residuos sólidos al día alcanza niveles significativos, de un total de 14394 toneladas que se recogen al día en el país el 55% aproximadamente es residuos orgánicos correspondientes a 7917 toneladas aproximadamente, sin embargo, aún no se están aprovechando adecuadamente como fuentes de energía eléctrica o materia prima para la producción de subproductos (Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC, 2022).

En la ciudad de Guayaquil, la venta de los derivados del coco, como la pulpa y su jugo natural, genera una gran cantidad de residuos orgánicos sólidos en forma de cáscaras de coco. Después de la comercialización de la pulpa y el jugo, estas cáscaras de coco suelen ser desechadas o acumuladas en los establecimientos de los vendedores, incluyendo informales, puestos de ventas en los mercados, microempresas y emprendimientos dedicados a la venta de productos de coco.

Realizada la venta de la pulpa y el jugo del coco, esta es desechada o acumulada en los establecimientos de los vendedores ya sea informales, puestos de ventas en los mercados, las microempresas y emprendimientos dedicadas a la misma, su destino final por lo general termina en un botadero o desechado en las calles y espacios públicos, generando impactos

ambientales negativos y significativos a la flora y fauna y pobladores más cercanos y sus alrededores.

Se tiene que tener en cuenta que el residuo que se ocasiona y se desecha (cáscara de coco), de ser un residuo inaprovechado puede pasar a ser una fuente de materia prima para un producto final como el carbón activado.

En nuestro país existe una gran generación de materia orgánica como residuos sólidos sin ser aprovechados como fuente de materia prima; la ciudad Guayaquil, incluida las parroquias rurales, genera 4200 toneladas diarias de basura (Karla Aguas,2019), un número significativamente alto, de acuerdo con las cifras establecidas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos del 2022 se conoce que el alrededor del 55% es materia orgánica que constituyen alrededor de 2310 toneladas diarias de desechos orgánicos que no están siendo aprovechados, del total de residuos sólidos producidos en el área urbana y caracterizados por los GAD municipales.

Ecuador cosechó 5776 hectáreas y produjo 26158 toneladas de coco (Ministerio de Agricultura y Ganadería,2020), de los cuales 40,77 toneladas son exportadas, dejando 26118 toneladas en el país del cual son posteriormente generadas en desechos orgánicos sólidos sin ser aprovechados, siendo acumulados en vertederos o centros de acopio de basura.

## 1.2 Justificación

El carbón activado es una sustancia que se usa en diversos usos, desde un filtro para purificación del agua y aire hasta la industria farmacéutica. No obstante, la producción tradicional de carbón activado implica la necesidad de requerir y usar materias primas no renovables y métodos que llegan a infligir negativamente al medio ambiente. Basando en lo expuesto, se vio con la necesidad de idear una alternativa que aproveche el endocarpio del coco, pasando de ser un desecho a una fuente de materia prima.

Los restos del coco como lo es el endocarpio es un residuo abundante y renovable en la ciudad de Guayaquil, utilizarla, aprovecharla como fuente de materia prima para la producción de carbón activado, reduciendo la cantidad de residuos orgánicos que se acumulan y se desperdicia en vertederos y en el caso de Guayaquil que van directos al relleno sanitario.

Se puede llegar a generar una fuente de empleo puesto que las industrias y agricultores que se dedican a la venta de pulpa y jugo de coco, gestionen los residuos y generen un subproducto con un alto valor agregado.

## 1.3 Importancia y alcance

La importancia de realizar el carbón activado con residuos de materia orgánica radica en varios aspectos clave relacionados con la gestión de residuos y la sostenibilidad ambiental en Ecuador, particularmente en la ciudad de Guayaquil entre ellos se destacan los siguientes:

- **Remoción de residuos orgánicos**, se aborda el problema significativo de la acumulación de residuos orgánicos, especialmente las cáscaras de coco, que actualmente no se aprovechan adecuadamente. Al proponer el uso de estas cáscaras como materia prima para la producción de carbón activado, se busca reducir la

cantidad de residuos orgánicos que terminan en vertederos temporales, tiraderos a cielo abierto o en el caso de Guayaquil que la disposición final de los residuos va destinado directamente al relleno sanitario.

- **Aprovechamiento de recursos renovables**, utilizando las cáscaras de coco, un residuo abundante y renovable, como materia prima para el carbón activado, representa una alternativa sostenible a los métodos tradicionales que dependen de recursos no renovables. Esto no solo promueve el uso responsable de los recursos naturales, sino que también contribuye a la economía circular, donde los residuos se transforman en materia prima.
- **Impacto económico y social**, la propuesta puede generar nuevas oportunidades económicas y de empleo, especialmente para las microempresas, emprendimientos y agricultores dedicados a la venta de productos de coco. Al gestionar y transformar los residuos de coco en carbón activado, se crea un subproducto de alto valor agregado que puede ser comercializado, fomentando el desarrollo económico local.
- **Evaluación de la materia prima**, se realizó una investigación descriptiva para identificar y analizar las características físicas y químicas del endocarpio del coco. Este análisis incluirá la determinación de parámetros como la humedad, densidad aparente y las cenizas totales, que son cruciales para definir el proceso de producción del carbón activado.
- **Desarrollo del proceso de producción**, implementación de pruebas experimentales para procesar el endocarpio del coco, con el objetivo de definir un método de manufactura óptimo para la obtención de carbón activado. Esto incluirá la optimización de variables de proceso como temperatura, tiempo de activación, y tipo de agente activador utilizado.

- **Evaluación de la calidad del producto**, con ensayos de comparación se ha realizado ensayos físicos y químicos para comparar la calidad del carbón activado producido a partir del endocarpio del coco con productos comerciales disponibles en el mercado. Estos ensayos incluirán pruebas de adsorción, capacidad de remoción de contaminantes, y estabilidad del material.
- **Verificación de capacidades**: Verificación de la capacidad del carbón activado producido para la remoción de sólidos suspendidos totales, sólidos totales, sólidos disueltos.
- **Aplicaciones y potencial de mercado**, identificación de aplicaciones, las aplicaciones potenciales del carbón activado producido a partir del endocarpio del coco, incluyendo su uso en la purificación de aguas residuales domésticas.

#### **1.4 Delimitación**

El área de estudio se ha delimitado en el barrio Santa María del Bastión Popular, parroquia Tarqui, cantón Guayaquil, provincia del Guayas, realizando las pruebas experimentales en la Universidad Politécnica Salesiana.

##### **1.4.1 Delimitación geográfica**

El punto de recolección de materia prima para los procesos experimentales está en la siguiente coordenada:

Latitud: 2° 6'3.17"S

Longitud: 79°55'34.79"O



**Figura 1** Punto de Recolección

**Fuente:** Imagen extraída de Google Earth

La experimentación práctica se realizó en los laboratorios de Ciencias de la Vida del campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana en el Km. 19 vía a la costa.

#### **1.4.2 Delimitación sectorial**

Se considera un establecimiento dedicado a la venta de la pulpa y jugo de coco, del local se recolectaron el endocarpio de coco, necesarias para las pruebas experimentales.

#### **1.4.3 Delimitación temporal**

El desarrollo de proyecto se lo realizó en el tiempo de 6 meses, de abril a septiembre del 2024.

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Determinar un proceso alternativo mediante el uso del endocarpio del coco para la producción de carbón activo.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las características físicas y químicas de la materia prima mediante investigación descriptiva para precisar el proceso idóneo de producción.

- Procesar el endocarpio del coco mediante pruebas experimentales para definir la manufactura de obtención de carbón activado.
- Comparar la calidad del producto obtenido frente a un producto comercial, mediante ensayos físicos y químicos para verificar su capacidad de remoción.

## **1.6 Marco Hipotético**

### **1.6.1 Hipótesis General**

¿Desarrollando un proceso alternativo mediante uso del endocarpio del coco se logrará producir el carbón activado?

### **1.6.2 Hipótesis específicas**

- ¿Identificando las características físicas y químicas de la materia prima mediante investigación descriptiva se precisará el proceso idóneo de producción?
- ¿Procesando el endocarpio del coco mediante pruebas experimentales se podrá definir la manufactura de obtención de carbón activado?
- ¿Comparando la calidad del producto obtenido frente a un producto comercial, mediante ensayos físicos y químicos lograremos verificar su capacidad de remoción?

## Capítulo II

### 2 Marco teórico

#### 2.1 El coco

##### 2.1.1 Origen del coco

*Cocos nucifera L.*, es también conocido como cocotero, pertenece a la tribu *Cocoseae* y a la subfamilia *Arecoideae* de la familia *Arecaceae*. (Morillo et al., n.d.) Este árbol es una de las palmas más reconocidas y económicamente significativas a nivel mundial. Su estudio ha sido extenso debido a sus características morfológicas distintivas, particularmente en relación con su tallo, frutos y hojas.

El tallo del cocotero puede alcanzar alturas de entre 20 y 30 metros, presentando una inclinación característica. Las hojas, por su parte, tienen una estructura pinnada que contribuye a su singular apariencia y funcionalidad. Estas características hacen del cocotero un objeto de interés tanto para la botánica como para la economía, destacando su relevancia en diversas industrias y ecosistemas tropicales.

##### 2.1.2 Beneficios del coco

En la actualidad, el coco, fruto de una planta emblemática en las islas, costas y regiones de Centroamérica, es ampliamente conocido por sus numerosos beneficios y nutrientes. Entre estos, se destacan el agua dulce contenida en su interior, sus cualidades como alimento, los aceites extraídos de su pulpa y las fibras obtenidas de su cáscara.

A medida que el coco se esparció por diversas áreas tropicales, las comunidades locales aprovecharon sus múltiples utilidades. La cáscara del coco, rica en fibras resistentes, se ha utilizado tradicionalmente para la fabricación de cuerdas y otros productos textiles (Pérez, Fernández, & Rodríguez., 2021). Estas fibras, conocidas por su durabilidad, han sido

esenciales en la elaboración de redes, esteras y cepillos, demostrando así la versatilidad del coco.

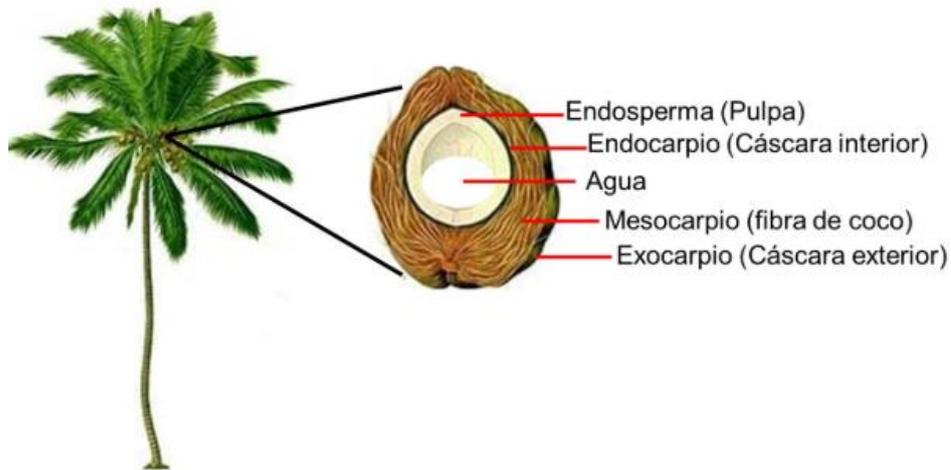
Además, el endocarpio del coco, la parte interna y dura de la cáscara, se ha utilizado para crear herramientas mediante el método de combustión. Este proceso implica quemar el endocarpio para moldear y dar forma a utensilios, que van desde recipientes hasta implementos de cocina. Este uso del endocarpio no solo muestra la ingeniosidad humana en el aprovechamiento de recursos naturales, sino también la importancia del coco en la vida cotidiana de las comunidades tropicales.

