



**Benemérita  
Universidad Autónoma de Puebla**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
COLEGIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“REMOCIÓN DE COLORANTES EN AGUA RESIDUAL  
TEXTIL MEDIANTE ADSORCIÓN CON CARBÓN  
ACTIVADO OBTENIDO DE RESIDUOS ORGÁNICOS  
DE COCO Y PLÁTANO MACHO”**

**TESIS PROFESIONAL**

**Presentada para obtener el grado de:  
Licenciatura en Ingeniería Ambiental**

**Presenta:**

**JAQUELINE OSORIO ROSAS**

**Director de Tesis:**

**Dra. Gabriela Pérez Osorio**

**Puebla, Pue. Junio 2022**



**BUAP**

Oficio No. FIQ/AC/322/2021  
Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. JAQUELINE OSORIO ROSAS**  
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental cuyo título es el siguiente:

“REMOCIÓN DE COLORANTES EN AGUA RESIDUAL TEXTIL MEDIANTE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE COCO Y PLÁTANO MACHO”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: Dra. Gabriela Pérez Osorio.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO**.

Atentamente  
“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”  
H. Puebla de Z., a 4 de noviembre de 2021

  
**Dra. Valeria Jordana González Coronel**  
Secretaria Académica



C.c.p. Directora de Tesis: Dra. Gabriela Pérez Osorio  
C.c.p. Archivo.

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C. P. 72590  
01 (222) 229 55 00  
Exts. 7250 y 7251



CTC03

## FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



- Ingeniería Química ( )
- Ingeniería Ambiental (X)
- Ingeniería en Alimentos ( )
- Ingeniería en Materiales ( )

Al C. Sustentante \_\_\_\_\_ Jaqueline Osorio Rosas \_\_\_\_\_

De acuerdo con la **presentación y revisión** del coloquio de tesis:

REMOCIÓN DE COLORANTES EN AGUA RESIDUAL TEXTIL MEDIANTE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE COCO Y PLÁTANO MACHO, se aprueba la impresión y empastado de la misma.

### Integrantes de la Comisión Revisora:

Presidente: \_\_\_\_\_ Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández  
 Secretario: \_\_\_\_\_ Dra. María del Carmen Guadalupe Avelino Flores  
 Vocal: \_\_\_\_\_ Dra. Gabriela Pérez Osorio

FIRMA

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Fecha de Examen: \_\_\_\_\_ 24 de junio de 2022 \_\_\_\_\_

H. Puebla de Zaragoza a \_\_\_\_\_ 23 \_\_\_\_\_

de mayo de 2022

## Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por permitirme terminar una etapa retadora y fundamental para mi vida profesional, por darme la oportunidad de seguir adelante a pesar de todos los obstáculos.

A mi madre Ignacia, por ser ejemplo de lucha y perseverancia, por su infinita paciencia conmigo, por ser el brazo fuerte que me sostiene para cumplir mis metas sin esperar nada a cambio, de corazón gracias.

A mis hermanos por sus consejos y ejemplo.

A todos aquellos amigos y personas que me he encontrado en el camino, que me apoyaron y alentaron para no decaer en la búsqueda de mis sueños.

Agradezco profundamente a la Dra. Gabriela Pérez Osorio, quién dirigió este trabajo, por su inmenso apoyo y paciencia, por compartir sus conocimientos y orientación con todo afán y entrega.

A mis sinodales la Dra. María de los Ángeles y la Dra. María del Carmen por aceptar formar parte de mi jurado examinador.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por ser mi alma mater, por cobijarme con su conocimiento, valor y orgullo.

Por último pero no menos importante, quiero agradecerme, por ser valiente durante todos estos años, por ser más de lo que podía imaginar.

*“Cuando el último árbol sea cortado, el último río sea envenenado,  
el último pez pescado, sólo entonces  
el hombre descubrirá que el dinero no se puede comer”  
-Proverbio*

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
HIPÓTESIS	3
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	4
1.1. Agua	4
1.1.1. Contaminación del agua	4
1.1.2. Fuentes de contaminación	5
1.1.3. Tipos de contaminantes	6
1.1.4. Efectos	6
1.2. Contaminación por colorantes textiles	7
1.2.1. Industria textil	7
1.2.2. Colorantes textiles	9
1.2.3. Características principales y clasificación	9
1.2.4. Efectos	13
1.3. Tratamiento de aguas residuales	14
1.3.1. Tratamientos convencionales	14
1.3.2. Tratamientos para el agua residual textil	15
1.4. Adsorción	16
1.4.1. Clasificación	17
1.5. Carbón activado	19
1.5.1. Origen y características	20
1.5.2. Preparación del carbón activado	22
1.5.3. Técnicas de caracterización	25
1.6. Economía circular	33
1.6.1. Cáscara de coco	34
1.6.2. Cáscara de plátano macho	35
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	37
2.1. Obtención y preparación de los residuos orgánicos: cáscara de coco y plátano macho	37
2.2. Activación química	37

2.3. Activación térmica	38
2.4. Pruebas de adsorción de colorantes en agua residual	38
2.5. Análisis por Espectroscopía Infrarroja	39
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS</b>	<b>41</b>
3.1. Análisis visual del proceso de adsorción	41
3.2. Descripción de los espectros infrarrojos	42
3.3. Identificación de grupos funcionales	47
3.4. Análisis de aplicaciones ambientales similares	51
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de contaminación del agua	5
Figura 2. Clasificación de los colorantes por su aplicación	10
Figura 3. Mecanismo de adsorción de fármacos sobre carbón activado	17
Figura 4. Formas de presentación de carbón activado	19
Figura 5. Porosidad mostrada en superficie de carbón activado (A) y Estructura reticular del carbón con anillos tipo benceno (B)	21
Figura 6. Clasificación de poros del carbón activado	21
Figura 7. Regiones de onda del espectro electromagnético	27
Figura 8. Secado de cáscara de coco a intemperie	39
Figura 9. Pesado de 25 g de cáscara de coco	39
Figura 10. Agitación a 70 °C de materiales precursores y H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	39
Figura 11. Filtrado del precursor de cáscara de plátano macho de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	39
Figura 12. Filtrado del precursor de cáscara de coco de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	39
Figura 13. Lavado de muestra calcinada con agua desionizada	40
Figura 14. Tamizado de muestra calcinada seca	40
Figura 15. Pesado de 2 g de muestra de carbón activado	40
Figura 16. Mezcla de carbón activado y 250 ml de agua residual textil (ciclo 1)	40
Figura 17. Análisis de carbón activado de cáscara de coco por equipo Perkin Elmer ( <i>modelo Spectrum One</i> )	40
Figura 18 Análisis de carbón activado de cáscara de plátano macho por equipo Perkin Elmer ( <i>modelo Spectrum One</i> )	40
Figura 19. Muestra calcinada de cáscara de coco	41
Figura 20. Muestra calcinada de cáscara de plátano macho	41
Figura 21. Agua residual textil inicial antes del proceso de adsorción	41
Figura 22. Agua residual textil resultante del proceso de adsorción con carbón activado de cáscara de coco en el ciclo 1	41
Figura 23. Agua residual textil resultante del proceso de adsorción con carbón activado de cáscara de coco en el ciclo 2	41
Figura 24. Espectros IR del carbón activado de cáscara de coco, inicial, en el ciclo 1 y ciclo 2 de adsorción	43
Figura 25. Espectros IR del carbón activado de cáscara de plátano macho en el ciclo 1 y ciclo 2 de adsorción	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aguas residuales generadas por diferentes industrias y concentración de color	8
Tabla 2. Grupos cromóforos y auxocromos	12
Tabla 3. Compuestos con oxígeno en su estructura	31
Tabla 4. Principales vibraciones moleculares	32
Tabla 5. Resumen de información de los espectros IR para el carbón activado de cáscara de coco	44
Tabla 6. Resumen de información de los espectros IR para el carbón activado de cáscara de plátano macho	46
Tabla 7. Resultados de otras aplicaciones ambientales	52
Tabla 8. Características del carbón activado obtenido en otros trabajos	54

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de cuerpos naturales de agua por compuestos textiles ha representado gran problema medioambiental y social, ya que en el proceso de teñido se genera una gran cantidad de aguas residuales que contienen colorantes con efectos negativos.

En México alrededor del 30% de los colorantes se pierde debido a la ineficiencia de los procesos productivos y son descargados a los efluentes de agua sin previo tratamiento (Flores et al., 2019), generando dificultad para su remoción debido a la resistencia a distintos factores como degradación solar, temperatura y a la degradación por microorganismos, convirtiéndolos en compuestos recalcitrantes (Pantoja, 2019).

El carbón activado comercial es un tipo de adsorbente, comúnmente usado para la remoción de colorantes en aguas residuales textiles, sin embargo es de costo elevado (Valenzuela-Padilla y Torres-Pérez, 2020) aproximadamente desde US \$ 1200 hasta US \$14,000 la tonelada debido a su importación (Luna et al., 2007), en consecuencia, se ha buscado el uso de materiales económicos, abundantes y de fácil obtención como son los residuos orgánicos para la obtención de carbón activado.

En la actualidad los residuos orgánicos agrícolas se han aprovechado para la obtención de materiales depuradores de contaminantes. El coco y el plátano macho son frutos bastos en consumo y producción a nivel nacional, así como sus respectivos residuos se encuentran de manera cuantiosa.

El propósito general de la investigación fue analizar la adsorción de colorantes presentes en agua residual textil mediante el uso de carbón activado (CA), obtenido a partir de residuos orgánicos de coco y plátano macho, a través de la activación química con solución de  $H_3PO_4$  al 2% por un tiempo de 2 h a 70°C y activación térmica a una temperatura de 500°C por 1 hora.

Posteriormente se realizaron las pruebas de adsorción, mezclando 2 g de CA con 250 ml de agua residual textil por 24 h (ciclo 1) y después de su secado se repitió el mismo procedimiento (ciclo 2). Por último, se realizó la caracterización de los CA en cada ciclo mediante Espectroscopía Infrarroja (IR) en la región de  $4000\text{ cm}^{-1}$ - $1500\text{ cm}^{-1}$ , observando la presencia de grupos funcionales con átomos de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Analizar la adsorción de colorantes presentes en agua residual textil, mediante el uso de carbón activado obtenido a partir de residuos orgánicos de cáscara de coco y plátano macho.

### **Objetivos específicos**

- Obtener el carbón activado a partir de los residuos orgánicos de cáscara de coco y de plátano macho mediante activación química con solución de ácido fosfórico al 2% y activación térmica a temperatura de 500°C.
- Realizar las pruebas de adsorción de los colorantes presentes en el agua residual textil con el carbón activado obtenido.
- Analizar el carbón activado y sus cambios posteriores al uso en los procesos de adsorción, mediante Espectroscopía Infrarroja.

## **HIPÓTESIS**

El carbón activado obtenido a partir de residuos orgánicos de coco y plátano macho permitirá remover colorantes presentes en agua residual textil de forma eficiente.

## **CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES**

### **1.1. Agua**

El agua es un elemento fundamental para la vida en el planeta, debido a sus características este se encuentra en casi todas partes, ya sea como constituyente anatómico de los seres vivos, utilizado en las actividades socioeconómicas, de uso doméstico, producción de alimentos y uso industrial, sin embargo, debido a la enorme cantidad demandada de este recurso se ha incrementado la escasez, al igual que la generación de aguas residuales contaminadas (Del Valle, 2017).

#### **1.1.1. Contaminación del agua**

La contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre o por agentes naturales de manera directa o indirecta de sustancias o energía, generando daños a los organismos vivos, efectos a la salud de la población, impedimento de actividades acuáticas e interferencia en actividades económicas como el riego y abastecimiento de agua en la industria (Sierra, 2021).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define que el agua está contaminada cuando pierde sus atribuciones naturales, de tal forma que cambian sus características físicas y químicas (García, 2012); además gracias a la mala gestión de los residuos industriales, domésticos y agropecuarios se contamina fuentes de agua natural (OMS, 2019).

La presión social y medioambiental ha dado lugar a un creciente movimiento que empuja a la industria a reducir la cantidad de aguas residuales que producen y por supuesto a tomar las medidas necesarias para tratarlas antes de su eliminación, sobre todo para aquellos sectores que son los mayores generadores de efluentes tóxicos.

### 1.1.2. Fuentes de contaminación

Existe diversidad de contaminantes con distintas características al igual que lugares de procedencia; por ejemplo López (2019) alude que los contaminantes antropogénicos provienen de cualquier actividad humana que genere residuos y a su vez que no sean dispuestos adecuadamente y terminen en los cuerpos de agua, como los residuos sólidos urbanos, generados por uso doméstico de las comunidades, residuos peligrosos provenientes de algunas industrias y/o los residuos agropecuarios; claro está, también la combinación entre estos (Noriega, 2019).

En la Figura 1 se observa la clasificación de las fuentes de contaminación según su origen; sin embargo en este trabajo son de interés las fuentes que en sus procesos utilizan colorantes para satisfacer sus necesidades de producción.

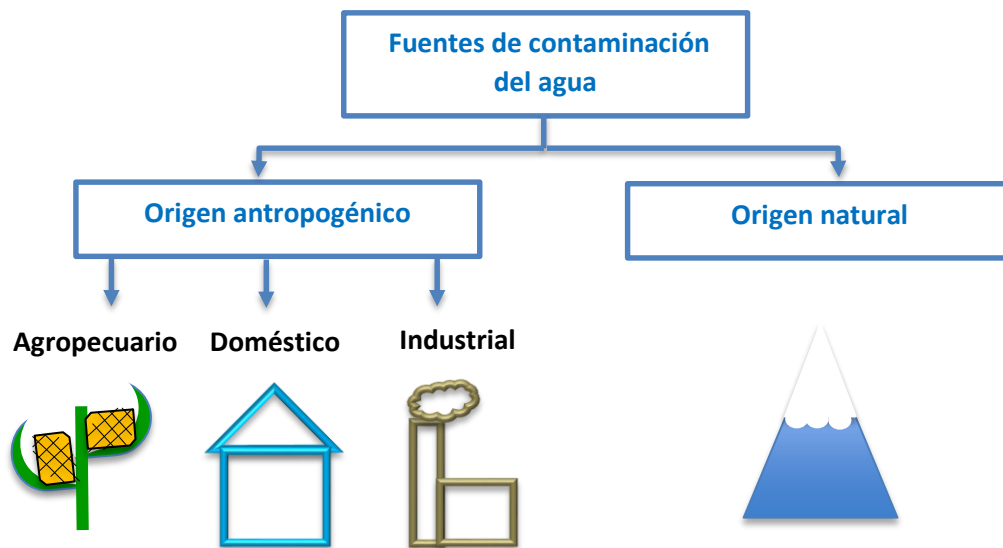


Figura 1. Fuentes de contaminación del agua

Fuente: Propia

### **1.1.3. Tipos de contaminantes**

Entre los principales tipos de contaminantes se encuentran los microorganismos bacterianos, virales, fúngicos, parasitarios, sustancias químicas simples o complejas, sólidos o en cualquier fase; las más riesgosas para la salud de la población, son los metales pesados, las sustancias radiactivas, los insecticidas, los fertilizantes, derivados del petróleo, los residuos tóxicos industriales, los jabones, las drogas lícitas e ilícitas (Gómez-Duarte, 2018), y cualquier otro residuo considerado o no como desecho que tenga la propiedad de cambiar las características naturales de la composición acuática.

### **1.1.4. Efectos**

Es evidente que al introducir algún elemento de desecho a los cuerpos hídricos existen alteraciones de carácter físico y químico.

Dependiendo de la clase de impureza del que se trate, se presentan diferentes efectos, por ejemplo; cuándo se vierten aguas residuales domésticas se propicia el crecimiento excesivo de algas, hongos y bacterias, que a su vez, reducen el oxígeno disponible impidiendo el crecimiento de las especies del lugar (Ramírez, 2017).

Además de afectar a la biota, los contaminantes reducen la disponibilidad del agua para distintos usos y se asocia con el incremento en la incidencia de enfermedades en los organismos, por exposición a sustancias, contaminación de alimentos por riego o por su capacidad como reservorio de vectores (Arellano-Aguilar et al., 2012).

## **1.2. Contaminación por colorantes textiles**

### **1.2.1. Industria textil**

La industria textil es el sector dedicado a la producción de fibras naturales y sintéticas, hilados, telas y teñidos de tejidos (Castro, 2018). La industria textil consiste en aproximadamente 20,000 empresas que producen un 10% del PIB en el sector manufacturero. México es uno de los exportadores más fuertes a nivel mundial de bienes creativos en este sector, además en el 2014 más del 65% de las ventas de ropa y del sector textil respectivamente se exportaban a Estados Unidos de Norte América (ProMéxico, 2016).

Los tintes y pigmentos usados para la producción y teñido de distintos productos como lana, seda, nylon, poliéster, acrílico, poliacetato y poliuretano, son numerosos y pueden llegar a 100.000 tipos en el mercado, en el mundo se estima que la producción anual es de 700.000 toneladas (Ranjan et al., 2018), lo que es una cantidad demandada impresionante, que da pauta a la generación de problemas, principalmente ambientales relacionados con las sustancias tóxicas que se liberan a la atmósfera y a los cuerpos de agua (ProMéxico, 2016).

La industria textil es una de las actividades económicas que genera más contaminantes, el agua residual antes de ser descargada debe ser libre de: grasas, aceites, colorantes y otros productos químicos, sin embargo y debido al incumplimiento de tratamiento, los contaminantes textiles (como los colorantes), son vertidos a los cuerpos de agua. (Brañez et al., 2018). En comparación con otras industrias, la textil es la que más toneladas de agua residual genera, así como una de las que aumenta mayormente la turbidez (Tabla 1).

Tabla 1. Aguas residuales generadas por diferentes industrias y concentración de color

<b>Industria</b>	<b>Cantidad de agua residual</b>	<b>Concentración de color (Unidades Hazen)</b>
Azucarera	0.4 m <sup>3</sup> / Ton de caña triturada	150-200
Cervecera	0.25 m <sup>3</sup> / Ton de cerveza producida	200-300
Destilería	0.12 m <sup>3</sup> / Ton de alcohol producido	200-300
Curtido	28 m <sup>3</sup> /Ton de piel	400-500
Celulosa y papel	175 m <sup>3</sup> / Ton de papel	100-600
<b>Textil</b>	<b>120 m<sup>3</sup>/ Ton de fibra</b>	<b>1100-1300</b>

Fuente: (Altamirano, 2017)

### **1.2.2. Colorantes textiles**

El término colorante abarca todo compuesto, que cuando es aplicado sobre un objeto le confiere color y que mantiene sus propiedades de color por un tiempo prolongado.

Ramírez (2021), define a los colorantes como compuestos orgánicos complejos, de principal uso en la industria textil y por ende, los efluentes que resultan después de los procesos de fabricación de telas se encuentran contaminados por estos (Zaruma et al., 2018).

Los colorantes y pigmentos usados en el proceso de teñido textil son numerosos y diversos; entre ellos se encuentran los compuestos azo, antraquinónicos, índigo, xantenos, nitrosos, trifenilmetanos y polimetinos. La mayoría de estos colorantes son azo (60%-70%), caracterizados por una alta estabilidad química con respecto a otros productos, debido a su combinación con anillos aromáticos (Berradi et al., 2019).

La presencia de estos y sus residuos en las descargas, así como su biodegradabilidad relativa, tienen un impacto negativo en el ambiente por su toxicidad y carcinogenicidad (Berradi et al., 2019).

### **1.2.3. Características principales y clasificación**

La clasificación de los colorantes se debe principalmente a su origen, ya sea naturales o sintéticos, al igual que por sus propiedades; los colorantes sintéticos son mayormente resistentes a diversidad de factores ambientales, como la luz solar, la biodegradación, factores antropogénicos como uso, lavado y frote, debido a su composición química compleja, además de que presentan un menor costo de fabricación (Churata, 2017), coincidiendo con Ripoll (2020) clasifica los colorantes por:

#### **Origen**

- *Naturales:* Orgánicos e inorgánicos
- *Artificiales o sintéticos*

También Cerrón-Infantes y Unterlass (2018) mencionan que se clasifican principalmente por el modo de aplicación como se observa en la Figura 2, es decir:

- *Colorantes y pigmentos para tipos de fibras*

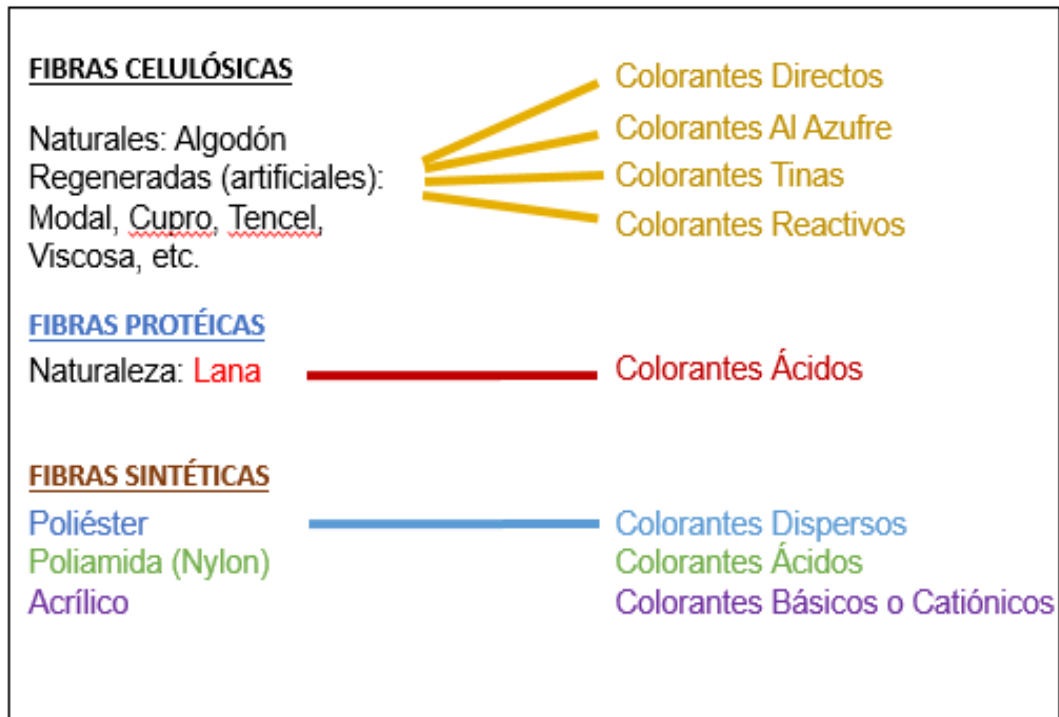


Figura 2. Clasificación de los colorantes por su aplicación

Fuente: (Brañez et al., 2018)

## Composición química

### *Colorantes*

- *azo*
- *azoicos*
- *catiónicos*
- *antraquinonas, etc.*

Aunque existen colorantes de cualquier tipo de constitución, estos cuentan principalmente con la presencia de 2 grupos:

### *Grupo Cromóforo*

Este grupo confiere los llamados cromóforos a la sustancia que lo contiene, provocando la aparición de cierto color (Ramos, 2020); de manera que la absorción ultravioleta del material pasa a la zona del espectro visible al añadir este grupo, además cuando se combina un grupo cromóforo con un núcleo aromático se da lugar al grupo cromógeno que es el componente que da color (Ania et al., 2006).

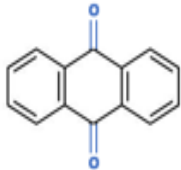
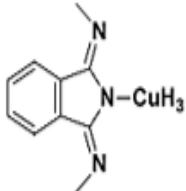
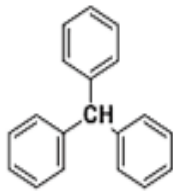
Algunos cromóforos fuertes son: quinoide ( $=C_6H_4=$ ), azo ( $-N=N-$ ), nitroso ( $-N=O$ ) y cromóforos débiles como: doble enlace carbono-carbono ( $>C=C<$ ), compuesto nitro ( $-NO_2$ ), aldehídos, cetonas y ésteres ( $>C=O$ ) (Tabla 2).

### *Grupo Auxocromo*

Por otro lado, se encuentra el grupo auxocromo que por sí no absorbe, pero presenta la capacidad de modificar la absorción del grupo cromóforo con el que está unido (García, 2003); puede decirse que el auxocromo cambia los valores de la longitud de onda que absorbe la luz y por tanto intensifica el color.

Los auxocromos son más sencillos que los cromóforos, en la Tabla 2 se observan los grupos metilo ( $-CH_3$ ), halógenos ( $-X$ ), hidroxilos ( $-OH$ ) y amino ( $-NH_2$ ) (Ramírez y Lozano, 2020).

Tabla 2. Grupos cromóforos y auxocromos

<b>Grupos cromóforos y auxocrómicos de colorantes textiles.</b>			
<b>Grupos cromóforos</b>		<b>Grupos auxocrómicos</b>	
Azo	(-N=N-)	amino	(-NH <sub>2</sub> )
Nitroso	(-NO o -N-OH)	metilamino	(-NHCH <sub>3</sub> )
Carbonilo	(>C=O)	dimetilamino	(-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Etileno	(>C=C<)	hidroxilo	(-OH)
Nitro	(-NO <sub>2</sub> o =NO-OH)	alcoxi	(-OR)
Sulfuro	(>C=S)	Donador de electrones	(-NO <sub>2</sub> )
Cetona-imina	(>C=NH)	grupos	
Polimetino	(=HC-HC = CH-CH=)		
Antraquinona			(-CO <sub>2</sub> H) (-SO <sub>3</sub> H)
Ftalocianina			(-OCH <sub>3</sub> )Cl, Br, I, At
Trifenilmetano			

Fuente: (Berradi et al., 2019)

#### **1.2.4. Efectos**

La descarga indiscriminada de efluentes textiles sin un apropiado tratamiento provoca que el material coloidal, los colorantes y espumas aumenten la turbidez del agua, generando mal olor y color. Esto impide la penetración de la luz solar, por tanto, el proceso de fotosíntesis obstruye la transferencia de oxígeno, así como la purificación natural, efectuando la muerte de organismos (López, 2020).