Hoy se sabe que el aceite de coco contiene una alta proporción de ácidos grasos saturados de cadena media (MCSFA, por sus siglas en inglés), por lo que es altamente recomendado para la industria de los alimentos y la repostería, ya que ayuda a lograr mezclas tersas con sustancias que no siempre se mezclan bien, y el aceite de coco es superior en ese sentido a otros aceites vegetales o animales (Kyle B Reynolds, 2019)

### **2.1.3 Estructura del coco**

El coco presenta tres partes de su estructura

1. Exocarpio: cáscara exterior gruesa
2. Mesocarpio: fibras del coco
3. Endocarpio: cascara interior dura de color marrón, dentro de ella se encuentra la pulpa de color blanco y también se encuentra el agua de coco. (véase figura 2.)



**Figura 2** Estructura del Coco

**Fuente:** (Pérez, Fernández, & Rodríguez., 2021)

#### 2.1.4 Clasificación de cocoteros según su tamaño

##### **Cocoteros gigantes**

- Alto contenido de agua en el fruto
- Adecuados para la producción de Aceite
- Menor dulzura en el sabor
- Frutos de gran tamaño
- Longevidad que oscila entre los 40 y 90 años
- Pulpa de buena calidad

##### **Cocoteros enanos**

- Frutos de tamaño pequeño
- Pulpa de baja calidad
- Agua de mejor dulzura y calidad
- Adecuados para la producción de bebidas

## **Cocoteros híbridos**

- Su tamaño es mediano
- Pulpa de mejor rendimiento
- Resultado de la combinación de cocoteros gigantes y enanos
- Su fruto es de buen sabor

## **2.2 Carbón activado**

### **2.2.1 Concepto del carbón**

El carbón es un combustible fósil sólido, formado a partir de la descomposición parcial de materia vegetal a lo largo de millones de años en condiciones de alta presión y temperatura, sin oxígeno. Es una fuente de energía primaria ampliamente utilizada en la producción de electricidad y calor, así como en la fabricación de acero y otros procesos industriales. (Junta de Castilla y León, n.d.)

Además de su importancia como recurso energético, el carbón también tiene aplicaciones en la filtración de agua y aire, en la producción de materiales como el carbón activado, y en la síntesis de productos químicos. Sin embargo, su combustión emite dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos, lo que contribuye al cambio climático y la contaminación del aire.

### **2.2.2 Concepto de carbón activado**

El carbón activado es un material ampliamente utilizado en diversas industrias debido a su estructura porosa, la cual le permite adsorber y retener una amplia gama de compuestos. Esta capacidad de adsorción lo convierte en una herramienta invaluable en campos como la purificación de líquidos y gases, siendo empleado en una variedad de aplicaciones científicas. (Reynolds et al., 2019)

El carbón activado se utiliza en una gran gama de productos derivados del carbón y otros materiales carbonosos, para purificar sustancias. Este proceso implica la carbonización de lignocelulósicos con cloruro de metales, conocido como "activación química", que aumenta la porosidad y la capacidad de adsorción del carbón activado.

### **2.2.3 Clasificación de poros del carbón activado**

La clasificación del tamaño de los poros se rige por las directrices de la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), que se determinan según el diámetro de los poros, de la siguiente manera:

- Microporos: aquellos con un diámetro inferior a 2 nm.
- Mesoporos: con diámetros comprendidos entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: con diámetros superiores a 50 nm (generalmente entre 200 y 2000 nm).

### **2.2.4 Formas físicas del carbón activado**

La producción de carbón activado puede variar según su aplicación y el contexto en el que se utilizará. Se distinguen dos formas principales de carbón activado: en polvo y granulado. Estas variantes se eligen según sus características específicas y el propósito para el que se emplearán.

El carbón activado en forma de polvo se emplea en la purificación y clarificación de líquidos, con un tamaño de partícula que no excede los 0.25mm. Es ampliamente utilizado a nivel nacional en la clarificación de jarabes en industrias como coca cola. Esta variedad de carbón se caracteriza por su alta área superficial y su amplia amplitud de poros. (véase figura 3)



**Figura 3** Carbón Activado en polvo

*Fuente: (Alkano, s.f.)*

Por otro lado, el carbón activado en forma granular se emplea para la purificación tanto de líquidos como de gases, con un tamaño de partícula superior a 0.25mm. A nivel nacional, se utiliza en la eliminación de cloro del agua y en el proceso de potabilización (eliminación de colores y olores desagradables). Este tipo de carbón se caracteriza por su alta área superficial y una amplitud de poro menor.



**Figura 4** Carbón activado granular

*Fuente: (Carbotecnia , 2019)*

Por su parte, el carbón activado en forma de pellets exhibe una estructura cilíndrica con diversas longitudes, siendo principalmente empleado en la purificación de gases. Su diámetro oscila entre 0.8 y 3 mm. (Coco et al., n.d.)



**Figura 5** Carbón Activo en pellets

*Fuente: (Zhulin Carbón Activado S.A., 2023)*

### **2.3 Pirólisis**

El término pirólisis se refiere a un proceso de descomposición química que ocurre a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. Este fenómeno implica la descomposición térmica de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno, lo que lleva a la formación de compuestos más simples. Inicialmente, el proceso se basa en la combustión y gasificación de los materiales, lo cual conduce a la oxidación parcial o total de los productos primarios.

El proceso de pirólisis se desarrolla en tres etapas principales:

1. Dosificación y alimentación de la materia prima.
2. Transformación de la masa orgánica.
3. Obtención y separación de productos tales como bio-aceite, gas y coque.

Cada una de estas fases es crucial para la eficiencia y el rendimiento del proceso de pirólisis, permitiendo la conversión de residuos orgánicos en productos útiles.

### **2.3.1 Pirólisis rápida**

Los procesos de pirólisis, por lo general, se realizan a temperaturas que varían entre 300°C y 600°C, bajo condiciones de presión atmosférica y en un ambiente libre de oxígeno. La pirólisis rápida se caracteriza por funcionar en circunstancias que mejoran la transferencia de calor y las tasas de calentamiento de la biomasa, empleando un reactor con control preciso de la temperatura alrededor de los 500 °C (Antonio et al., n.d.). Tras la pirólisis, se procede con un enfriamiento rápido, seguido de la separación y condensación de un líquido.

Un tiempo de residencia muy breve (generalmente menos de 2-3 segundos) de los productos primarios de la pirólisis en el reactor permite optimizar la producción de líquidos. Esto se consigue al evitar la fragmentación térmica y catalítica posterior de los vapores, que de otro modo producirían gases no condensables, y al prevenir la recombinación de los productos primarios en precursores de carbón.

### **2.3.2 Pirólisis lenta**

El pirólisis convencional, también conocida como pirólisis lenta, se caracteriza por un calentamiento gradual de la biomasa, con temperaturas bajas y tiempos de residencia prolongados tanto para los sólidos como para los gases, dependiendo del sistema. En este proceso, la tasa de calentamiento es de aproximadamente 0,1 a 2°C por segundo, alcanzando temperaturas alrededor de los 400°C. El tiempo de residencia de los gases puede superar los 5 segundos, mientras que el de la biomasa puede variar desde unos minutos hasta varios días. Este método es el que mayor rendimiento produce en biocarbón. (Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Química, n.d.)

## **2.4 Humedad**

La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire o en una sustancia. Es un factor esencial en diversos procesos, incluyendo la adsorción por carbón activado.

Cuando la humedad es muy alta, el carbón activado tiende a adsorber principalmente moléculas de agua, lo que disminuye su capacidad para adsorber otros contaminantes (Eceiza & Filter, 2022). En entornos con alta humedad, la eficiencia del carbón activado para capturar y eliminar sustancias nocivas se ve afectada, ya que las moléculas de agua ocupan los sitios de adsorción disponibles en la superficie del carbón.

## **2.5 Demanda Química de Oxígeno**

Es una medida que indica la cantidad de oxígeno que consume la materia orgánica presente en una muestra cuando es oxidada por un agente químico oxidante fuerte. En concreto, representa el contenido orgánico total de la muestra, que puede oxidarse por dicromato en una solución ácida.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que indica la cantidad de un oxidante específico que reacciona con una muestra bajo condiciones controladas de laboratorio. Este valor se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno, generalmente en miligramos de oxígeno por litro ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ).

El método colorimétrico para determinar la DQO se fundamenta en la capacidad de un oxidante fuerte, compuestos cromosos, crómicos y cromatos, para oxidar la materia orgánica presente en la muestra.

## **2.6 Densidad aparente**

La densidad aparente es una medida que describe la relación entre la masa de un material y el volumen total que ocupa, incluyendo tanto el volumen de las partículas individuales como los espacios vacíos entre ellas. Esta propiedad es fundamental para diversas aplicaciones industriales.

Algunos factores que influyen en la densidad aparente es el tamaño de las partículas, nivel de compresión y porosidad. Un aumento en la densidad aparente del carbón activado indica

también una mayor capacidad de adsorción. Esto se debe a que un mayor valor de densidad aparente refleja una mayor porosidad en los granos de carbón, lo que incrementa la superficie disponible para el contacto. Como resultado, se fortalecen las interacciones con las sustancias a adsorber, mejorando su retención.(Ortiz, 2020)

## **2.7 Carbono orgánico total**

El carbono orgánico total representa la cantidad de compuestos orgánicos en una muestra de agua. Estos compuestos, que incluyen carbono orgánico, pueden estar disueltos en el agua, en suspensión como material no disuelto, o presentes como líquidos. La materia orgánica puede ingresar al agua tanto por medios naturales como por fuentes o procesos artificiales. Ejemplos de materia orgánica incluyen sustancias de origen vegetal o animal, así como compuestos sintéticos que contienen carbono y otros elementos clasificados como compuestos orgánicos. La materia inorgánica se refiere a los compuestos que contienen carbono mineral. (Analizadores de carbono orgánico Total (COT) y descripción general De parámetros, Hach, n.d.)

## **2.8 Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos, que tienen un tamaño inferior a 2 micras, incluyen minerales, sales y metales presentes en el agua en forma de moléculas, átomos, cationes o aniones. Los sólidos totales disueltos (TDS) consisten en sales inorgánicas como calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, además de pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta en el agua. (Sólidos totales y disueltos (TSS Y TDS) - Parámetros De calidad del agua. Hach, n.d.)

Estos sólidos disueltos provienen de aguas subterráneas, aguas superficiales, aguas residuales domésticas e industriales, y de efluentes urbanos y agrícolas. Además, las sales arrastradas por la lluvia o el deshielo también pueden aumentar los niveles de SDT en las fuentes de agua. (Carbotecnia, 2021)

## **2.9 Sólidos suspendidos totales**

Los sólidos totales en suspensión (SST), reconocidos como contaminantes convencionales en la Ley de Agua Limpia de Estados Unidos, pueden servir como un indicador de la calidad del agua, ya sea en océanos o en aguas residuales. Para medir los TSS, se filtra el agua a través de un filtro previamente pesado, y las partículas que quedan en el filtro después de secarlo se consideran SST. Esta medición ofrece un peso seco preciso de los sólidos en suspensión. Los expertos en calidad del agua suelen combinar la medición de TSS con la turbidez para desarrollar correlaciones específicas del sitio, lo que mejora la eficiencia y ahorra tiempo en los análisis. (Sólidos Totales Y Disueltos (TSS Y TDS) - Parámetros De Calidad Del Agua. Hach, n.d.)

## **2.10 Sólidos totales**

Los sólidos totales (ST) representan la cantidad global de material sólido contenido en una muestra de agua. Este material incluye sólidos suspendidos, partículas visibles a simple vista o mediante microscopio, y sólidos disueltos, que consisten en iones, sales y otras moléculas presentes en la solución.

Los sólidos totales son los residuos que permanecen en un recipiente después de evaporar una muestra a una temperatura específica (Omega Perú S.A., 2019). Esta medición es crucial en varias aplicaciones ambientales y en el tratamiento de agua, ya que una alta concentración de sólidos totales puede impactar negativamente la calidad del agua y su aptitud para el consumo humano, usos industriales o agrícolas.

## **2.11 Mortero**

Un mortero es una herramienta empleada tanto en laboratorios como en cocinas para triturar, mezclar y moler sustancias sólidas en pequeñas cantidades. Consta de un recipiente cóncavo, usualmente hecho de cerámica, porcelana, vidrio o materiales compuestos,

denominado "mortero", y de un objeto cilíndrico o cónico llamado "pistilo" o "maza", utilizado para triturar y mezclar las sustancias dentro del mortero. (Cis-Lab, 2024)

### **2.11.1 Usos del mortero de porcelana**

- Preparación de muestras: En laboratorios, se utilizan para triturar y homogeneizar muestras sólidas como minerales, tejidos biológicos o materiales sintéticos antes de análisis o experimentos.
- Mezcla de sustancias: Los morteros permiten la mezcla cuidadosa de diferentes sustancias sólidas, como polvos o cristales, logrando una mezcla uniforme.
- Preparación de reactivos: En química, se emplean para triturar y mezclar reactivos antes de una reacción química o para preparar soluciones.
- Molienda de especias y hierbas: En la cocina, los morteros se utilizan para moler y mezclar especias, hierbas y otros ingredientes para la preparación de alimentos.
- Preparación de medicamentos: En la industria farmacéutica y herbaria, los morteros se utilizan para triturar ingredientes y preparar medicamentos y extractos.

### **2.12 Espectrofotómetro**

El espectrofotómetro UV-VIS DR6000 proporciona un rendimiento excepcional tanto en tareas de laboratorio rutinarias como en aplicaciones de fotometría avanzadas. Este equipo está diseñado para optimizar el trabajo en laboratorios profesionales. Su software inteligente asiste al director de laboratorio en la calibración rutinaria, el control de calidad y el desarrollo de aplicaciones personalizadas.

El DR6000 permite escaneos de longitud de onda de alta velocidad por los espectros UV y visible, y tiene más de 250 métodos preprogramados, con los métodos de análisis más utilizados en la actualidad. Con accesorios opcionales que facilitan el análisis de grandes volúmenes mediante un cambiador de muestras de carrusel y una mayor exactitud gracias

a un sistema de suministro de muestras que elimina errores ópticos, este instrumento garantiza cubrir todas las necesidades de análisis de agua.

### **2.13 Cenizas totales**

El contenido de cenizas totales hace referencia a la cantidad de residuos inorgánicos que quedan después de la quema completa de una muestra de carbón activado. Este parámetro expresa como un porcentaje del peso original de la muestra y representa los minerales y otros componentes no carbonosos presentes en el carbón.

Su importancia radica en:

#### **1. Pureza del carbón:**

- Un menor contenido de cenizas indica un carbón activado más puro, lo que mejora su capacidad de adsorción y su eficiencia en aplicaciones de filtración y purificación.

#### **2. Calidad del producto:**

- La cantidad de cenizas puede afectar la calidad del carbón activado. Altos niveles de cenizas pueden reducir la eficacia del carbón al ocupar espacio en la estructura porosa.

### **2.14 Formas de activar el carbón activo**

#### **2.14.1 Activación química con ácido fosfórico**

La preparación de carbón activado se lleva a cabo mediante el método de activación química, utilizando ácido fosfórico como agente activante y carbón vegetal proveniente del endocarpio del coco como materia prima. Se analizan las siguientes variables: granulometría del carbón, temperatura y tiempo de carbonización. Es importante destacar que el foco principal de este estudio es la evaluación de la capacidad adsorptiva del carbón una vez activado. (Surculento Villalobos et al., 2023)

La producción de carbón activado a partir de carbón vegetal es de gran importancia económica y se enmarca dentro de proyectos que promueven un aprovechamiento más eficiente y oportuno de los recursos, en particular los de naturaleza carbonácea. Además, este enfoque contribuye a la sustitución de importaciones, potenciando el desarrollo sostenible y el uso racional de los recursos locales. (García-Guel et al., 2019)

#### **2.14.2 Activación química con cloruro de zinc**

El método de activación con cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ) fue ampliamente utilizado en la década de 1970 para activar residuos de madera debido a su eficacia en la creación de carbones activados con alta superficie específica y porosidad adecuada. Sin embargo, debido a los problemas ambientales asociados con el uso de cloruro de zinc, su aplicación ha disminuido significativamente en muchas partes del mundo. A pesar de esto, en países como China, todavía se emplea como agente activante químico para la producción de carbón activado, debido a su capacidad para producir carbones con propiedades específicas que son difíciles de alcanzar con otros métodos.

#### **2.15 Activación física**

La activación física del carbón activado es un proceso que se lleva a cabo en dos etapas principales. La primera etapa consiste en la carbonización de la materia prima, la cual se somete a temperaturas elevadas, que oscilan entre  $500^{\circ}C$  y  $1200^{\circ}C$ , en ausencia de oxígeno. Durante la segunda etapa, el material carbonizado se activa mediante una gasificación parcial utilizando vapor de agua, oxígeno o dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Si ambos pasos se realizan simultáneamente, se denomina activación directa.

En el proceso de activación, las reacciones del carbón con vapor de agua o  $CO_2$  requieren la absorción de calor, lo que significa que las partículas de carbón deben estar en óptimo contacto con el agente activante. Para asegurar una reacción efectiva, el gas activante debe estar a una temperatura superior a la de la reacción.

## **2.16 Fundamento legal**

La Constitución de la República del 2008 establece en su el Artículo 264 señala que los gobiernos autónomos deben proporcionar servicios públicos esenciales, como el manejo de agua potable, alcantarillado, y saneamiento ambiental, lo cual incluye la gestión de desechos Asimismo, el Artículo 415 que el Estado, junto con los gobiernos autónomos descentralizados, debe implementar políticas integrales y participativas para regular el crecimiento urbano, la gestión de fauna y la creación de zonas verdes, además de programas que promuevan el uso racional del agua y la gestión adecuada de desechos sólidos y líquidos.

El Código Orgánico del Ambiente publicado en el registro oficial suplemento 983 del 12 de abril del 2017, en su Artículo 27, Sección 6, subraya la importancia de elaborar planes y programas específicos para la gestión de residuos sólidos.

El Acuerdo Ministerial 061, publicado en el Registro Oficial No. 316 en Quito el lunes 4 de mayo de 2015, establece lo siguiente:

Artículo 2: Principios y etapas del manejo de residuos no peligrosos. Se refiere al conjunto de acciones técnicas y operativas dentro de la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos. Esto abarca desde la minimización de su generación, la separación en la fuente, el almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, hasta el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de estos residuos.

Artículo 48: Ámbito de aplicación, este artículo abarca todas las etapas de la gestión integral de residuos no peligrosos, peligrosos y/o especiales, incluyendo los mecanismos para la prevención y control de la contaminación en el territorio nacional. Las actividades deben realizarse de acuerdo con los procedimientos y normas técnicas establecidos en la

normativa ambiental vigente, así como en los convenios internacionales suscritos y ratificados por el Estado. Están obligados a cumplir con las disposiciones de este capítulo todas las personas naturales o jurídicas, sean públicas o privadas, nacionales o extranjeras, que operen en cualquiera de las fases de gestión de residuos no peligrosos, peligrosos y/o especiales dentro del territorio nacional, según lo estipulado en los artículos anteriores.

En cuanto a la regulación de productos industriales, la Normativa NTE INEN 1991 del año 1995 establece los parámetros necesarios para garantizar la calidad y seguridad del carbón activado, un material crucial en múltiples aplicaciones. Esta normativa define los requisitos físicos y los métodos de activación del carbón, y detalla los procedimientos de inspección, envasado y etiquetado, asegurando su adecuada comercialización en el mercado nacional. En el análisis de la calidad del agua residual tratada con carbón activado derivado del endocarpio del coco, se considerarán ciertos parámetros específicos. Estos parámetros son esenciales para asegurar que las descargas en cuerpos de agua dulce cumplan con los límites establecidos, y fueron seleccionados por su relevancia para evaluar la eficiencia del tratamiento. Los parámetros seleccionados son:

- Color: Un indicador que refleja la presencia de materiales que afectan la apariencia del agua, debido a sustancias disueltas o en suspensión.
- Sólidos totales: Esta medida incluye toda la materia sólida contenida en el agua, abarcando tanto los sólidos disueltos como los suspendidos.
- Sólidos suspendidos totales: Se refiere a la cantidad de partículas que no se disuelven en el agua y pueden ser filtradas, representando un componente significativo de la contaminación física.
- Sólidos disueltos totales: Cantidad de minerales y otras sustancias disueltas que permanecen en solución en el agua.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Este parámetro mide el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en el agua, ofreciendo una indicación del nivel de contaminación.
- Carbono Orgánico Total (COT): Representa la cantidad total de carbono en compuestos orgánicos dentro del agua, siendo un indicador de la carga orgánica general.