De igual manera se menciona que pueden existir efectos adversos si se utilizan dichos efluentes contaminados en los suelos naturales.

También el uso de las distintas variedades de colorantes y tintes han reportado efectos negativos a la salud de las personas, hablando desde alergias simples hasta enfermedades crónicas como el cáncer (Pastaz et al., 2018).

La peligrosidad de los colorantes radica en que (Ahuatzin, 2019) al ser ingeridos pueden ser metabolizados por las enzimas de microorganismos intestinales a aminas aromáticas, incluso se les ha asociado a enfermedades de la piel y formación de tumores.

Los colorantes de origen artificial, actualmente empleados masivamente en la industria textil, presentan compuestos tóxicos con alto peso molecular los cuales al estar presentes en los efluentes industriales y acumularse en lagos y bahías provoca:

- La disminución en la luminosidad de las aguas.
- La disminución de la actividad fotosintética.
- Disminución del oxígeno disponible.
- Aumento de carga orgánica. (Brañez et al., 2018).

### 1.3. Tratamiento de aguas residuales

Se ha mencionado anteriormente que los contaminantes antropogénicos se generan por diversas actividades, y en casi todo momento se vierten en los ríos y mares sin previa depuración.

En México el tratamiento de aguas residuales es un desafío, ya que establecer sistemas efectivos de tratamiento e infraestructura para su remoción, resulta costoso y difícil de mantener (García y Oliva, 2020).

Una planta de tratamiento de aguas residuales es un conjunto de instalaciones, que sigue un proceso organizado para la purificación de aguas residuales, mediante equipos y operaciones específicas para el tipo de contaminante, para el Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR, 2018), es un servicio que consiste en separar los residuos orgánicos de los efluentes para eliminar los contaminantes al máximo.

#### 1.3.1. Tratamientos convencionales

Los procesos comúnmente usados para el tratamiento de las aguas residuales son del tipo físico, químico, biológico o en dado caso combinación entre ellos. Gracias a la efectividad de estas operaciones se minimizan los impactos negativos de los efluentes y se pueden recuperar elementos valiosos como el agua, nutrientes y biosólidos (Comeau, 2017).

En la planta de tratamiento se llevan a cabo diferentes etapas de purificación, algunos sistemas son más complejos que otros, pero esto depende del diseño y de las necesidades a tratar; las principales etapas que encontramos son:

**Pretratamiento:** Consiste en la eliminación de material soluble (arenas, grasas y espumas del agua), como primer paso, está el tamizado o cribado para eliminar sólidos grandes, estos materiales se interceptan en tamices y posteriormente se retiran para disponerlos de manera adecuada (Manahan, 2006). Esto con el fin de evitar problemas operacionales y de mantenimiento de equipos.

**Tratamiento Primario:** El objetivo principal del tratamiento primario de las aguas residuales es la reducción por completo de los sólidos en suspensión, es decir, los sólidos sedimentables, flotantes y coloidales (Higia, 2014).

**Tratamiento Secundario o biológico:** En esta etapa la principal función es el empleo de microorganismos para que utilicen los contaminantes y materia orgánica, no eliminada en los tratamientos previos, como sustrato para mantener sus funciones vitales; esto se logra a partir de la generación de un hábitat con las condiciones apropiadas (Ramis, 2019).

**Tratamiento Terciario o Desinfección:** Consiste en la remoción de materiales disueltos del afluyente secundario que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, usando procesos químicos o de separación especializada (García y Oliva, 2020), además de la desinfección, con diferentes técnicas, las más comunes son desinfección con cloro, radiación ultravioleta y suministro de ozono.

### **1.3.2. Tratamientos para el agua residual textil**

A lo largo del tiempo los investigadores han desarrollado nuevas y mejores tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, dependiendo de la complejidad de contaminación; la filtración con membranas es una de las nuevas técnicas. Cabe mencionar que, aunque muchos de los métodos son realmente eficientes, algunos son costosos y por tanto poco viables (Henaó, 2016).

También López y Crespi (2015) mencionan que existen diferentes sistemas de depuración de las aguas residuales textiles, como el proceso biológico de fangos activados, con adición de resinas decolorantes, proceso fisicoquímico de coagulación-floculación y biorreactores de membranas, existen otras técnicas basadas en la utilización de microorganismos así como biosorbentes y residuos de otras industrias para remover estos contaminantes (Mota, 2019).

#### **1.4. Adsorción**

En el proceso de tratamiento de agua residual, la adsorción es considerado como un tratamiento de refinado, y por lo tanto aplicado al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico. (Rodríguez et al., 2006).

Vences (2014) lo define como un proceso de transporte de masa en un fluido (líquido o gas), donde el adsorbato es atraído por el adsorbente y almacenado en la superficie de su estructura, por tanto, es un fenómeno de transferencia de materia entre fases. Este enriquecimiento crea un momento intermedio entre el adsorbato que se encuentra en una fase líquida y el adsorbente en fase sólida, a esta interacción se le llama interfaz.

La eficacia del proceso de adsorción depende de distintas variables como: la interacción entre el colorante y el adsorbente, además del tiempo de contacto, la superficie específica de este, el tamaño de poro, la temperatura y el pH. Así como el tipo de adsorbente usado, uno de los más comunes es el carbón activado aunque también se emplean otros adsorbentes como las zeolitas, sílica gel, alúmina activada, arcillas, vermiculita y el vidrio volcánico. El carbón activado puede ser producido a partir de diferentes materiales, sobre todo que contengan alta cantidad de carbono en su estructura molecular (Castelló, 2017).

Las interacciones entre contaminantes orgánicos y carbón activado pueden ser específicas y no-específicas; dependiendo de los grupos superficiales, por puentes de hidrógeno, interacciones electrostáticas, llenado de poros, e interacciones hidrofóbicas (Boshir et al., 2015), como ejemplo en la Figura 3 se observan los mecanismos de interacción entre el carbón activado y las moléculas orgánicas de fármacos.

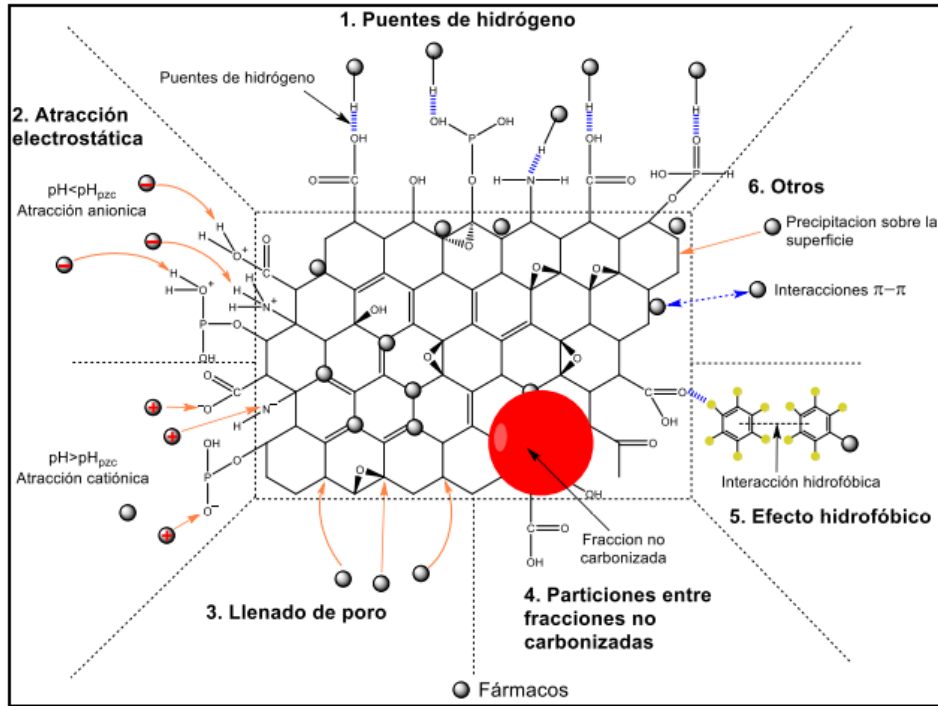


Figura 3. Mecanismo de adsorción de fármacos sobre carbón activado

Fuente:(Boshir et al., 2015)

### 1.4.1. Clasificación

Existen diversos criterios para clasificar la adsorción, por ejemplo, en función del estado de agregación del adsorbato y del adsorbente, puede distinguirse entre proceso de adsorción gas-sólido, líquido-sólido o incluso, gas-líquido, los dos primeros sistemas son más comunes (Álvarez y Carrasco, 2016).

También se clasifican dependiendo de la naturaleza de las fuerzas que interactúan entre el adsorbato y el adsorbente es decir en fisisorción y quimisorción. La quimisorción ocurre cuando el adsorbato reacciona con el adsorbente formando enlaces químicos. Por otro lado, la fisisorción involucra fuerzas relativamente débiles (Vences, 2014).

### *Tipos de adsorción*

Adsorción física: causada principalmente por las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, dándose estas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente y es reversible (Vences, 2014).

Adsorción química: es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. Se lleva a cabo cuando la sustancia se une a la superficie mediante fuerzas covalentes, esta es irreversible (Boshir et al., 2015).

Existen innumerables trabajos que versan sobre la aplicación de procesos de adsorción para contaminantes orgánicos e inorgánicos como pesticidas, disolventes, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos, gases y metales, etc. (Álvarez y Carrasco, 2016).

Los adsorbentes más comunes son compuestos como, carbón activado, arenas, zeolitas (Pérez, 2020), y a lo largo del tiempo se han estudiado los compuestos orgánicos para usarlos como adsorbentes de acuerdo con ciertas características sobre todo aquellos que presentan estabilidad mecánica, física y resistencia, al igual que materiales inorgánicos que presentan ventajas por su bajo costo, disponibilidad, ya que provienen de fuentes residuales renovables (Torres y Vanegas, 2018).

Para la determinación de la capacidad de adsorción, comúnmente se llevan a cabo técnicas específicas, una de las más comunes es a través del uso de gases, en donde se conoce la presión del gas o líquido a emplear, así como las cantidades de muestras utilizadas y como resultado se obtienen isotermas de adsorción que es la cantidad de gas adsorbido por un sólido, a temperatura constante como función de la presión del gas. (García, 2019) de esta manera poder elegir el adsorbente necesario para el tipo de contaminante y por supuesto la cantidad a emplear (Castelló, 2017).

## 1.5. Carbón activado

El carbón activado muchas veces se define como un material que en mayor cantidad está constituido por carbón puro, genéricamente se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente, a través de un proceso de carbonización o pirólisis, para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna (Luna et al., 2007). En la Figura 4 puede observarse las formas en las que se presenta el carbón activado comercial.

El carbón activado es un material ampliamente usado gracias a sus propiedades extraordinarias de adsorción, entre las aplicaciones más destacadas está el tratamiento de las aguas residuales industriales, adsorción de vapores, de virus, bacterias, aplicación en la medicina, cosmetología, etc. (Rojas-Valencia et al., 2020).



Figura 4. Formas de presentación de carbón activado

Fuente: (Calgon-Mitsubishi, 2004)

### **1.5.1. Origen y características**

El carbón activado es originado a partir de la transformación de compuestos de carbón, residuos orgánicos o biomasa, esta forma sólida posee una microestructura que le proporciona composición abierta superficial con alta capacidad de adsorción (Filippín et al., 2017).

Se caracteriza por su gran superficie específica, su porosidad, su estructura capilar que define sus propiedades de adsorción, que a la vez dependen de la forma de obtención del carbón activado, de su estructura física y de alguna manera, de su grado de refinación. La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5–10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno (E.U. Politécnica y U. Sevilla, 2016).

La estructura del carbón activado se asemeja a la del grafito sólo que menos ordenada debido a que los cristalitos elementales del carbón activado, de origen vegetal, tienen orientación al azar, cuyos lados paralelos no están orientados con respecto a un eje común, así mismo, el desplazamiento angular de una con respecto a la otra, es al azar y las capas de carbón se superponen una con otra de manera irregular. Otro tipo de estructura presente en el carbón activado, se asemeja con una red formando hexágonos desordenados de carbono lo que provoca la desviación de los planos de las capas de carbón (Gonzáles y Teruya, 2004), en la Figura 5 se observa como ejemplo la porosidad y estructura reticular del carbón activado.