La regulación y estandarización de productos es crucial para asegurar su calidad y seguridad en el mercado, especialmente en sectores industriales. En Ecuador, la normativa NTE INEN 1991:1995, define los parámetros que debe cumplir el carbón activado, material vital en diversas aplicaciones industriales. Esta normativa proporciona directrices sobre los requisitos y características físicas del carbón activado, así como los métodos de activación tanto físicos como químicos. Además, detalla los procedimientos de inspección, envasado y etiquetado, garantizando así su calidad y seguridad en el mercado nacional. Este trabajo examina la relevancia y aplicación de la normativa NTE INEN 1991:1995, en la producción del carbón activado en Ecuador, con énfasis en sus especificaciones físicas, métodos de activación.

**Tabla 1** Requisitos del carbón activado

No.	REQUISITOS	UNIDAD	POLVO		GRANULAR		MÉTODO DE ENSAYO
			MIN	MAX	MIN	MAX	
1	<b>Humedad</b>	% m/m	-	12	-	12	NTE INEN 1985
2	<b>Densidad aparente</b>	g/cm <sup>3</sup>	0,20	-	0,20	-	NTE INEN 1986
3	<b>Cenizas totales</b>	% m/m	-	12	-	12	NTE INEN 1987
4	<b>Superficie específica BET</b>	m <sup>2</sup> /g	600	-	600	-	NTE INEN 1990
5	<b>Dureza</b>	% m/m	-	-	90	.	NTE INEN 1989
6	<b>Número de yodo</b>	*mg/g	600	-	600	.	NTE INEN 1988
*miligramos de yodo por gramo de carbón activado							

Fuente: NTE INEN 1991 (1995)

## Capítulo III

### 3 Metodología

Para la producción de carbón activado a partir del endocarpio del coco, se empleó un proceso experimental en el barrio Santa María del Bastión Popular, parroquia Tarqui, cantón Guayaquil, provincia del Guayas. Este proceso incluyó varias etapas: la clasificación del endocarpio, la obtención de carbón natural mediante pirólisis, la trituración y tamizado, la activación química, el secado final, y la comparación del producto alternativo con un carbón activado comercial.

El producto que se obtuvo en el laboratorio se le realizó los siguientes parámetros para evaluar la eficiencia del mismo teniendo como referencia lo establecido en la Norma INEN 1991:1995; se estimó para este trabajo experimental el análisis de tres parámetros que se detallan a continuación:

**Tabla 2** Parámetros evaluados para el cumplimiento de la normativa INEN 1991 en el producto a obtener.

No.	PARÁMETROS	UNIDADES
1	Humedad	% m/m
2	Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>
3	Cenizas totales	% m/m

**Fuente:** NTE INEN 1991:1995

#### 3.1 Población

Se considero la cantidad de endocarpio de coco producidos en el día en un establecimiento de la zona previamente delimitada, aproximadamente en la semana se genera aproximadamente 7 kg.

### 3.2 Insumos requeridos

**Tabla 3** Materiales empleados

No.	Proceso o actividad	Materiales
1	Pirólisis	Cápsulas de porcelanas
2	Lavado de carbón activado	Agua destilada
3	Trituración	Mortero
4	Tamizado	Tamiz 2,36 mm
5	Filtración de agua	Vaso de precipitación 250 ml
6	DQO	Viales

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

**Tabla 4** Equipos empleados

No.	Proceso(s) o actividad(es)	Equipos
1	Calentamiento y secado final, deshidratación del carbón	Estufa
2	Enfriamiento del endocarpio de coco previo a la activación del carbón	Desecador
3	Pirólisis	Mufla
4	Pesaje de carbón, pesaje de carbón activado a base del endocarpio del coco	Balanza Analítica
5	Comparación del color	Espectrofotómetro
6	DQO	Fotómetro
7	Sólidos suspendidos totales Sólidos disueltos totales Sólidos totales	Estufa

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

**Tabla 5** Reactivos usados

No.	Proceso o actividad	Reactivos
1	Activación de carbón activado alternativo	Ácido fosfórico

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### **3.3 Método para la recolección y preparación del endocarpio del coco**

#### **Pasos:**

#### **1. Selección del Endocarpio**

- Se Clasificó el endocarpio del coco para seleccionar las piezas óptimas para la producción.

#### **2. Trituración del Material**

- Fue cortado el endocarpio, clasificado en trozos pequeños que entraron en la cápsula de porcelana.

#### **3. Preparación de la Cápsula**

- Se limpio y seco la cápsula de porcelana. Se peso antes de introducirle el material.

### **3.4 Método por pirólisis para la obtención del carbón natural de coco**

#### **Pasos:**

#### **1. Recolectar la Materia Prima**

- Una vez que se obtuvo la materia prima resultante del endocarpio de coco seco, se la acumula en un recipiente.

#### **2. Pirólisis**

- Se uso la mufla a 600 °C durante 3 horas.
- Se colocaron las cápsulas de porcelanas en el desecador para que su temperatura se iguale a la del ambiente.

### **3.5 Método para la limpieza del carbón obtenido**

#### **Pasos:**

#### **1. Retiro de Cápsulas**

- Se utilizo pinzas metálicas de laboratorio para retirar las cápsulas de porcelana del desecador, evitando la contaminación cruzada.

#### **2. Limpieza del carbón**

- Se limpio el carbón obtenido en las cápsulas de porcelana con agua destilada, removiendo cualquier ceniza producida.

#### **3. Secado del carbón**

- Fueron colocas las cápsulas en una estufa a 125 °C y se dejó secar el carbón durante una hora.
- Se espero a que enfríe el carbón en el desecador para evitar la absorción de humedad del ambiente.

### **3.6 Método para la activación química del carbón activado alternativo**

Se realizo la activación del carbón activado alternativo haciendo uso del ácido fosfórico

#### **Pasos:**

#### **1. Inmersión del carbón**

- El carbón resultante de la pirólisis fue sumergido en la solución de ácido fosfórico al 85% para asegurar una impregnación uniforme.

#### **2. Deshidratación en la estufa**

- Se colocó el carbón impregnado en una estufa a 125°C durante 2 horas para deshidratarlo completamente.

### **3. Lavado del carbón**

- Se utilizó un tamiz de 2,36 mm, para enjuagar el carbón con agua destilada cinco veces para eliminar los residuos de ácido fosfórico y asegurar una limpieza adecuada.

### **3.7 Método para la trituración y pre-tamizado**

Obtenido el carbón alternativo seco se procede a triturar con la ayuda de un mortero y haciendo uso de un tamizado para que el tamaño de la muestra sea homogéneo.

#### **Pasos:**

#### **1. Colocación del carbón**

- Se colocó una cantidad moderada de carbón seco en el mortero, evitando llenarlo en exceso para facilitar el proceso de trituración.

#### **2. Triturar el carbón**

- Se sostuvo la mano del mortero con una mano y el mortero con la otra.
- Se giró y presionó la mano del mortero sobre el carbón en movimientos circulares y de vaivén, aplicando una presión uniforme para romper las partículas de carbón.

#### **3. Repetición del proceso**

- Se trituró hasta que el tamaño del carbón alcance la medida deseada de 2,36 mm.

#### **4. Tamizado**

- Se tamizó el carbón triturado para separar los fragmentos más finos de los más gruesos.

### **3.8 Método para el secado final del carbón activado**

Se llevó a cabo el secado final del carbón activo para las posteriores pruebas experimentales con agua residual doméstica.

#### **Pasos:**

##### **1. Secado inicial**

- Se colocó el carbón en la estufa a 125°C durante 2 horas
- Posteriormente se dejó en el desecador.

### **3.9 Parámetros para evaluar el cumplimiento de la normativa INEN 1991 en el producto a obtener**

#### **3.9.1 Humedad**

##### **1. Preparación de la muestra**

- Se pesó 60 g de la muestra utilizando una balanza y se registró el peso inicial.

##### **2. Medición de humedad**

- Se colocó en la estufa las cápsulas de porcelana a temperatura de 120 °C durante 30 minutos para eliminar impurezas.
- Fueron trasladadas las cápsulas al desecador durante 15 minutos, permitiendo mantener los recipientes en un ambiente de humedad controlada.
- Las cápsulas de porcelana fueron pesadas y se registró su peso.
- Se añadió el carbón a base de endocarpio de coco a las cápsulas y se pesaron.

Haciendo uso de la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de humedad

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P} * 100$$

Del cual:

P= cápsula vacía (g)

P<sub>1</sub>= cápsula (g)+muestra húmeda (g)

P<sub>2</sub>= cápsula (g)+muestra seca(g)

### **3.9.2 Densidad aparente**

#### **1. Preparación de la muestra**

- Las muestras de carbón activado fueron secadas en una estufa a una temperatura de 105°C hasta alcanzar un peso constante.

#### **2. Determinación de la densidad aparente**

- Se pesó la cápsula de porcelana vacía y registrar el peso (P<sub>1</sub>).
- Se llenó la cápsula de porcelana con la muestra de carbón activado, dejando caer el material suavemente sin compactarlo, hasta alcanzar una medida de 100 gr. Es importante que la muestra se deposite de manera uniforme.
- Se uso una varilla de vidrio para nivelar la superficie del carbón activado en la probeta sin compactar.
- Se peso la cápsula de porcelana con la muestra de carbón activado y se registró el peso (P<sub>2</sub>).

### 3. Cálculos

$$\text{Densidad Aparente } (D_{ap}) = \frac{m * (100 - \%H)}{10000}$$

Donde:

$D_{ap}$  = Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

$m$  = Masa de la muestra de carbón (g)

$\%H$  = Porcentaje de humedad (g)

#### 3.9.3 Cenizas totales

##### 1. Preparación del equipo y materiales

- Se limpió y secó los crisoles de porcelana. Se pesó cada crisol vacío y registró su peso.

##### 2. Preparación de la muestra

- Se peso 50 gr del carbón activado y transferirla al crisol. Se registro el peso total del crisol con la muestra.

##### 3. Calcinación

- Fueron colocados los crisoles con las muestras en la estufa precalentada.
- Se mantuvo las muestras en la estufa a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 3 horas para asegurar la combustión completa de la materia orgánica.
- Después de la calcinación, se utilizó pinzas de laboratorio para transferir los crisoles a un desecador y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

#### 4. Peso final

- Una vez que los crisoles se hayan enfriado, se pesó cada crisol con las cenizas y se registró el peso.

#### 5. Cálculo del contenido de cenizas totales

- Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de cenizas totales en la muestra de carbón activado:

$$\%Cenizas\ totales = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P} * 100$$

Del cual:

P = Crisol vacío (g)

P<sub>1</sub> = Crisol (g)+muestra (g)

P<sub>2</sub> = Crisol (g)+cenizas (g)

#### 3.10 Evaluación comparativa

Se analizaron las propiedades físicas y químicas para evaluar la eficiencia de un carbón activado alternativo en comparación con un carbón activado comercial. Se empleó diferentes parámetros en muestras de agua residual doméstica, tanto antes como después de haber pasado por el filtro de ambos tipos de carbón activado.

**Tabla 6** Parámetros comparados

<b>Parámetros a Comparar</b>	<b>Equipos a usar</b>
Físico: Color	Colorímetro
Físico: Sólidos totales	Estufa
Físico: Sólidos suspendidos totales	Estufa
Físico: Sólidos disueltos totales	Estufa
Químico: DQO	Termoreactor/ Fotómetro Dr 900
Químico: Carbono orgánico total	Analizador de carbono

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### **3.10.1 Físicos**

#### **3.10.1.1 Comparación del Color**

##### **Procedimiento:**

##### **1. Recolectar y etiquetar las muestras**

- Se recolectó 2 alícuotas del agua residual domestica las cuales son el agua previa a pasar por los diferentes filtros de carbón activado (agua residual cruda) y el agua que paso por los dos tipos de filtros.
- Se etiquetó las celdas de medición de la muestra para tener un control de los resultados, con el fin de evitar confusiones de los resultados.

##### **2. Medición del color**

- Se llenó una celda de medición con agua destilada para establecer un valor base de 0, conocido como muestra blanca, y se llenó otra celda con el agua residual doméstica cruda para su análisis.
- Se colocó la celda en el colorímetro y se midió el color.
- Se repitió el proceso para las muestras de agua filtrada con carbón activado comercial, y agua filtrada con carbón activado derivado del coco.

### **3.10.1.2 Comparación de sólidos totales**

#### **Procedimiento:**

#### **1. Homogenización de la muestra de agua**

- Se agitó el embace donde esta almacenado toda la muestra de agua para homogeneizarla.
- Se colocó en un vaso de precipitación de 100 ml la muestra de agua homogeneizada.

#### **2. Preparación y secado de la cápsula de porcelana para pesaje analítico**

- Se usó un crisol de porcelana, que previamente se lavó y enjugó con agua destilada, en la estufa en una temperatura aproximada de 105 °C, en un tiempo de 30 minutos.
- Finalizado el tiempo, se retiró el crisol con pinzas metálicas (de modo que no se contamine la cápsula de porcelana) y se colocó en el desecador. Con el fin de alcanzar la temperatura ambiente dejándolo en el desecador durante 40 minutos aproximadamente.
- Se pesó el crisol de porcelana en la balanza analítica de precisión y se obtuvo un registro de la misma.

#### **3. Preparación de muestra de agua para cálculo de ST.**

- Se usó la pipeta para recolectar 10 ml de la muestra de agua homogeneizada y disponerla en el crisol.
- Se colocó el crisol con la muestra de agua homogeneizada en la estufa a una temperatura de 120 °C.
- Finalizado el lapso, se trasladó el crisol hacia el desecador para que se iguale su temperatura con la del ambiente.
- Se pesó el crisol de porcelana con el residuo de la muestra en la balanza analítica y se registró el resultado.

#### **4. Cálculo de los sólidos totales**

$$ST = \frac{(\text{Peso del recipiente con residuos} - \text{Peso del recipiente vacío}) * 1000}{\text{Volumen de la muestra}}$$

### 3.10.1.3 Comparación de sólidos suspendidos totales

#### Procedimiento:

#### 1. Preparación del equipo

- Se realizó la limpieza de la cápsula de porcelana y tener listo el disco de papel filtro.  
Se secó la cápsula de porcelana en la estufa a 105 °C durante 30 minutos.
- Se colocó la capsula de porcelana y el disco de papel filtro en un desecador hasta que alcancen temperatura ambiente.
- Se colocó el disco de papel filtro en una balanza analítica y se registró el peso inicial (W1).

#### 2. Filtración de la muestra

- Se repitió el proceso de homogenización de los sólidos con otros 100 ml de la muestra de agua inicial.
- Se colocó el disco de papel filtro en el embudo de filtración y se vertió 100 ml. Se usó el agua destilada para enjuagar cualquier sólido adherido a las paredes del vaso de precipitados.
- Se transfirió el disco de filtro con los sólidos retenidos a la cápsula de porcelana.

#### 3. Secado de los sólidos:

- Se colocó la capsula de porcelana con el disco de papel filtro en la estufa a 103-105 °C durante 30 minutos.

#### 4. Enfriamiento y pesaje final:

- Se retiró la capsula de porcelana de la estufa usando pinzas y colocar en el desecador para que se enfríe a temperatura ambiente.

- Se hizo el pesaje del papel filtro y los sólidos secos, y se anotó el peso final (W2).

#### 5. Cálculo de sólidos suspendidos totales

$$SST = \frac{(W2 - W1) \times 1000000}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

W1= peso del papel filtro. (gr)

W2= peso del papel filtro + residuo de la muestra. (gr)

#### 3.10.1.4 Comparación de sólidos disueltos totales

##### Procedimiento:

##### 1. Preparación del equipo:

- Se limpió y secó el crisol de porcelana en la estufa a 105 °C durante 30 minutos.
- Se colocó el crisol en un desecador hasta que alcance temperatura ambiente.
- Se pesó el crisol en una balanza analítica y anotar el peso inicial (W1).

##### 2. Filtración de la muestra:

- Se filtró la muestra de agua a través del papel filtro para retener los sólidos suspendidos.
- Se recogió el agua filtrada en un vaso de precipitados.

##### 3. Evaporación del filtrado:

- Se transfirió un volumen de 100 ml al crisol de porcelana.
- Se colocó el crisol en la estufa secadora a 180°C hasta que el agua se evapore completamente.

##### 6. Secado de los sólidos disueltos totales:

- Se mantuvo el crisol en la estufa a 180°C durante al menos 1 hora

## **7. Enfriamiento y pesaje final:**

- Se retiró el crisol de la estufa utilizando pinzas metálicas y colocar en el desecador para que se enfríe a temperatura ambiente.
- Se pesó el crisol con los sólidos disueltos y anota el peso final (W2).

## **8. Cálculo de sólidos disueltos totales:**

$$SDT = \frac{(W2 - W1) \times 1000000}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

W1= Peso 1 (Crisol limpio y seco) (g).

W2= Peso 2 (Crisol + residuo) (g).

### **3.10.2 Químicos**

#### **3.10.2.1 Preparación para la comparación de DQO**

##### **Procedimiento:**

### **1. Preparación de soluciones muestra**

- Se pesó una cantidad específica de cada tipo de carbón; 5 gr.
- Se añadió cada tipo de carbón a las muestras de agua con la misma cantidad y concentración de contaminantes orgánicos.

### **2. Agitación**

- Se agitó las soluciones con carbón durante un tiempo determinado 1 hora, para asegurar una adecuada adsorción de los contaminantes.

### **3. Filtración**

- Se filtró las soluciones para eliminar las partículas de carbón, dejando solo el agua tratada.

### **4. Medición de la DQO**

1. Se tomó las muestras del agua tratada y se midió el DQO utilizando el kit de prueba de DQO.

#### **3.10.2.2 Comparación del carbono orgánico total**

##### **Procedimiento:**

#### **1. Preparación de muestras**

- Se tomaron muestras representativas de agua residual doméstica en dos etapas: antes del tratamiento y después de pasar por el filtro de carbón activado.
- Las muestras fueron filtradas usando un filtro de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  para eliminar partículas suspendidas.

#### **2. Preparación para el análisis**

- Las alícuotas de las muestras filtradas fueron introducidas en el analizador de COT.
- Se utilizó el método de oxidación a alta temperatura para convertir el carbono orgánico presente en las muestras en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

#### **3. Medición**

- El  $\text{CO}_2$  generado durante la oxidación fue detectado y cuantificado mediante un detector infrarrojo no dispersivo (NDIR).
- Los valores de COT fueron registrados en mg/L.

#### 4. Cálculo de la eficiencia de remoción

- La eficiencia de remoción del COT se calculó comparando los valores obtenidos antes y después del tratamiento.
- Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de remoción del COT:

$$\%RCOT = \frac{COT_{inicial} - COT_{final}}{COT_{inicial}} \times 100$$

%RCOT= Porcentaje de eficiencia y remoción del carbono orgánico total.

COT inicial= Carbono Orgánico Total antes de ser filtrado por el carbón.

COT final= Carbono Orgánico total después de ser filtrado por el carbón.

## 4 Resultados

### 4.1 Propiedades físicas químicas del endocarpio del coco

La investigación descriptiva realizada sobre el coco ha revelado que este fruto tropical es una materia prima excepcionalmente versátil, con propiedades físicas y químicas que lo hacen valioso en diversas aplicaciones industriales. Su alto contenido en ácidos grasos saturados le otorga un valor calórico elevado, mientras que su fibra abundante contribuye a mejorar la salud intestinal y prevenir enfermedades. Además, el coco es rico en vitamina E, un antioxidante natural, y en vitaminas del grupo B, esenciales para el funcionamiento adecuado del organismo. (Delgado, 2020)

Las propiedades físicas y químicas del endocarpio del coco se basan en su composición de adsorción densidad real y aparente y porosidad, en la siguiente tabla se detalla los valores correspondientes de los parámetros antes mencionados.

**Tabla 7** Propiedades del endocarpio del coco

<b>Granulometría</b>			
<b>Propiedades</b>	<b>1mm</b>	<b>2mm</b>	<b>3mm</b>
<b>Adsorción (%)</b>	4,89	4,5	4,13
<b>Densidad real (g/mL)</b>	1,14	1,13	1,13
<b>Densidad aparente (g/mL)</b>	0,5	0,48	0,47
<b>pH</b>	7,16	7,15	7,17
<b>Porosidad (%)</b>	56,35	57,82	58,63

**Fuente:** (RONDÓN PERDOMO, 2020)

## 4.2 Procedimiento de las pruebas experimentales

### 4.2.1 Recolección de la materia prima

Se logró recolectar 5 kg de endocarpio de coco, de los cuales se seleccionaron 600 g del mejor material.



**Figura 6** Endocarpio de coco triturado

**Fuente:** Los autores

### 4.2.2 Trituración

Este producto fue triturado hasta obtener un material más manipulable, resultando en 570g de material listo para el proceso de pirólisis.



**Figura 7** Trituración del endocarpio del coco

**Fuente:** Los autores

### 4.2.3 Pirólisis

Los 570 g pasaron a la mufla para ser carbonizado a una temperatura de 600 °C durante 3 horas, se obtuvieron aproximadamente 475 g de carbón de coco, que fueron lavados con agua destilada para eliminar cualquier impureza de ceniza.



**Figura 8** Pirólisis del endocarpio del coco

**Fuente:** Los autores

### 4.2.4 Triturado, lavado y tamizado del carbón obtenido

Posteriormente, el carbón se trituró en un mortero, obteniéndose alrededor de 390 g. Este material fue tamizado con un tamiz de 2,36 mm y nuevamente lavado con agua destilada para eliminar las partículas más finas, se lleva a la estufa para su debido secado a 120 °C por 1 hora.



**Figura 9** Tamizado del carbón obtenido a base del endocarpio del coco con tamiz de 2,36 mm

**Fuente:** Los autores

### **1. Activación del carbón a base del endocarpio del coco**

Se llevó a cabo la activación utilizando ácido fosfórico al 85% en una relación 1:1 P/V. El carbón obtenido fue mezclado con el ácido fosfórico en cápsulas de porcelana y se dejó reposar durante 24 horas. Después, se deshidrató en una estufa a 180 °C durante 24 horas. Finalmente, el material fue lavado cuidadosamente con agua destilada para eliminar cualquier residuo que pudiera haber quedado.