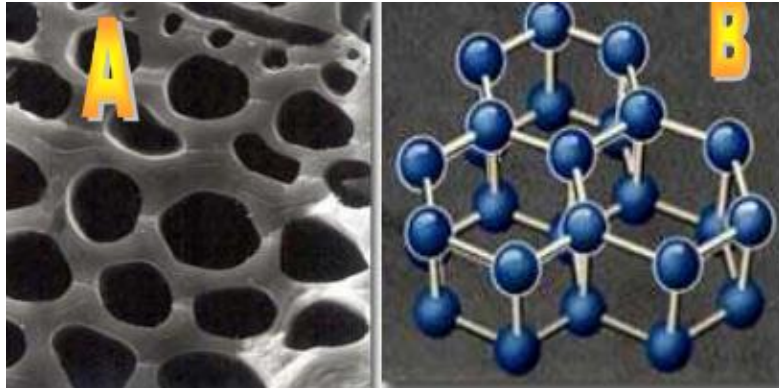


Figura 5: Porosidad mostrada en superficie de carbón activado (A) y Estructura reticular del carbón con anillos tipo benceno (B)  
Fuente: (González y Teruya, 2004)

### *Porosidad*

Los diversos tamaños de poro que pueden existir dentro de un carbón activado son microporo (<2 nm), mesoporo (2 a 50 nm) y macroporo (>50 nm) (Figura 6).

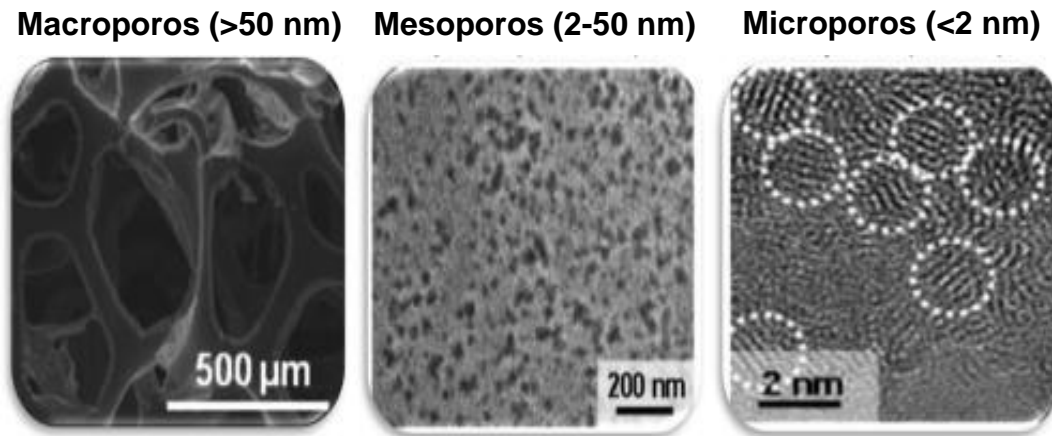


Figura 6: Clasificación de poros del carbón activado  
Fuente: (Vences, 2014)

### **1.5.2 Preparación del carbón activado**

En Noguera (2020), se menciona que la producción de este material es un reto para la industria, ya que la calidad del producto final depende de factores como la selección de la materia prima, proceso de fabricación, las técnicas de activación, entre otras operaciones que involucran su generación.

El proceso de fabricación de carbón activado de manera general consiste en:

- Selección de la materia prima.
- Lavado.
- Trituración.
- Tratamiento previo y pre-carbonización.
- Carbonización en atmósfera controlada.
- Activación.
- Lavado y secado.
- Molienda o triturado.
- Almacenamiento del producto final.

A continuación se describen brevemente algunas de las etapas más importantes para el proceso de obtención del carbón activado.

#### *Proceso térmico*

En un proceso térmico hay rompimiento de enlaces y reacomodo de otros, lo que da como resultado tres tipos de productos, gas y líquido que pueden tener pequeñas y grandes moléculas, principalmente compuestas de carbono e hidrógeno. Por otro lado, el residuo sólido está compuesto mayormente de carbono (C), alcanzando alta porosidad y área superficial. Obviamente que un proceso posterior de activación física o química puede formar un mejor sistema poroso, ya que en casos especiales se forman mesoporos combinados con microporos en la estructura carbonosa (Medina et al., 2014).

## *Pirólisis*

La pirólisis se define como la descomposición térmica del carbón en una atmósfera exenta de oxígeno. Como consecuencia de la destilación destructiva del carbón, se obtienen gases combustibles, aceites y residuos. En todos los procesos de utilización y conversión del carbón, tiene lugar algún tipo de pirólisis (Antonio, 2014).

El proceso de pirólisis permite enriquecer el contenido de carbono en la biomasa a través de la descomposición térmica, la eliminación gradual y controlada de componentes volátiles no constituidos por carbono (Mohamad et al, 2013).

En condiciones anaeróbicas, a diferencia del anterior, se impide la presencia del aire en la reacción. Este proceso se denomina comúnmente carbonización la cual se lleva (González y Teruya, 2004).

El proceso consta de 3 etapas claramente diferenciadas, en la primera etapa se produce una descomposición lenta con producción de pequeñas cantidades de agua, óxidos de carbono, hidrógeno y metano. Esto es consecuencia de la ruptura de enlaces debido a la alta temperatura a la que se lleva el proceso y consecuencia también de la liberación de gases retenidos en el carbón.

La segunda etapa se conoce como descomposición térmica activa. En donde la temperatura aumenta y se produce una fragmentación más profunda de la molécula de carbón con la formación de hidrocarburos condensables y alquitranes. Esta etapa comienza alrededor de los 360 °C y finaliza cuando se han alcanzado temperaturas alrededor de los 560 °C aproximadamente. La última etapa, que transcurre a temperaturas superiores a los 600 °C, se caracteriza por la eliminación gradual de hidrógeno y otros heteroátomos (Noguera, 2020).

Durante el proceso, la cantidad de componentes tanto gaseosos como líquidos puede variar desde un 25 a un 70% en peso aproximadamente. Esta cantidad depende de una serie de factores y variables que se mencionan a continuación:

### *Temperatura y velocidad de calentamiento*

El carbón sufre una gran variedad de cambios tanto físicos como químicos cuando se incrementa la temperatura desde el ambiente hasta el final de la última fase a 1000 °C aproximadamente. Si la temperatura de reacción es demasiado baja, las reacciones de descomposición no se producirán con la extensión debida y la obtención de gases y alquitranes será incompleta y por tanto, el rendimiento en estos productos será bajo.

A temperaturas de reacción altas, se producirán rupturas térmicas de los alquitranes y será por tanto pequeño el rendimiento en líquidos. Así pues, existe una temperatura idónea a la cual se produce el máximo rendimiento. (Noguera, 2020).

### *Tipo de carbón*

El tipo de carbón influye fuertemente en el comportamiento de la pirólisis. Los carbones de bajo rango (lignitos) contienen oxígeno que durante el proceso de pirólisis se desprenden como agua y óxidos de carbono. Los carbones con alto rango (bituminosos) contienen una menor cantidad de oxígeno y por tanto, producen un menor volumen de agua y de óxidos de carbono que hidrocarburos gaseosos cuando se pirolizan (Noguera, 2020).

### *Tipo de reactor*

El tipo de reactor es otro de los parámetros más influyentes en el proceso. Su importancia se basa en aspectos claves como los tiempos de residencia y la transferencia de calor, influyendo en los mecanismos que pueden controlar la velocidad de pirólisis.

### *Presión*

La pirólisis en atmósfera inerte a presión reducida aumenta el rendimiento en alquitranes (Noguera, 2020).

### 1.5.3. Técnicas de caracterización

En muchas de las investigaciones realizadas, se lleva a cabo la caracterización del carbón activado obtenido, para determinar la capacidad de adsorción y tomar decisiones en cuanto a su empleo, los métodos más comunes son:

#### *Análisis de la estructura del poro*

El análisis se realiza mediante adsorción de nitrógeno usando un analizador de sorción volumétrico, con la posterior aplicación de la isoterma de BET con el fin de evaluar el área superficial específica ( $S_{BET}$ ) del carbón activado resultante (Tongpoothorn et al., 2011).

#### *Índice de yodo*

El número de yodo de los carbones activados se calcula según los métodos estándares ASTM, D 4607-86, mediante la valoración con tiosulfato de sodio. Este índice puede ser usado para estimar el área superficial relativa y la medición de la porosidad (Tongpoothorn et al., 2011).

#### *Índice de azul de metileno (AM)*

El AM es una de las más ampliamente reconocidas moléculas de prueba, para valorar la capacidad de remoción de los carbones, para tamaños moderados de las moléculas a ser adsorbidas (tamaño de la molécula  $\geq 1,5$  nm) (Cruz et al., 2018).

En Rojas-Morales y Colina-Andrade (2016) se evalúa la capacidad adsorptiva de los carbones activados obtenidos, utilizando la técnica del índice de azul de metileno (AM) y el mejor adsorbente se caracterizó en función al contenido de humedad, cenizas, densidad aparente y pH. El índice de azul de metileno: se estima como el número de miligramos de azul de metileno decolorada por 0.1 g de carbón activado. Es un método rápido para conocer la capacidad de adsorción de un carbón activado frente a moléculas grandes.

También se llevan a cabo técnicas específicas, una de las más comunes es a través del uso de gases, en dónde se conoce la presión del gas o líquido a emplear, así como las cantidades de muestras utilizadas y como resultado se obtienen isotermas

de adsorción que es la cantidad de gas adsorbido por un sólido, a temperatura constante como función de la presión del gas (García, 2019), de esta manera poder elegir el adsorbente necesario para el tipo de contaminante y por supuesto la cantidad a emplear (Castelló, 2017).

### *Fisisorción de Nitrógeno*

La fisisorción de nitrógeno es una técnica que consiste en la realización de una adsorción física no específica de un gas (nitrógeno) sobre la muestra mediante un procedimiento volumétrico estático y la cual se puede emplear para determinar la superficie específica y la distribución de tamaños de poro de materiales sólidos porosos (Gutiérrez, 2015).

Mediante este se puede determinar el área superficial, volumen y distribución de poro. Para determinar el área superficial un proceso de adsorción de un gas, generalmente nitrógeno, a baja temperatura, registrando la presión y el volumen de las moléculas que absorben hasta lograr la saturación de la superficie. La relación entre estas dos variables, permiten obtener isotermas de adsorción (E.U. Politécnica y U. Sevilla, 2016).

## Técnicas mediante espectrofotometría

La espectrofotometría estudia la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, la radiación incidente sobre la materia es diferente a la saliente por efecto de la interacción. El resultado proporciona información útil sobre la sustancia involucrada con relación a su estructura molecular (Mondragón, 2017).

### Espectro electromagnético

El conjunto de radiaciones electromagnéticas (visibles y no visibles) se denomina espectro electromagnético y clasifica las radiaciones según su longitud de onda y su frecuencia (Figura 7). Su escala comienza con las largas ondas hertzianas y, pasando por la luz visible, se llega a los rayos ultravioletas, los rayos X y los rayos gamma. (La luz visible ocupa sólo una banda del mismo). (Belletti et al., 2015).

La radiación infrarroja se encuentra en el intervalo de  $13000\text{ cm}^{-1}$  y  $10\text{ cm}^{-1}$  o entre  $0.77\text{ }\mu\text{m}$  y  $1000\text{ }\mu\text{m}$ .

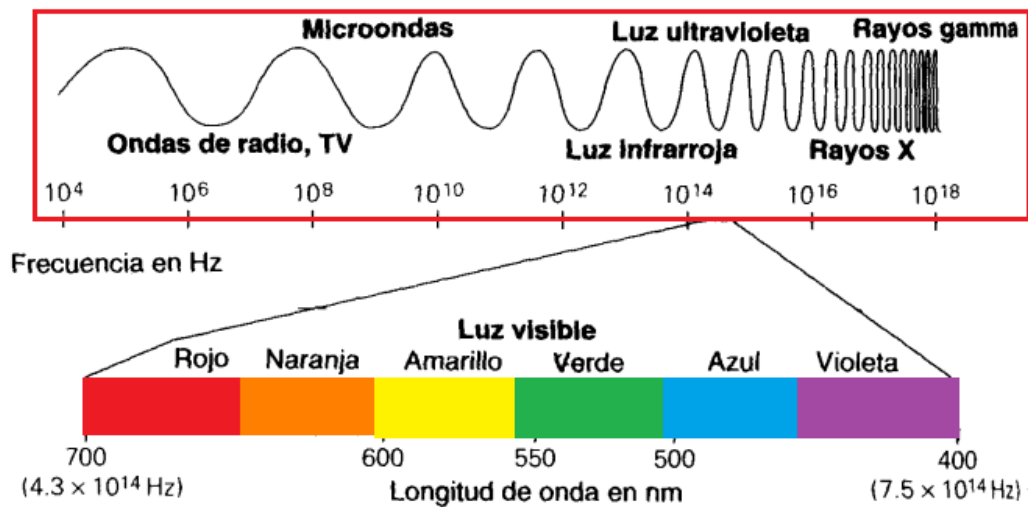


Figura 7. Regiones de onda del espectro electromagnético

Fuente: (Belletti et al., 2015)

### *Espectroscopía Raman*

En la espectroscopía Raman el material se ilumina con luz monocromática, con una sola frecuencia o longitud de onda (por lo general de un láser), y el espectro de la luz esparcida se analiza para encontrar la luz con frecuencias cambiadas o picos Raman. Cada pico corresponde a un modo de vibración del material, el análisis de las frecuencias esparcidas da información sobre agregación, e incluso factores como tensión mecánica, presión, orientación, cristalinidad, temperatura o la composición química del material (Agulló-Rueda, 2020) lo que es de gran apoyo para la determinación de las características del carbón activado resultante.