**Figura 10** Activación del carbón obtenido a base del endocarpio de coco

**Fuente:** Los autores

### 4.3 Resultados de caracterización físico-químico del carbón activado proveniente del endocarpio del coco

De acorde a los resultados de la (Tabla 7), el carbón activado proveniente del endocarpio del coco cumple con los límites máximos permisibles según la normativa “INEN 1991”, que estipula los parámetros que debe cumplir el carbón activado, material vital en diversas aplicaciones industriales.

**Tabla 8** Resultados de caracterización físico-químico del carbón activado proveniente del endocarpio del coco según INEN 1991

Muestra	Humedad		Cenizas Totales		Densidad Aparente	
	% de Humedad	% aceptado según la INEN1991	% de cenizas totales	% aceptado según la INEN1991	% de densidad aparente	% aceptado según la INEN1991
1	6,25	12	2,2	12	0,5061	Min: 0,20
2	6,59		4,18		0,5617	
3	6,13		3,45		0,7041	
4	6,42		2,51		0,4366	
5	6,12		2,43		0,5898	
6	6,43		3,41		0,6277	
<b>Promedio porcentual</b>	6		3		0,6	

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

Los resultados del análisis caracterización físico-químico del carbón activado proveniente del endocarpio del coco según INEN 1991 para el %Humedad se encuentran de forma detallada en el (Anexo 11), el %Cenizas Totales se encuentra de forma detallada en el (Anexo 12) y la Densidad Aparente se encuentra de forma detallada en el (Anexo 13).

#### 4.4 Resultados de la eficiencia del carbón activado

##### 4.4.1 Resultados del agua residual domestica antes de ser filtrada por el carbón proveniente del endocarpio del coco

Las pruebas experimentales de la muestra de agua residual doméstica antes de ser filtrada dieron los resultados detallados en la (**Tabla 9**), misma que fueron importantes determinar para su posterior diferenciación después de ser filtrada por los dos tipos de carbones activados.

**Tabla 9** Resultados de la muestra de agua residual domestica previo a ser filtrada por el carbón proveniente del endocarpio del coco

Muestra de agua residual doméstica antes de ser filtrada		
No.	Parámetro	Resultados (mg/L)
1	Sólidos disueltos totales	1300
2	Sólidos suspendidos totales	20
3	Sólidos totales	1500
4	DQO	238
5	Color real	89
6	COT	135

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

Los resultados del análisis del agua cruda para el parámetro de solidos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 14**), el parámetro de sólidos suspendidos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 17**), el parámetro de sólidos disueltos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 20**), el parámetro de color real se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 23**), el parámetro de DQO se encuentran de forma

detallada en el (Anexo 24) y el parámetro de carbono orgánico total se encuentran de forma detallada en el (Anexo 25).

#### 4.4.2 Resultados del agua residual domestica después de ser filtrada por el carbón activado proveniente del endocarpio del coco

En la (Tabla 10) se evidencian los resultados del porcentaje de eficiencia del filtrado del agua residual doméstica utilizando carbón activado proveniente del endocarpio del coco, se basa en la capacidad de este medio para reducir diferentes parámetros de contaminación en el agua.

**Tabla 10** Resultados de eficiencia del carbón activado derivado del endocarpio del coco

No.	Parámetro	Resultado antes de filtrar el agua residual	Resultados después de filtrar	% Porcentaje de eficiencia
1	Sólidos disueltos totales	1300	400	69
2	Sólidos suspendidos totales	20	10	50
3	Sólidos totales	1500	67	73
4	DQO	238	171	34
5	Color real	89	26	71
6	COT	135	40	70
<b>Porcentaje de eficiencia total:</b>				61

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

$$\% \text{ Porcentaje de eficiencia total} = \frac{\text{la suma de todos los porcentajes}}{\text{El total de parámetros realizados}}$$

Los resultados del % Porcentaje de eficiencia del agua residual domestica después de ser filtrada por el carbón activado proveniente del endocarpio del coco para el parámetro de sólidos totales se encuentran de forma detallada en el (Anexo 16), el parámetro de sólidos

suspendidos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 19**), el parámetro de sólidos disueltos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 22**), el parámetro de color real se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 23**), el parámetro de DQO se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 24**) y el parámetro de carbono orgánico total se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 25**).

#### 4.4.3 Resultados del agua residual doméstica después de ser filtrada por el carbón activado comercial

En la (**Tabla 11**) se muestran los resultados el porcentaje de eficiencia del filtrado del agua residual doméstica utilizando carbón activado comercial, se basa en la capacidad de este medio para reducir diferentes parámetros de contaminación en el agua.

**Tabla 11** Resultados de eficiencia del carbón activado comercial

No.	Parámetro	Resultado antes de filtrar el agua residual	Resultados después de filtrar	% Porcentaje de eficiencia
1	Sólidos disueltos totales	1300	500	62
2	Sólidos suspendidos totales	20	10	50
3	Sólidos totales	1500	500	67
4	DQO	238	156	37
5	Color real	89	30	66
6	COT	135	43	68
<b>Porcentaje de eficiencia total:</b>				58

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

$$\% \text{ Porcentaje de eficiencia total} = \frac{\text{la suma de todos los porcentajes}}{\text{El total de parámetros realizados}}$$

Los resultados del % Porcentaje de eficiencia del agua residual domestica después de ser filtrada por el carbón comercial para el parámetro de sólidos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 15**), el parámetro de sólidos suspendidos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 18**), el parámetro de sólidos disueltos totales se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 21**), el parámetro de color real se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 23**), el parámetro de DQO se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 24**) y el parámetro de carbono orgánico total se encuentran de forma detallada en el (**Anexo 25**).

#### **4.4.4 Análisis de los resultados**

El carbón activado de endocarpio de coco tiene una mayor eficiencia (69%) en la eliminación de sólidos disueltos totales en comparación con el carbón activado comercial (62%). Esto indica que el carbón de coco es más efectivo en la adsorción de sustancias disueltas, como sales y minerales.

En los sólidos suspendidos totales, en ambos tipos de carbón activado muestran la misma eficiencia (50%) en la eliminación de sólidos suspendidos totales. Esto indica que ambos materiales tienen una capacidad similar para remover partículas suspendidas del agua.

En cuanto a los sólidos totales, el carbón activado de endocarpio de coco presenta una mayor eficiencia (73%) en la reducción de sólidos totales en comparación con el carbón activado comercial (67%). Esto demuestra que el carbón de coco es más efectivo en la eliminación combinada de sólidos disueltos y suspendidos.

En la determinación del DQO el carbón activado comercial tiene una eficiencia ligeramente superior (37%) en la reducción de la demanda química de oxígeno en comparación con el carbón activado de endocarpio de coco (34%). Esto sugiere que el carbón comercial podría

ser más efectivo en la adsorción u oxidación de ciertos contaminantes orgánicos presentes en el agua residual.

El carbón activado de endocarpio de coco tiene una mayor eficiencia (71%) en la reducción del color real del agua en comparación con el carbón activado comercial (66%). Esto indica que el carbón de coco es más efectivo en la eliminación de compuestos orgánicos que afectan la coloración del agua.

En los resultados del carbono orgánico total, el carbón activado de endocarpio de coco presenta una ligera ventaja en la reducción del carbono orgánico total (70%) frente al carbón activado comercial (68%). Esto muestra una mayor capacidad del carbón de coco para adsorber compuestos orgánicos.

En general, el carbón activado de endocarpio de coco demuestra una mayor eficiencia en la eliminación de sólidos disueltos totales, sólidos totales, color real, y carbono orgánico total. Esto indica una mejor capacidad de adsorción para estos tipos de contaminantes en comparación con el carbón activado comercial.

Ambos tipos de carbón muestran la misma eficiencia para la eliminación de sólidos suspendidos totales, lo que sugiere que este tipo de material particulado no es significativamente afectado por el tipo de carbón activado utilizado.

El carbón activado comercial muestra una ligera ventaja en la reducción de la demanda química de oxígeno, lo que podría ser beneficioso para la eliminación de ciertos contaminantes orgánicos específicos.

## 5 Conclusiones

En el transcurso de este estudio, se logró desarrollar un producto derivado del endocarpio del coco, orientado a la producción de carbón activado. Este proceso ha demostrado ser una estrategia efectiva para aprovechar este recurso natural, generando un producto con propiedades competitivas en comparación con materiales convencionales como la madera y el carbón mineral.

Se pudo determinar que las características físicas y químicas del endocarpio del coco lo convierten en una materia prima idónea para la producción de carbón activado. Los análisis realizados evidenciaron que este material ofrece un buen rendimiento en términos de adsorción, pH, porosidad, densidad real y aparente, superando en varios aspectos a las materias primas tradicionales.

Posteriormente, se comprobó que el carbón activado obtenido del endocarpio del coco presenta un rendimiento superior al carbón activado comercial. El proceso experimental reveló una eficiencia del 61% (**Tabla 10**) en el carbón activado proveniente del endocarpio coco, en comparación con el 58% (**Tabla 11**) del carbón activado comercial, lo que sugiere que, aunque la diferencia en porcentaje es relativamente modesta, el carbón activado de coco podría reemplazar al comercial en aplicaciones específicas donde se requiera mayor eficiencia.

Finalmente, se destaca que, aunque el carbón activado comercial sigue siendo un estándar en el mercado, el carbón activado producido a partir del endocarpio del coco representa una alternativa sostenible y eficiente, con un desempeño competitivo que justifica su consideración como sustituto en determinadas aplicaciones industriales.

## **6 Recomendaciones**

Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para mejorar el proceso de producción del carbón activado a partir del endocarpio del coco. Esto incluiría la optimización del proceso de pirolisis y activación, así como la evaluación del impacto económico y ambiental en la producción a gran escala.

Dado el éxito en la producción de carbón activado, se sugiere investigar otras posibles aplicaciones del endocarpio del coco, como su uso en la adsorción de metales pesados o en la producción de filtros de aire. Esto podría diversificar las oportunidades de mercado y aumentar la sostenibilidad del proceso.

Finalmente, es crucial establecer normativas claras y específicas para la producción y comercialización del carbón activado derivado del coco. Esto garantizará que el producto cumpla con los estándares de calidad requeridos y facilitará su aceptación en el mercado.