### *Difracción de Rayos X*

La difracción de rayos X (XRD) es una herramienta analítica que nos permite determinar la geometría tridimensional de materiales cristalinos e implica el uso de radiaciones electromagnéticas, es decir, rayos X, para elaborar el espacio interatómico dentro de un cristal. Este método se ha utilizado ampliamente con fines de investigación científica y desarrollo industrial aplicado eficazmente en diversos sectores industriales, como la fabricación de cemento, metalurgia; entre otros (Daniel, 2020).

### *Determinación mediante espectrofotometría UV-VIS*

La espectrometría Ultravioleta-Visible o espectrofotometría UV-Vis, involucra la espectroscopía de fotones en la región de radiación Ultravioleta-Visible; utiliza la luz en los rangos visible-adyacentes como el ultravioleta (UV) cercano y el infrarrojo (IR) cercano. En esta región del espectro electromagnético, las moléculas se someten a transiciones electrónicas entre los orbitales atómicos y/o moleculares de la sustancia (Marín, 2017). La ley de Lambert-Beer establece que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración de la solución, por tanto, la espectrometría UV/Vis puede emplearse para obtener la concentración de una muestra (Mora et al., 2006), en este caso la de carbón activado.

### *Espectroscopía infrarroja*

La región del infrarrojo abarca la zona del espectro electromagnético comprendida entre el rango visible y las microondas, se divide en tres regiones (cercano, medio y lejano) en función del intervalo de longitudes de onda que abarcan y las variaciones en el estado energético que producen, siendo la de mayor energía la radiación del infrarrojo cercano, que está comprendida entre 750 nm y 2500 nm (Arias et al., 2020).

En algunas investigaciones se determinan los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado, utilizando un equipo Infrarrojo para después realizar conversiones mediante transformada de Fourier (Kurniawan e Ismadji, 2011).

### *Espectro IR*

En el llamado espectro de infrarrojo es posible observar el resultado de la interacción entre la radiación infrarroja y la muestra analizada.

El espectro de infrarrojo es un dibujo compuesto por bandas o picos, en donde en el eje de las abscisas (o de las X) están representados todos los valores del intervalo de longitud de onda del infrarrojo medio, ya sea en número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) o de longitud de onda (nanómetros), mientras que en el eje de las ordenadas (o de las Y) están representados los valores de la intensidad de absorción o transmisión. Cada pico en un espectro de infrarrojo representa un específico tipo de vibración (Serrano, 2017).

Por lo tanto, podemos decir que el espectro es una representación de los estados excitados producidos al hacer un barrido en todo el intervalo de longitudes de onda en el infrarrojo medio.

### *La región de los grupos funcionales.*

Un grupo funcional es aquel que absorbe radiación en un intervalo específico de frecuencias, independientemente a que este unido en una molécula. (Mondragón, 2017); es decir, la banda que se genera en un espectro se ubica siempre en la misma zona.

La región del espectro entre 4000 y 1400  $\text{cm}^{-1}$ , es de gran utilidad para la identificación de la mayoría de los grupos funcionales presentes en las moléculas orgánicas, las absorciones que aparecen en esta zona provienen fundamentalmente de las vibraciones de estiramiento.

Cabe mencionar que la zona situada entre 1400 y 600  $\text{cm}^{-1}$ , es por lo general, compleja, debido a que en ella aparecen una combinación de vibraciones de alargamiento, así como de flexión (Romero, 2017); cada compuesto tiene una absorción característica en esta región, por esta razón a esta parte del espectro se denomina la región de las *huellas dactilares*. (Mondragón, 2020).

Existen en la bibliografía una gran variedad de tablas de asignación de bandas o picos con el propósito de facilitar la explicación de un espectro de infrarrojo, las hay organizadas por compuestos o por grupos de familias químicas. Hoy en día, a través de libros, revistas o bibliotecas digitales (software) se han ido acumulando tablas de referencias de distintos grupos funcionales, lo cual facilita su búsqueda y comparación además de una gran variedad de tablas de asignación de bandas o picos con el propósito de facilitar la explicación de un espectro de infrarrojo, las hay organizadas por compuestos o por grupos de familias químicas (Mondragón, 2020).

A continuación, se muestra un ejemplo (Tabla 3), para familias de compuestos que tienen oxígeno en su estructura, y que absorben radiación infrarroja (Mondragón, 2017), así como algunas de las principales vibraciones moleculares y número de onda (Tabla 4).

Tabla 3. Compuestos con oxígeno en su estructura

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Asignación
	<i>Alcohol y fenoles</i>
3600	Estiramiento O-H del alcohol
3550-3500	Estiramiento O-H del fenol
1300-1000	Estiramiento C-O
	<i>Éteres</i>
1100	Estiramiento C-O-C
	<i>Aldehidos y cetonas</i>
2900-2700	Estiramiento C-H del aldehído
1740-1720	Estiramiento C=O del aldehído alifático
1730-1700	Estiramiento C=O de la cetona alifática
1720-1680	Estiramiento C=O del aldehído aromático
1700-1680	Estiramiento C=O de la cetona aromática
	<i>Éteres</i>
1750-1730	Estiramiento C=O alifático
1730-1705	Estiramiento C=O aromático
1310-1250	Estiramiento C-O aromático
1300-1100	Estiramiento C-O alifático
	<i>Ácidos carboxílicos</i>
3300-2500	Estiramiento O-H
1700	Estiramiento C=O
1430	Flexión C-O-H en el plano
1240	Estiramiento C-O
930	Flexión C-O-H fuera del plano
	<i>Anhidridos</i>
1840-1800	Estiramiento C=O
1780-1740	Estiramiento C=O
1300-1100	Estiramiento C-O

Fuente: (Mondragón, 2017)

Tabla 4. Principales vibraciones moleculares

Grupo Funcional	Número de Onda (cm <sup>-1</sup> )	Grupo Funcional	Número de Onda (cm <sup>-1</sup> )
OH (enlace de hidrógeno)	3100-3200	-C≡C-	2300-2100
OH (sin enlace de hidrógeno)	3600	-C≡N-	2250
Cetonas	1725-1700	-N=C=O	2270
Aldehídos	1740-1720	-N=C=S	2150
Aldehídos y cetonas α,β-insaturados	1715-1660	C=C=C	1950
Ciclopentanonas	1750-1740	NH	3500-3300
Ciclobutanonas	1780-1760	C=N-	1690-1480
Ácidos carboxílicos	1725-1700	NO <sub>2</sub>	1650-1500 1400-1250
Esteres	1750-1735	S=O	1070-1010
Esteres α,β-insaturados	1750-1715	Sulfonas	1350-1300 1150-1100
δ-Lactonas	1750-1735	Sulfonamidas y sulfonatos	1370-1300 1180-1140
γ-Lactonas	1780-1760	C-F	1400-1000
Amidas	1690-1630	C-Cl	780-580
-COCl	1815-1785	C-Br	800-560
Anhidridos	1850-1740	C-I	600-500

Fuente: (Savin, 2019)

## **1.6. Economía circular**

La economía circular es un modelo que se basa en acciones como el reciclaje, la reutilización y la reducción del uso de los recursos naturales, para minimizar la gran cantidad de productos generados por las empresas que resultan en residuos sin posterior tratamiento, destinados a la contaminación ambiental (Arroyo, 2018). La contaminación mata a 8,8 millones de personas al año en el mundo, según datos de la Organización Mundial de la Salud en el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (Comisión Europea, 2020).

Actualmente, la economía está basada en un proceso lineal cuyos principios básicos son el crecimiento económico permanente, con el consiguiente deterioro del medio ambiente y un consumo constante (De la Cuesta, 2020).

Cada año, se calcula que un tercio de todos los alimentos producidos, equivalentes a 1.300 millones de toneladas por valor de alrededor de 1.000 millones de dólares, termina pudriéndose en los contenedores de los consumidores y minoristas, o se estropea debido a malas prácticas del transporte y la cosecha (De la Cuesta, 2020).

Existen alternativas para la reducción y eliminación de la economía lineal que se basa principalmente en producción y consumo, dichas alternativas abarcan temas de sustentabilidad que redirigen no sólo la forma de pensar en métodos como el reciclaje, reducción y reutilización sino también la innovación y transformación de los desechos, en otras palabras regenerar (De la Cuesta, 2020).

Así, la economía circular se plantea como una medida más revolucionaria y transformadora que lleve a las empresas al ahorro de recursos, al mismo tiempo que al consumidor, a un cambio en sus hábitos de compra, ambos con un único objetivo en común; el cual es el cuidado del medio ambiente y la reversibilidad de la huella ecológica que por siglos hemos generado.

De acuerdo con lo anterior la revalorización de los residuos agroindustriales es una alternativa que sigue los objetivos de la economía circular, ya que se evita que se desechen y generen mayor contaminación, de tal manera que se reintegren a la línea de aprovechamiento como un recurso útil para el tratamiento de

contaminantes, por lo que su reutilización representa un importante beneficio social, económico y ambiental.

### **1.6.1. Cáscara de coco**

De acuerdo con la FAOSTAT el continente asiático ha liderado históricamente la oferta mundial de coco. México se encuentra en la séptima posición en la lista de los diez principales países productores a nivel internacional; sin embargo, hay una importante diferencia en la magnitud del volumen de producción en comparación con los países líderes (Indonesia, Filipinas e India) (Castro-Gil et al., 2020).

Debido a la producción mundial de coco proveniente de la palmera *Cocos nucifera* L. por 95 países, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAOSTAT, en el 2014 se alcanzaron 61, 750, 899 toneladas de residuos de coco en el ambiente.

Los residuos orgánicos de la cáscara de coco son ampliamente usados para la fabricación de carbón activado, debido a su abundancia y a las características que este contempla, lo hace un producto ideal en muchas áreas, como la industrial, ambiental, cosmética, farmacéutica y de limpieza. A partir de la cáscara de coco es posible obtener diferentes variantes de carbón activado de gran resistencia a comparación de otros tipos de residuos como el de madera. (Yachas, 2019).

Según Ríos (2018) en su trabajo “Eficiencia del Carbón Activado a base de Cáscara de coco (*Cocos nucifera*) en la remoción del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) para mejorar la Calidad del Aire, 2018” la elaboración de carbón activado a base de productos orgánico de coco, sigue un procedimiento de trituración, secado, pesado, molienda y tamizado de la materia prima, al igual que un proceso de activación química de la muestra, usando HNO<sub>3</sub>.

También García Barrera (2018), en su trabajo “Tratamiento de agua contaminada con metales pesados utilizando como medios filtrantes biorresina intercambiadora de cationes de la cáscara y tallo de guineo y carbón activado de endocarpio de coco” se realizaron filtros para comparar su capacidad intercambiadora de cationes y la

cuantificación de la concentración de los metales pesados adsorbidos y a través de la determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

Los trabajos anteriores proporcionan información importante para la ejecución de nuevos de proyectos para la obtención de carbón activado.

#### *Composición química de la cáscara de coco*

En la investigación de Cabrera et al. (2020) se caracterizó la cáscara de coco, determinando el valor de distintos parámetros como la media geométrica de humedad, obteniendo un porcentaje de  $10.83\% \pm 0.42$  aproximado con el valor de  $12.01\%$  obtenido por Carrasco y Londa (2018), demostrando que la cáscara de coco presenta un contenido bajo de humedad. También se determinó la media geométrica de cenizas, en donde el valor fue de  $0.96\% \pm 0.01$ , para el trabajo de Carrasco y Londa (2018) se obtuvo un resultado de  $0.884\%$  de cenizas, similar al reportado por Correa y Velásquez (2009) con valor de  $0.74\%$ , mismo que señala que las especificaciones van de  $0.70\%$  a  $1.10\%$ . Resultados que demuestran que esta materia prima posee bajo contenido de material inorgánico.

Para caracterizar la cáscara de coco, en el trabajo de Rincón et al. (2016), se determinó el contenido de celulosas con valor de  $35.9\%$ ,  $18.56\%$  de hemicelulosa y  $19.38\%$  de lignina. En Chaves (2007), los resultados fueron de  $39-53\%$  de material celulósico,  $38-42\%$  de lignina y el otro porcentaje correspondiente a hemicelulosa.

#### **1.6.2. Cáscara de plátano macho**

El plátano es uno de los frutos de mayor importancia para México. Los plátanos y bananos son plantas monocotiledóneas que pertenecen a la familia *Musaceae*, orden *zingiberales* y su cultivo se reconoce de gran importancia a nivel mundial (Valencia e Ibarra, 2021).

Se estima que su origen se dio en el cinturón tropical húmedo que se extiende desde la India hasta las islas Salomón, Nepal y el norte de Australia, área de distribución natural de las plantas silvestres pertenecientes a la especie *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*.

En México se cultivan y comercializan 8 tipos de variedades de plátano, entre ellas una de gran aceptación y consumo es el plátano macho. (Valencia e Ibarra, 2021).

A nivel mundial, en el 2018 la producción de fruto alcanzó un total de 156.99 millones de toneladas, siendo India, China e Indonesia los principales productores. México se sitúa en la posición número diecinueve, aportando aproximadamente 2.2 millones de toneladas anuales (FAOSTAT, 2018).

#### *Composición química de la cáscara de plátano macho*

La cáscara de plátano se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina (Rios, 2014), según García Barrera (2018) la fibra cruda de la cáscara de banano maduro, contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa, aproximado a las cantidades determinadas por Tejeda et al. (2014) con valores de 18.11 % de lignina 20.90% de celulosa, 7.92% de hemicelulosa.

En cuanto a porcentaje de cenizas, la cáscara de plátano verde tiene un valor de 16.30% y la cáscara de plátano maduro de 14.58% promedio, además de 65% de humedad, García Barrera (2018); cantidades aproximadas a Tejeda et al. (2014) con 7.20% de cenizas; por lo que representa un contenido bajo de estas y cantidad de carbono de 36.69%.

Según la literatura los parámetros anteriores influyen en el rendimiento y la calidad de la obtención de carbón activado sustentable, y además de ser económicamente viable, aprovechable para el proceso de adsorción (Contreras et al., 2018).

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se desarrolla la metodología experimental para la obtención de carbón activado a partir de los residuos orgánicos de cáscara de coco y plátano macho, mediante activación química con solución de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) a una concentración de 2% y activación térmica a una temperatura de 500 °C, además de la realización de las pruebas de adsorción, finalmente el análisis mediante espectroscopía infrarroja de las muestras de carbón activado obtenidos y sus cambios posteriores a los ciclos de adsorción, según la metodología seguida por (Rojas-Valencia et al., 2020) y (Solís-Fuentes et al., 2012).

### 2.1. Obtención y preparación de los residuos orgánicos: cáscara de coco y plátano macho

Se utilizó como material precursor para la obtención de carbón activado los residuos de cáscara de coco (*cocos nucifera*) y de plátano macho (*musa balbisiana*) recolectados. Se lavaron adecuadamente, posteriormente se secaron a temperatura ambiente con incidencia de rayos del sol (Figura 8), hasta que se encontraron totalmente secos, esto para eliminar la humedad adquirida durante su manipulación. Se trituro en pequeños trozos, hasta obtener 25 g de cada material precursor de carbón activado (Figura 9).

### 2.2. Activación química

El reactivo usado para la activación química fue  $H_3PO_4$  al 2%, la solución se preparó pesando 20 g de  $H_3PO_4$  sólido, para aforar en un matraz de 1000 ml con agua desionizada. Después se mezclaron 25 g de los materiales precursores respectivamente, con 250 ml de solución de  $H_3PO_4$ , mediante agitación magnética por un periodo de tiempo de 2 horas a una temperatura de 70°C (Figura 10). Se filtraron los materiales precursores del ácido fosfórico con papel filtro y embudo (Figura 11 y 12), para posteriormente someterlos a proceso de calcinación.

### **2.3. Activación térmica**

Se sometieron a proceso de activación térmica, los materiales precursores ya calcinados y activados químicamente, en un horno con atmósfera controlada a una temperatura de 500 °C por un periodo de tiempo de 1 hora. Después se realizaron lavados de ambas muestras con agua desionizada (Figura 13) para eliminar los residuos de la solución de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, hasta que se obtuvo un pH igual o mayor a 5.

Posteriormente se secaron en una estufa a una temperatura de 105 °C por 2 horas, finalmente se tamizaron individualmente las muestras ya secas hasta conseguir un tamaño de 0.0083 in (Figura 14).

Es necesario mencionar que los rendimientos de los materiales precursores fueron, de un 35% para la cáscara de coco, de modo que de 25 g de este, se obtuvo la cantidad de 8 g totales de carbón activado, y para la cáscara de plátano macho se obtuvo un rendimiento de 32% con 6 g de carbón activado total obtenido.

### **2.4. Pruebas de adsorción de colorantes en agua residual**

Durante las prueba de adsorción en agua residual textil, se mezcló de forma separada mediante agitación magnética, 2 g de carbón activado de cada muestra (Figura 15) con 250 ml de agua residual textil (Figura 21), esta es la misma para cada carbón activado respectivamente, la agitación se dio durante un periodo de tiempo de 24 horas, a este proceso se le denominó ciclo 1 (Figura 16). Transcurrido el tiempo anterior, se sedimentó el carbón activado por 24 horas, para posteriormente ser filtrado (Figura 22), y después secar en la estufa el carbón activado resultante a una temperatura de 105 °C durante 2 horas.

Las mismas muestras de carbón activado ya secas, se mezclan con los 250 ml de agua residual textil (anteriormente utilizados) durante otras 24 horas, a este proceso se le denominó ciclo 2. Transcurrido el tiempo, se sedimentaron las muestras de carbón activado por 24 horas, se filtraron y secaron en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 2 horas.

## 2.5. Análisis por Espectroscopía Infrarroja

Para el análisis de las muestra de carbón activado puro, en el ciclo 1 y ciclo 2, se utilizó el equipo de Espectroscopía Infrarroja Perkin Elmer (*modelo Spectrum One*) (Figura 17 y 18), los espectros se registraron en el rango de longitud de onda de 500 hasta 4500  $\text{cm}^{-1}$ .



Figura 8. Secado de cáscara de coco a intemperie



Figura 9. Pesado de 25 g de cáscara de coco



Figura 10. Agitación a 70°C de materiales precursores y  $\text{H}_3\text{PO}_4$



Figura 11. Filtrado del precursor de cáscara de plátano macho de  $\text{H}_3\text{PO}_4$



Figura 12. Filtrado del precursor de cáscara de coco de  $\text{H}_3\text{PO}_4$



Figura 13. Lavado de muestra calcinada con agua desionizada



Figura 14. Tamizado de muestra calcinada seca

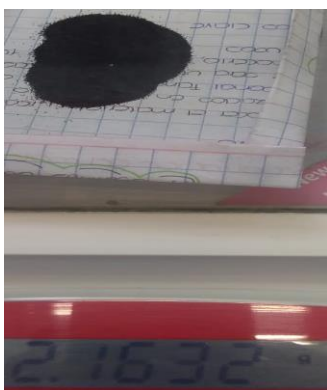


Figura 15. Pesado de 2 g de muestra de carbón activado



Figura 16. Mezcla de carbón activado y 250 ml de agua residual textil (ciclo 1)

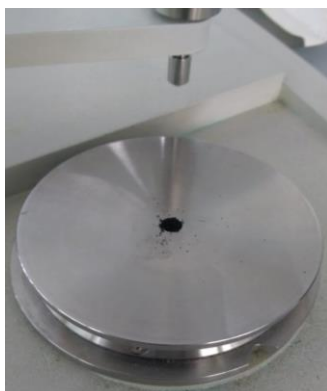


Figura 17. Análisis de carbón activado de cáscara de coco por equipo Perkin Elmer (*modelo Spectrum One*)



Figura 18. Análisis de carbón activado de cáscara de plátano macho por equipo Perkin Elmer (*modelo Spectrum One*)

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

### 3.1. Análisis visual del proceso de adsorción

En este apartado se presenta el resultado de la activación térmica de los precursores de cáscara de coco y plátano macho (Figura 19 y 20), además de la comparativa visual del agua residual textil antes y después del proceso de adsorción con carbón activado de cáscara de coco en el ciclo 1 y 2 (Figura 21, 22 y 23).



Figura 19. Muestra calcinada de cáscara de coco



Figura 20. Muestra calcinada de cáscara de plátano macho

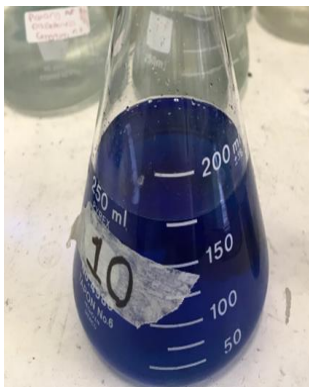


Figura 21. Agua residual textil inicial antes del proceso de adsorción



Figura 22. Agua residual textil resultante del proceso de adsorción con carbón activado de cáscara de coco en el ciclo 1

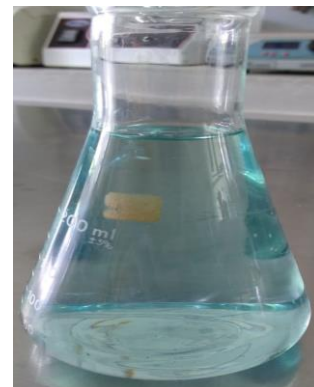


Figura 23. Agua residual textil resultante del proceso de adsorción con carbón activado de cáscara de coco en el ciclo 2

### 3.2. Descripción de los espectros infrarrojos

Se expone los espectros IR y tablas resumen de las muestras de carbón activado de cáscara de coco (CAC) y plátano macho (CAP), obtenidos por el equipo Perkin Elmer (*modelo Spectrum One*), que se han colocado en un mismo gráfico para fines comparativos.

La Figura 24 manifiesta en color negro el espectro inicial del carbón activado antes de ser sometido a proceso de adsorción, seguido de los espectros obtenidos después de la interacción con el agua residual textil en el ciclo 1 y 2 de color rojo y azul respectivamente. Con respecto a los espectros IR de la cáscara de plátano macho, se observa en la Figura 25 los ciclos 1 y 2 de adsorción de agua residual textil en color negro y rojo respectivamente, es necesario mencionar que no se contempló un ciclo inicial para esta cáscara, debido a error de procedimiento.

Los espectros se representan con valores en el eje (X) denominado número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), entre un rango de  $4500 \text{ cm}^{-1}$  a  $500 \text{ cm}^{-1}$ , así como valores de porcentaje de transmitancia en el eje (Y). Se observan diferentes porcentajes de transmitancia o picos en diversas regiones de número de onda.

Para una mejor interpretación de las señales principales, en las Figuras 24 y 25 de los espectros IR del carbón activado de cáscara de coco (CAC) y plátano macho (CAP), se identificó 4 regiones de longitud de onda, el primero (color rosa) va de  $500 \text{ cm}^{-1}$  a  $1500 \text{ cm}^{-1}$ , el segundo (color naranja) de  $1500 \text{ cm}^{-1}$  a  $2000 \text{ cm}^{-1}$ , el tercero (color morado) de  $2000 \text{ cm}^{-1}$  a  $2500 \text{ cm}^{-1}$  y el último (color verde) de  $2500 \text{ cm}^{-1}$  a  $4000 \text{ cm}^{-1}$ ; de igual manera se distinguen las señales más importantes discriminando aquellas de baja intensidad. De esta forma se generan las Tablas 5 y 6, en donde se resume e interpreta la información de los espectros, como numeración, característica, posición, asignación y grupos funcionales identificados mediante literatura.