## 7 Anexos

### Anexos 1. Endocarpio del coco



**Figura 11** Pesaje del endocarpio del coco en balanza

### Anexos 2. Limpieza del carbón activado



**Figura 12** limpieza del carbón obtenido a base del endocarpio del coco con agua destilada

### Anexos 3. Secado del carbón activado



**Figura 13** Secado del carbón activado obtenido del endocarpio del coco después de su limpieza en una estufa a 120 °C

### Anexos 4. Peso del carbón activado



**Figura 14** Pesaje del carbón a base del endocarpio del coco en balanza

## Anexos 5. Carbón activado



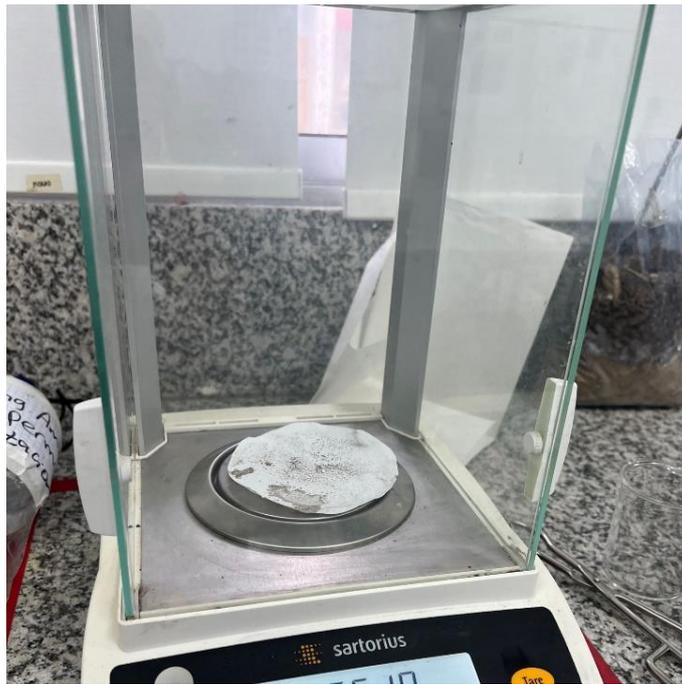
**Figura 15** Carbón activado a base del endocarpio de coco en cápsulas de porcelana

## Anexos 6. Control de temperatura



**Figura 16** Carbón activado en el desecador

### **Anexos 7. Peso de sólidos suspendidos totales**



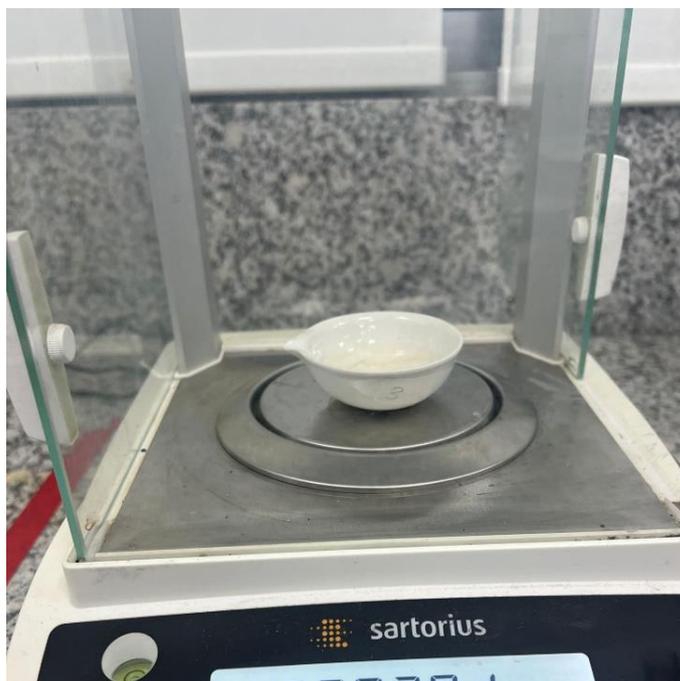
**Figura 17** Pesaje de papel filtro en balanza

### **Anexos 8. Procedimiento para sólidos suspendidos totales**



**Figura 18** Filtración de agua por papel filtro

## Anexos 9. Sólidos totales



**Figura 19** Pesaje de Sólidos totales

## Anexos 10. Filtración de agua residual domestica



**Figura 20** Filtración de agua por el carbón activado obtenido a base del endocarpio del coco

### Anexos 11. Porcentaje de humedad

**Tabla 12** Resultado del % de Humedad del carbón activado proveniente del endocarpio del coco

No. Muestra	Peso Cápsula	Peso de la muestra	Muestra Humedad + cápsula	Muestra sin humedad + cápsula (110 °C en la estufa)	% Porcentaje Humedad	% Humedad aceptado según INEN 1991
1	86,36	60,58	146,94	143,15	6,25	12
2	80,65	60,35	141,00	137,02	6,59	
3	78,85	60,15	139,00	135,31	6,13	
4	92,21	60,36	152,57	148,69	6,42	
5	92,11	60,90	153,01	149,28	6,12	
6	80,08	60,32	140,40	136,52	6,43	

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 12. Porcentaje de cenizas totales

**Tabla 13** Resultado del % de cenizas totales del carbón activado proveniente del endocarpio del coco

No. Muestra	Peso Cápsula	Peso de la muestra	Muestra Humedad + cápsula	Muestra sin humedad + cápsula (110 °C en la estufa)	Peso de cápsula + cenizas	Peso de cenizas	% de cenizas totales	% cenizas totales aceptado según INEN 1991
1	86,36	60,58	146,94	143,15	87,61	1,25	2,20	12
2	80,65	60,35	141,00	137,02	83,01	2,36	4,18	
3	78,85	60,15	139,00	135,31	80,80	1,95	3,45	
4	92,21	60,36	152,57	148,69	93,63	1,42	2,51	
5	92,11	60,90	153,01	149,28	93,50	1,39	2,43	
6	80,08	60,32	140,40	136,52	82,01	1,93	3,41	

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 13. Porcentaje de densidad aparente

**Tabla 14** Resultado de la densidad aparente del carbón activado proveniente del endocarpio del coco.

No. Muestra	Peso cápsula	Peso de la muestra	Muestra Humedad + cápsula	Muestra sin humedad + cápsula (110 °C en la estufa)	Peso de cápsula + cenizas	Peso del carbón activado	Densidad aparente	Densidad aparente aceptado según INEN 1991
1	86,36	60,58	146,94	143,15	87,61	53,99	0,5061	Min: 0,20
2	80,65	60,35	141,00	137,02	83,01	60,14	0,5617	
3	78,85	60,15	139,00	135,31	80,80	75,02	0,7041	
4	92,21	60,36	152,57	148,69	93,63	46,66	0,4366	
5	92,11	60,90	153,01	149,28	93,50	62,83	0,5898	
6	80,08	60,32	140,40	136,52	82,01	67,09	0,6277	

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 14. Resultados de sólidos totales

**Tabla 15** Resultados de la muestra de agua a usar para la comparación del parámetro "Sólidos Totales"

Muestra de agua					
No. Muestra	Peso Crisol (g)	Peso de la muestra (L)	Peso Crisol + Peso de la muestra (g)	Peso Crisol + Peso de la muestra seca (g)	Sólidos Totales (mg/L)
1	39,90	0,1	49,95	39,99	900
2	27,84	0,1	38,10	27,99	1500
3	30,00	0,1	40,02	30,1	1000
4	29,65	0,1	39,66	29,75	1000
5	25,99	0,1	36	26,11	1200

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 15. Resultados de Sólidos totales filtrado

**Tabla 16** Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado comercial del parámetro "Sólidos Totales"

<b>Carbón activado comercial</b>						
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso Crisol (g)</b>	<b>Peso de la muestra (ml)</b>	<b>Peso Crisol + Peso de la muestra (g)</b>	<b>Peso Crisol + Peso de la muestra seca (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>% Porcentaje de Eficiencia del carbón activado comercial</b>
<b>1</b>	39,91	0,1	49,98	39,94	300	66,7
<b>2</b>	27,82	0,1	38,05	27,87	500	66,7
<b>3</b>	30,01	0,1	40,07	30,04	300	70,0
<b>4</b>	29,66	0,1	39,67	29,7	400	60,0
<b>5</b>	25,95	0,1	35,99	26	500	58,3

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 16. Resultados de sólidos totales filtrado

**Tabla 17** Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado proveniente del endocarpio del coco del parámetro "Sólidos Totales"

<b>Carbón activado a base del endocarpio del coco</b>						
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso Cápsula (g)</b>	<b>Peso de la muestra (ml)</b>	<b>Peso Cápsula + Peso de la muestra (g)</b>	<b>Peso Cápsula + Peso de la muestra seca (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>% Porcentaje de Eficiencia del carbón activado a base del endocarpio del coco</b>
<b>1</b>	39,93	0,1	40,96	39,96	330	63,3
<b>2</b>	27,81	0,1	37,92	27,85	400	73,3
<b>3</b>	30,03	0,1	40,01	30,07	350	65,0
<b>4</b>	29,67	0,1	39,56	29,71	400	60,0
<b>5</b>	25,98	0,1	36,05	26,02	400	66,7

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### **Anexos 17. Resultados de sólidos suspendidos totales**

**Tabla 18** Resultados de la muestra de agua a usar para la comparación del parámetro "Sólidos Suspendidos Totales"

<b>Muestra de agua</b>				
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso del papel filtro (g)</b>	<b>Cantidad de muestra filtrada (ml)</b>	<b>Peso del papel filtrado + Sólidos suspendidos totales</b>	<b>Sólidos suspendidos (mg/L)</b>
<b>1</b>	0,50	200	0,52	20
<b>2</b>	0,49	200	0,53	40

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### **Anexos 18. Resultados de sólidos suspendidos totales filtrado**

**Tabla 19** Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado comercial del parámetro "Sólidos Suspendidos Totales"

<b>Carbón activado comercial</b>					
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso del papel filtro (g)</b>	<b>Cantidad de muestra filtrada (ml)</b>	<b>Peso del papel filtrado + Sólidos suspendidos totales</b>	<b>Sólidos suspendidos (mg/L)</b>	<b>% Porcentaje de Eficiencia del carbón activado comercial</b>
<b>1</b>	0,55	200	0,56	10	50,0
<b>2</b>	0,58	200	0,60	20	50,0

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 19. Resultados de sólidos suspendidos totales

**Tabla 20** Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado proveniente del endocarpio del coco del parámetro "Sólidos Suspendidos Totales"

<b>Carbón activado a base del endocarpio del coco</b>					
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso del papel filtro (g)</b>	<b>Cantidad de muestra filtrada (ml)</b>	<b>Peso del papel filtrado + Sólidos suspendidos totales</b>	<b>Sólidos suspendidos (g/L)</b>	<b>% Porcentaje de Eficiencia del carbón activado a base del endocarpio del coco</b>
<b>1</b>	0,54	200	0,55	10	50,0
<b>2</b>	0,55	200	0,56	10	75,0

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 20. Resultados de sólidos disueltos totales

**Tabla 21** Resultados de la muestra de agua a usar para la comparación del parámetro "Sólidos Disueltos Totales"

<b>Muestra de agua</b>					
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso Crisol (g)</b>	<b>Peso de la muestra (L)</b>	<b>Peso Crisol + Peso de la muestra (g)</b>	<b>Peso Crisol + Peso de la muestra seca (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>
<b>1</b>	39,92	0,1	49,95	40,03	1100
<b>2</b>	27,87	0,1	38,10	28,00	1300
<b>3</b>	30,03	0,1	40,02	30,12	900
<b>4</b>	29,67	0,1	39,66	29,82	1500
<b>5</b>	25,97	0,1	36	26,09	1200