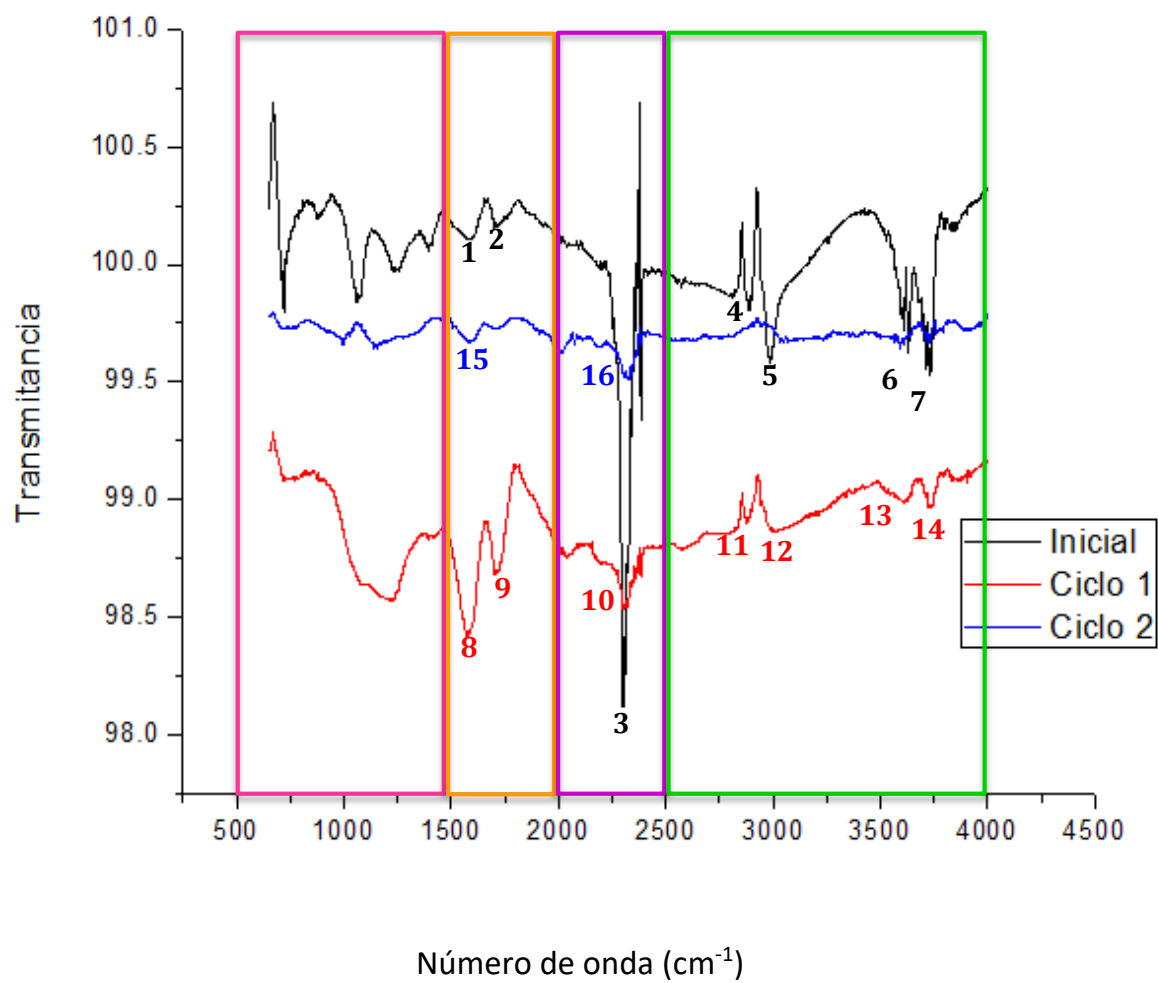


Figura 24. Espectros IR del carbón activado de cáscara de coco, inicial, en el ciclo 1 y ciclo 2 de adsorción

Tabla 5. Resumen de información de los espectros IR para el carbón activado de cáscara de coco

<b>ESPECTRO INICIAL</b>				
<b>No.</b>	<b>Característica del espectro</b>	<b>Posición (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Grupo /estructura</b>	<b>Tipo de vibración</b>
	Huella digital	500-1500	Sin lectura	-----
<b>1</b>	Codo	1600	C=C	Estiramiento
<b>2</b>	Pico	1700	C=O	Estiramiento
<b>3</b>	Pico	2250	C≡N	Estiramiento
<b>4</b>	Pico	2800	C-H	Estiramiento
<b>5</b>	Pico	3000	C-H	Estiramiento
<b>6</b>	Pico	3600	O-H	Estiramiento
<b>7</b>	Pico	3650	O-H	Estiramiento
<b>ESPECTRO CICLO 1</b>				
	Huella digital	500-1500	Sin lectura	-----
<b>8</b>	Pico	1600	N-H	Estiramiento
<b>9</b>	Pico	1700	N-H	Estiramiento
<b>10</b>	Pico	2250	C≡N, N=N	Estiramiento
<b>11</b>	Pico	2890	C-H	Estiramiento
<b>12</b>	Banda	3000	C-H	Estiramiento
<b>13</b>	Pico	3600	O-H/N-H	Estiramiento
<b>14</b>	Pico	3650	O-H	Estiramiento
<b>ESPECTRO CICLO 2</b>				
	Huella digital	500-1500	Sin lectura	-----
<b>15</b>	Codo	1600	N-H	Estiramiento
<b>16</b>	Pico	2250	C≡N	Estiramiento

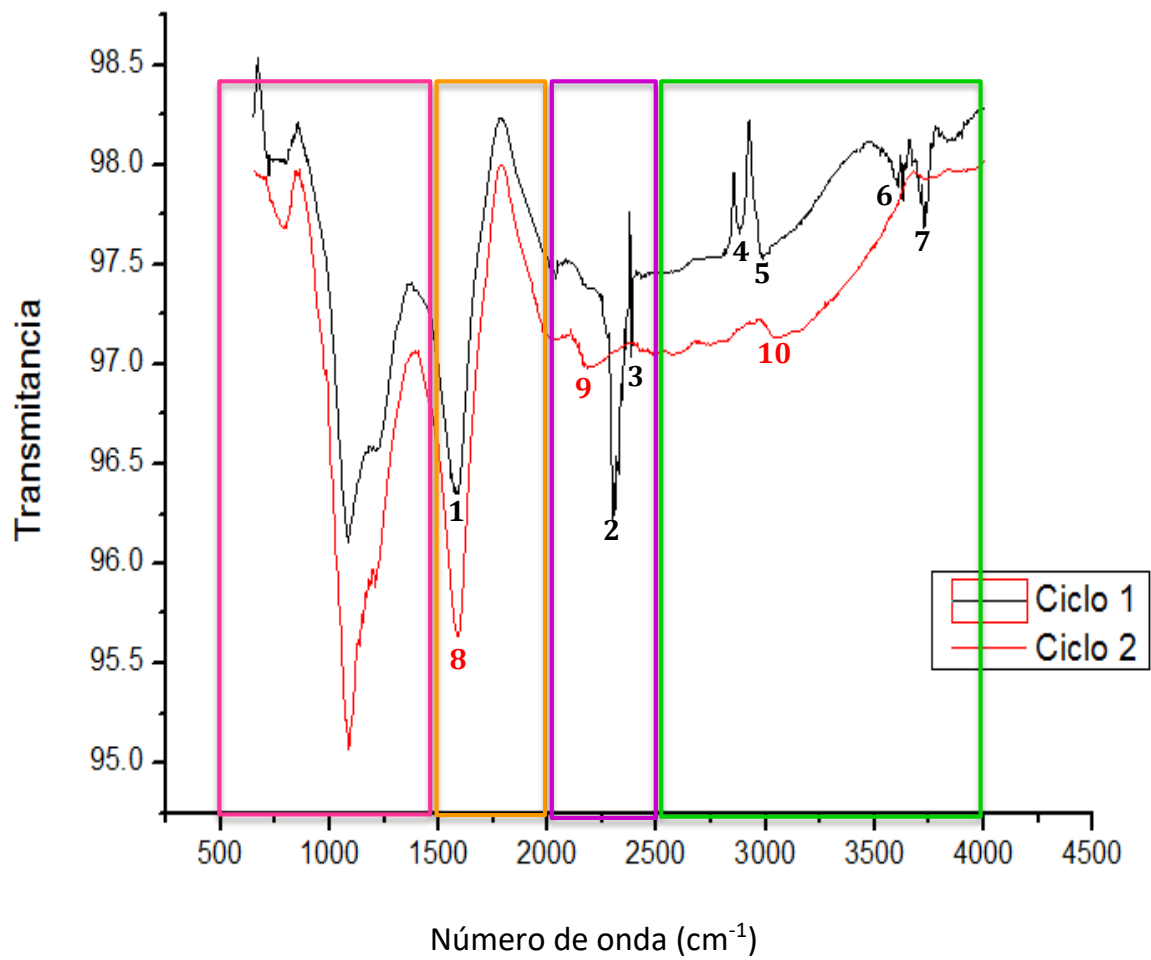


Figura 25. Espectros IR del carbón activado de cáscara de plátano macho en el ciclo 1 y ciclo 2 de adsorción

Tabla 6. Resumen de información de los espectros IR para el carbón activado de cáscara de plátano macho

<b>ESPECTRO CICLO 1</b>				
<b>No.</b>	<b>Característica del espectro</b>	<b>Posición (cm-1)</b>	<b>Grupo /estructura</b>	<b>Tipo de vibración</b>
	Huella digital	500-1500	Sin lectura	-----
<b>1</b>	Pico	1600	N-H	Estiramiento
<b>2</b>	Pico	2250	C≡N, N=N	Estiramiento
<b>3</b>	Pico	2350	N-H	Estiramiento
<b>4</b>	Pico	2800	C-H	Estiramiento
<b>5</b>	Pico	2996	C-H	Estiramiento
<b>6</b>	Pico	3600	O-H/N-H	Estiramiento
<b>7</b>	Pico	3750	O-H	Estiramiento
<b>ESPECTRO CICLO 2</b>				
	Huella digital	500-1500	Sin lectura	-----
<b>8</b>	Pico	1600	N-H	Estiramiento
<b>9</b>	Codo	2150	C≡C	Estiramiento
<b>10</b>	Banda	3075	C-H	Estiramiento

### 3.3. Identificación de grupos funcionales

Tras el análisis de los espectros IR obtenidos, se observa que las señales mostraron similitudes en la posición de los picos, indicando la existencia de grupos funcionales análogos en los diferentes ciclos, diferenciados solamente en intensidad y en porcentaje de transmitancia, congruente con el trabajo de (Domínguez-Pérez et al., 2019). Se hallaron grupos funcionales o estructuras representativas de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno coincidente con la investigación de (Chaves, 2007), conforme a las características del espectro y a la división realizada para una mejor interpretación de los resultados. Los trabajos de investigación citados son referencia de los enlaces y números de onda reportados en otros estudios para el carbón activado de cáscara de coco y de plátano macho.

#### Región $4000\text{ cm}^{-1}$ - $2500\text{ cm}^{-1}$

##### *Espectro inicial*

En el espectro del CAC se identifica la señal a  $3650\text{ cm}^{-1}$  y  $3600\text{ cm}^{-1}$ , según Tejeda et al. (2014) y Hernández-Vidal et al., es señal representativa del grupo hidroxilo (O-H) que evidencia el estiramiento de las vibraciones de compuestos poliméricos.

Las señales del CAC a  $3000\text{ cm}^{-1}$  y  $2800\text{ cm}^{-1}$ , representan al grupo C-H, coincidente con las bandas encontradas alrededor de  $2900\text{ cm}^{-1}$  por Canales (2018), en dónde menciona que son señales de tensión simétrica y asimétrica para compuestos alifáticos.

### *Espectros del ciclo 1*

En el espectro del CAC se observaron señales a **3650**  $\text{cm}^{-1}$  y **3600**  $\text{cm}^{-1}$ , para el CAP se identificó los picos a **3750**  $\text{cm}^{-1}$  y **3600**  $\text{cm}^{-1}$ ; las señales anteriores son atribuibles a absorciones de O-H de alcoholes y fenoles según Al-Qodah y Shawabkah (2009), coincidente con el trabajo de Yang y Ke-Qiang (2009), mencionando que la posición de la estructura del grupo O-H usualmente está en el rango 3200-3650  $\text{cm}^{-1}$ . Sin embargo, también es necesario señalar que a número de onda en 3600  $\text{cm}^{-1}$  se puede confirmar la presencia de vibración de tensión N-H, derivado de aminas y amidas primarias y secundarias (Rubinson K.A y Rubinson J.F, 2000).

Existen señales para el CAC a **3000**  $\text{cm}^{-1}$  y **2890**  $\text{cm}^{-1}$ , para el CAP a **2996**  $\text{cm}^{-1}$  y **2800**  $\text{cm}^{-1}$ , que representan al grupo C-H; coincidente con las bandas encontradas alrededor de **2900**  $\text{cm}^{-1}$  por (Canales, 2018), en dónde menciona que son señales de tensión simétrica y asimétrica de para compuestos alifáticos.

### *Espectro ciclo 2*

Para el CAP señal a **3075**  $\text{cm}^{-1}$  coincidente con las bandas encontradas alrededor de **2900**  $\text{cm}^{-1}$  por (Canales, 2018) en dónde menciona que son señales de tensión simétrica y asimétrica de C-H para compuestos alifáticos.

### **Región 2500 $\text{cm}^{-1}$ - 2000 $\text{cm}^{-1}$**

#### *Espectro inicial*

En el CAC se encontraron señales a **2250**  $\text{cm}^{-1}$  perteneciente a la vibración de  $\text{C}\equiv\text{N}$ , la última puede deberse a la presencia de grupos anhídridos ácidos, ácidos carboxílicos sustituidos, lactonas (Asimbaya et al., 2015).

### *Espectro ciclo 1*

Para el CAC se observa la señal a **2250**  $\text{cm}^{-1}$ , que de acuerdo con Mondragón (2020), tiene su origen en enlaces triples  $\text{C}\equiv\text{N}$ , indicando la presencia del grupo nitrilo.

En tanto a la muestra de CAP, existieron señales a **2350**  $\text{cm}^{-1}$  representativas de N-H y **2250**  $\text{cm}^{-1}$  representativas de  $\text{C}\equiv\text{N}$ .