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 21. Resultados de sólidos disueltos totales filtrado

**Tabla 22** Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado comercial del parámetro "Sólidos Disueltos Totales"

<b>Carbón activado comercial</b>						
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso Crisol (g)</b>	<b>Peso de la muestra (ml)</b>	<b>Peso Crisol + Peso de la muestra (g)</b>	<b>Peso Crisol + Peso de la muestra seca (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>% Porcentaje de Eficiencia del carbón activado comercial</b>
<b>1</b>	39,95	0,1	49,98	40,01	600	71,4
<b>2</b>	27,85	0,1	38,05	27,90	500	61,5
<b>3</b>	30,08	0,1	40,07	30,12	400	55,6
<b>4</b>	29,62	0,1	39,67	29,67	500	66,7
<b>5</b>	25,96	0,1	35,99	26,03	700	71,4

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 22. Resultados de sólidos disueltos totales filtrado

**Tabla 23** Resultados de la muestra de agua filtrada por el carbón activado a base del endocarpio del coco del parámetro "Sólidos Disueltos Totales"

<b>Carbón activado a base del endocarpio del coco</b>						
<b>No. Muestra</b>	<b>Peso Cápsula (g)</b>	<b>Peso de la muestra (ml)</b>	<b>Peso Cápsula + Peso de la muestra (g)</b>	<b>Peso Cápsula + Peso de la muestra seca (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>% Porcentaje de Eficiencia del carbón activado a base del endocarpio del coco</b>
<b>1</b>	39,94	0,1	40,96	39,99	500	85,7
<b>2</b>	27,81	0,1	37,92	27,85	400	69,2
<b>3</b>	30,03	0,1	40,01	30,06	300	66,7
<b>4</b>	29,67	0,1	39,56	29,71	400	73,3
<b>5</b>	25,98	0,1	36,05	26,02	400	66,7

**Elaborado por:** Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 23. Resultados de color real

**Tabla 24** Resultados del parámetro de "color real"

Parámetro	Muestra de agua (PtCo)	Carbón Activado comercial (PtCo)	Carbón Activado obtenido del endocarpio del coco (PtCo)	% Porcentaje de eficiencia del carbón activado comercial	% Porcentaje de eficiencia del carbón activo a base del endocarpio del coco
<b>Color real:</b>	89	30	26	66,29	70,78

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 24. Resultados de DQO

**Tabla 25** Resultados del parámetro de "Demanda Química de Oxígeno"

Parámetro	Muestra de agua (mg/L)	Carbón Activado comercial (mg/L)	Carbón Activado obtenido del endocarpio del coco (mg/L)	% Porcentaje de Eficiencia del carbón activo comercial	% Porcentaje de Eficiencia del carbón activo comercial
<b>DQO</b>	238	156	149	37,39	34,45

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

### Anexos 25. Resultados de COT

**Tabla 26** Resultados del parámetro de "Carbono Orgánico Total"

Parámetro	Muestra de agua (mg/L)	Carbón Activado comercial (mg/L)	Carbón Activado obtenido del endocarpio del coco (mg/L)	Eficiencia del carbón activado comercial	% Porcentaje de Eficiencia del carbón activo a base del endocarpio del coco
<b>COT</b>	135	43	40	68,14	70,37

Elaborado por: Jefferson Torres y Romina Pinto

## 8 Bibliografía

1. Carrasco, B.S. & Londa, E.G. (2019). Obtención de carbón activado a partir de la cascara de coco “Cocos Nucífera L “(Trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniero Químico). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
2. García, H.A. & Vivar, M.A. (2021). Producción de carbón activado a partir de los residuos producidos de una empresa productora de tiras de bambú en la ciudad de Durán. Universidad politécnica salesiana, Guayaquil, Ecuador.
3. Ponce D. (2019). Aplicación del carbón activado de la cáscara de coco, en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de Paragsha - Pasco 2018.
4. Instituto Nacional de Estadística y Censos (2023). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos 2022. Obtenido de: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2022/Residuos\\_Solidos/Presentacion\\_GIRS\\_2022vFINAL.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2022/Residuos_Solidos/Presentacion_GIRS_2022vFINAL.pdf)
5. Ecuavisa (2019). Guayaquil produce a diario 4.200 toneladas de basura. Obtenido de: <https://www.ecuavisa.com/noticias/ecuador/guayaquil-produce-diario-4200-toneladas-basura-HKEC484146>
6. Zapata, B. (2021, septiembre). *Pandemia golpeó las exportaciones y venta de coco en Ecuador; el sector aún se está recuperando.* <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/pandemia-golpeo-las-exportaciones-y-venta-de-coco-en-ecuador-el-sector-aun-se-esta-recuperando-nota/>

7. Kyle B Reynolds, Darren P Cullerne, Anna El Tahchy, Vivien Rolland, Christopher L Blanchard, Craig C Wood, Surinder P Singh, James R Petrie, Identificación de genes implicados en la biosíntesis de lípidos mediante el ensamblaje del transcriptoma de novo del endospermo en desarrollo de *Cocos nucifera* , *planta y Fisiología celular* , volumen 60, número 5, mayo de 2019
8. Luna, D., González, A., Gordon, M., & Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *ContactoS*, 64(10), 39-48.
9. Castilla y León, J. (s/f). Naturaleza y origen del carbón. Jcyl.es. <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/naturaleza-origen-carbon.html>
10. Surculento Villalobos, R., Marín, G. M., & Lopez, L. (2023). Obtención de carbón activado a partir de mezclas de residuos de plásticos PET por activación con ácido fosfórico. *Revista Boliviana de Química*, 40(3), 20-28.
11. Torres-Liñán, J., Ruiz-Rosas, R. R., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero-Alcántara, T., & Rosas-Martínez, J. M. (2022). Estudio cinético de la oxidación de carbón activado con ácido fosfórico.
12. García-Guel, Y. Y., Múzquiz-Ramos, E. M., & Ríos-Hurtado, J. C. (2019). Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22(1), 1-16.
13. Kyle B Reynolds, Darren P Cullerne, Anna El Tahchy, Vivien Rolland, Christopher L Blanchard, Craig C Wood, Surinder P Singh, James R Petrie, Identificación de genes implicados en la biosíntesis de lípidos mediante el ensamblaje del transcriptoma de novo del endospermo en desarrollo de *Cocos nucifera* , *planta y Fisiología celular* , volumen 60, número 5, mayo de 2019, páginas 945–960,

14. ISLAS-FLORES, I. G. N. A. C. I. O., TZEC-SIMÁ, M. I. G. U. E. L., & CANTO-CANCHÉ, B. L. O. N. D. Y. (2023). Origen del coco y su dispersión por el mundo: El sitio de origen de. *Centro*, 15, 118-122.
15. Sánchez, D. G., & Ríos, G. L. (2002). Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) en México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 8(1), 39.
16. Fiestas Eca, M. S., & Millones Ñiquen, A. L. (2019). Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope.
17. Tena, Y., & Jhames, E. (2019). Grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumos de los estudiantes de la IE San Andrés de Paragsha-Simón Bolívar 2018.
18. Suárez Escobar, I. E. (2019). Influencia de la concentración en la solución acida de activación y del tiempo de calcinación en la propiedad textural de adsorción de carbón activado preparado con cascara de coco.
19. PÁEZ-PUMAR, I. C. (2019). Obtención y Evaluación de Carbón Activado a partir del Endocarpio de Coco (*Cocos Nucifera*) para la Remoción de Compuestos Minerales en Agua Potable1 Obtention and Evaluation of Activated Carbon. In *Anales* (p. 37).
20. Varila, T., Bergna, D., Lahti, R., Romar, H., Hu, T. y Lassi, U. (2017). "Producción de carbón activado a partir de turba utilizando  $ZnCl_2$ : Caracterización y aplicaciones", *BioRes.* 12(4), 8078-8092
21. Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista De Química*, 26(1-2), 37-40. Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547>

22. Müller, N., Tessini, C., Segura, C., Berg, A., & Grandón, H. (2013). Pirólisis rápida de biomasa. *Unidad de Desarrollo Tecnológico*, 12, 1-15.
23. Trinidad, Y. F. A., Vejarano, T. G., & Cuya, R. O. Producción de carbón activado a partir de residuos de cajonerías. *OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE BIOMASA SÓLIDA PARA USO ENERGÉTICO*, 243.
24. Molina, R., & Melk, D. (2019). Validación del método modificado manual colorimétrico EPA 410.4 para la determinación de la demanda química de oxígeno y validación de los métodos volumétricos y espectrofotométrico de bicarbonato en agua y su aplicación a la hidroquímica.
25. Rondón Hernández, D. F. (2020). Relación entre lo ambiental y lo fisicoquímico. El caso del oxígeno disuelto.
26. Analizadores de carbono orgánico total (COT) y descripción general de parámetros Hach. (n.d.). <https://es.hach.com/parameters/toc>
27. Sólidos totales y disueltos (TSS y TDS) - Parámetros de calidad del agua | Hach. (n.d.). <https://es.hach.com/parameters/solids>
28. Que es un Mortero de Porcelana y para qué sirve | Cis-Lab. (2024, April 8). CIS-LAB. <https://www.cislab.com.mx/blog/el-blog-del-quimico-1/que-es-un-mortero-de-porcelana-y-para-que-sirve-57>
29. Que es un Mortero de Porcelana y para qué sirve | Cis-Lab. (2024, April 8). CIS-LAB. <https://www.cislab.com.mx/blog/el-blog-del-quimico-1/que-es-un-mortero-de-porcelana-y-para-que-sirve-57>
30. Morillo Semanate, L. D., Naranjo Tovar, D. A., Pérez, J., Villacis Oñate, W. E., Vargas Jentsch, P., & Muñoz Bisesti, F. (2019). Remoción de tensoactivos y

- coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos fenton. Revista internacional de contaminación ambiental, 35(4), 931-943.
31. Eceiza, C., & Filter, H. (2022, 4 octubre). Todo sobre el carbón activado. HIFI FILTER. <https://hifi-filter.com/es/todo-sobre-el-carbon-activado/>
32. Omega Perú S.A. (2019, 4 julio). Nuevo Método de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales – Ahorra tiempo y labor manual. <https://omegaperu.com.pe/nuevo-metodo-de-solidos-totales-y-solidos-disueltos-totales-ahorra-tiempo-y-labor-manual1/>
33. Induster, A. (2024, 15 febrero). Cono de Sedimentación IMHOFF: ¿Qué es, para qué sirve y cómo se utiliza? Induster Perú. <https://industerperu.com/suministros-de-laboratorio/cono-de-sedimentacion-imhoff-que-es-para-que-sirve-y-como-se-utiliza/>
34. Delgado, V. M. R., Zambrano, G. V. R., Cossío, N. S., & Mera, L. B. (2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del coco (cocos nucifera) en la provincia de Manabí, Ecuador. La Técnica, (24), 43-72.