### *Espectro ciclo 2*

Para el CAC se observa señal a **2250**  $\text{cm}^{-1}$  que tiene origen de enlaces triples  $\text{C}\equiv\text{N}$ , indicando la presencia del grupo nitrilo.

Para el CAP se encontró señal a **2150**  $\text{cm}^{-1}$  señal representativa de  $\text{C}\equiv\text{C}$ .

## **Región 2000 $\text{cm}^{-1}$ - 1500 $\text{cm}^{-1}$**

### *Espectro inicial*

Para el CAC se encuentran señales a **1700**  $\text{cm}^{-1}$ , número de onda relacionada al pico 1714  $\text{cm}^{-1}$  que puede ser asignado al enlace  $\text{C}=\text{O}$  de acuerdo con (Ehécatl y Chávez, 2010).y corresponden a los grupos carbonilo y carboxílico (Asimbaya et al., 2015), también señal a **1600**  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde al enlace  $\text{C}=\text{C}$ .

### *Ciclo 1*

Para el CAC se encuentran señales a **1700**  $\text{cm}^{-1}$  y **1600**  $\text{cm}^{-1}$  también para el CAP; números de onda relacionada a N-H se atribuye al modo de vibración de aminas y amidas primarias y secundaria (flexión) (Rubinson K.A y Rubinson J.F, 2000) al igual que para el CAP señal a 1600, esta banda según Romero (2017) se atribuye al modo de vibración de aminas y amidas primarias y secundaria (flexión) (Rubinson K.A y Rubinson J.F, 2000)

### *Ciclo 2*

Para el CAC y CAP se encuentra la señal a **1600**  $\text{cm}^{-1}$  (Barroso-Bogeat et al., 2016) esta banda según Romero (2017) se atribuye al modo de vibración de aminas y amidas primarias y secundaria (flexión) (Rubinson K.A y Rubinson J.F, 2000).

## Región 1500-400 $\text{cm}^{-1}$

Debido a que esta región es única para cada muestra analizada y muy difícil de descifrar se omiten las lecturas que se observaron en los espectros.

En los espectros de los ciclos 2 del CAC y CAP, se observan menos bandas lo que puede indicar que la carbonización de los precursores producen la

También es importante plantear que a números de onda 2180-2500  $\text{cm}^{-1}$ , la literatura en otros trabajos, indica la presencia de estiramientos de triple enlace, que pueden interpretarse como los grupos azo ( $-\text{N}=\text{N}-$ ), enlace característico de los colorantes azoicos, indicativo de la presencia de los colorantes en el material saturado (Torres-Pérez et al., 2012). Además, la adsorción de colorantes puede interpretarse positiva mediante la observación en los espectros IR de ciertos grupos en los ciclos 1 y 2 (cromóforos), como: azo ( $-\text{N}=\text{N}-$ ), doble enlace carbono-carbono ( $>\text{C}=\text{C}<$ ), compuesto nitro ( $-\text{NO}_2$ ), aldehídos, cetonas y ésteres ( $>\text{C}=\text{O}$ ); y tal vez, la presencia de algunos auxocromos ( $-\text{CH}_3$ ), hidroxilos ( $-\text{OH}$ ) y amino ( $-\text{NH}_2$ ) (Ramírez y Lozano, 2020). (Tabla 2).

La baja intensidad puede deberse a que las bandas de absorción se debe en mayor parte a que la masa de colorante presente en la superficie de los materiales es insuficiente para obtener bandas bien definidas considerando los límites de detección del instrumento utilizado (Valenzuela-Padilla y Torres-Pérez, 2020).

### **3.4. Análisis de aplicaciones ambientales similares**

En la Tabla 7 se presentan los resultados de aplicaciones para remover ciertos contaminantes con carbones activados obtenidos a partir de cáscara de coco y de plátano. Entre los agentes activantes están:  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , las temperaturas de activación varían de 120 °C a 800 °C. Se destaca su uso para remover metales pesados y colorantes.

En la Tabla 8 se presentan algunas características del carbón activado a partir de la cáscara de coco y de plátano, que pueden ser una guía para conocer las características de los obtenidos en este trabajo. Como la presencia de micro y mesoporos y áreas superficiales entre 600 y 800  $\text{m}^2/\text{g}$  para el obtenido de la cáscara de coco y mayores a 100  $\text{m}^2/\text{g}$  para el CA obtenido de la cáscara de plátano. De tal forma que éstas características se pueden considerar como las responsables de la adsorción de colorantes del agua residual textil.

Tabla 7. Resultados de otras aplicaciones ambientales

Material de origen del Carbón Activado	Tratamiento	Contaminante adsorbido	Resultado	Referencias
Endocarpio de coco	Activación química: a) $H_3PO_4$ al 85% a 120 °C/24 h. b) $H_3PO_4$ al 40% a 300 °C/2.5 h.	Cl residual.	El CA al 40% redujo la [Cl] de 0.81ppm a 0.3 ppm	(Carrasco y Londa, 2018).
Cáscara de coco	Activación química: 100 g de $CaCl_2$ por 300 ml de $H_2O$ /24 h.	Hierro y plomo.	A 90 minutos de interacción, la [Fe] bajo de 0,81mg/l a 0.60mg/l y a 120 minutos a 0,45mg/l.	(Ponce, 2019).
Cáscara de coco	Activación química: $H_3PO_4$ al 40% a 300 °C/2:30 h	Residuos líquidos coloreados	Eficiencia en la adsorción de impurezas coloreadas, eliminación de turbidez y disminución de pH.	(Cabrera et al., 2020).
Cáscara de coco	Activación química: 6.41 ml $HNO_3$ / 100 ml $H_2O$	$CO_2$ .	Eficiencia de 40% en 10 minutos.	(Rios, 2018)
Cáscara de coco	Carbonización a 200 °C/120 min.	Azul de metileno.	Reducción de 6% a 0.475 % de absorbancia de azul de metileno.	(Burgos y Jaramillo, 2015).

Endocarpo de coco	Activación física: 800 °C/1 h.	Metales pesados.	Cr <sup>6+</sup> (21.04%), Fe <sup>3+</sup> (86.69%) y Ni <sup>2+</sup> (81.09%).	(García Barrera, 2018)
Cáscara de plátano	Tratamiento químico: NaOH 0.1 N/ 2 h temperatura ambiente.	Cromo VI.	Remoción de 98% de Cr (VI) en 4 h.	(Hernández et al., 2019).
Vástago de plátano	Activación química:H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a 10%, 20% y 40%	Contaminantes y olores en aguas residuales.	Mejoramiento de las propiedades físicas del agua.	(Cruz y Giraldo, 2018).
Hojas de platanera	Activación química: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Azul de metileno	Adsorción de 19.08 y 48.01 mg/g	(Martín-González et al., 2013)
Pseudotallo de plátano	Activación química: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> al 80% 1:1 600°C/2h	Reducción de materia orgánica	Remoción de 60-70% de materia orgánica	(Tutivén, 2020).
Cáscara de banana	Activación térmica: 300°C/2 h	Tinte capilar azul plata (AP)	Remoción de 85 y100%	(Pacheco, 2021).

Tabla 8. Características del carbón activado obtenido en otros trabajos

<b>Material de origen del Carbón Activado</b>	<b>Composición de la cáscara</b>	<b>Técnicas de caracterización utilizadas</b>	<b>Propiedades y características</b>	<b>Referencias</b>
Cáscara de coco	Humedad: 5.96 % Densidad: 0.44 g/ml pH 9.8 Área superficial: 840.2 m <sup>2</sup> /g	Prueba de humedad Densidad aparente pH Análisis BET	Tamaño de poro 2 y 50 nm	(Acevedo Trejo, 2018).
Cáscara de coco	Área superficial: 660.287m <sup>2</sup> /g	Porcentaje de humedad Densidad aparente Índice de yodo Área superficial: 660.287m <sup>2</sup> /g	Humedad: 9.638y 9.296 % Densidad aparente: 0.4976g/cm <sup>3</sup> y 0.6548g/cm <sup>3</sup> Índice de yodo: 0.6548g/cm y 467.94 mg/g gran porosidad debido a la presencia de micro y mesoporos.	(Carrasco y Londa, 2018).
Cáscara de coco y guineo	Densidad aparente:150.80 g/L y 331.27 g/L Tamaño de 425 y 355 micras.	Determinación de densidad por gravimetría Tamizado para obtención de tamaño de partícula	Densidad aparente:150.80 g/L y 331.27 g/L Tamaño de 425 y 355 micras.	(García Barrera, 2018).

Cáscara de plátano	Carbono 36.69% Hidrógeno 3.98% Nitrógeno 0.69% Azufre 0.12% Cenizas 7.20% Pectina 2.84% Lignina 18.11 % Celulosa 20.90% Hemicelulosa 7.92%	Análisis BET	Área superficial BET: $123.288 \pm 0.0053$ $\text{m}^2/\text{g}$	(Tejeda et al., 2014).
--------------------	--	--------------	--	------------------------

## CONCLUSIONES

Se logró obtener carbón activado a partir de residuos orgánicos (cáscara de coco y de plátano macho), mediante activación química y térmica.

Su capacidad de adsorción de colorantes provenientes de agua residual textil se analizó visualmente al quedar decolorada la muestra acuosa en el primer y segundo ciclo de uso de cada carbón activado.

Por espectroscopía infrarroja se identificaron los principales grupos funcionales de cada carbón activado inicial y después de cada uno de los dos ciclos de uso. Se observó la presencia de enlaces conteniendo nitrógeno lo que puede estar asociado a algún tipo de colorante de tipo azoico presente en el agua residual textil. De tal manera que se evidencia la adsorción de contaminantes por parte de los carbones activados utilizados.

Los resultados obtenidos pueden ser utilizados como antecedente para la aplicación de alternativas tecnológicas para el tratamiento de las aguas residuales textiles, de tal manera que se reduzca su impacto negativo al ser descargadas a los cuerpos de agua receptores.

Con este trabajo se promueve la economía circular, ya que se propone un uso importante a residuos orgánicos que se generan en gran cantidad y que por lo general se destinan en rellenos sanitarios. Además, de que el agua tratada mediante adsorción con el carbón activado podría ser reutilizada si se analiza y se demuestra que no tiene toxicidad y no representa un riesgo para la salud humana ni para el ambiente en general.

## REFERENCIAS

- Acevedo Trejo, D.B. (2018). *Pruebas de adsorción y regeneración química de carbón activado granular de madera y de cáscara de coco para el tratamiento de agua residual de la industria del teñido textil* [Tesis de grado, División de Ciencias Básicas e Ingeniería]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11191/6719>
- Agulló-Rueda, F. (2020). Espectroscopía Raman. Recuperado de: <https://www.icmm.csic.es/Fagullo/es/raman/>
- Ahuatzin Flores, O.E. (2019). *Toxicidad del agua contaminada por colorantes textiles y pentaclorofenol al ser tratados con enterobacterias* [Tesis de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Recuperado de: Repositorio Institucional BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/4772>
- Al-Qodah, Z. y Shawabkah, R. (2009). Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 26(1), pp. 127–136. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/235176988\\_PRODUCTION\\_AND\\_CHARACTERIZATION\\_OFGRANULAR\\_ACTIVATED\\_CARBON\\_FROMACTIVATED\\_SLUDGE](https://www.researchgate.net/publication/235176988_PRODUCTION_AND_CHARACTERIZATION_OFGRANULAR_ACTIVATED_CARBON_FROMACTIVATED_SLUDGE)
- Altamirano, M.F. (2017). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de los colorantes Azul directo 71 y Verde Básico 4 utilizando un coagulante de Moringa oleífera y nanofibras de celulosa* [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Recuperado de: [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/4752](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4752)
- Álvarez, M.A. y Carrasco, F. (2016). Aplicaciones de adsorbentes y catalizadores en procesos medioambientales y energéticos. Universidad Internacional de Andalucía. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10334/3626>

- Ania, J.M., Belso, E., Cara, J.M., Castilla, M.C., García, M.J., Gómez, D., Muñoz, D., Ochoa, O., Pérez, M., Puertas, E., Ruibérriz, A., Silva, L. y Vilches, A. (Ed.). (2006). Técnico especialista en Anatomía Patológica del Servicio Gallego de Salud. Autoedición. Recuperado de: [https://books.google.com.mx/books?id=r7hL2GosWjYC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=r7hL2GosWjYC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Antonio, J. (2014). Pirólisis. Recuperado de: <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/361-pirolisis>
- Arellano-Aguilar, O., Ortega, L. y Gesundheit, P. (2012). Estudio de la contaminación en la cuenca del río Santiago y la salud pública en la región. Recuperado de: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/04/Estudio-de-la-contaminacion-en-la-cuenca-del-rio-santiago-y-la-salud-publica-en-el-region.pdf>
- Arias González, E., Diñeiro García, Y., García Espina, P., Oliván García, C y Sierra Sánchez, V. (2020). Aplicaciones de la espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS) para el control de calidad de la carne. Recuperado de: <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=8057>
- Arroyo, F.R. (2018). La Economía Circular Como Factor De Desarrollo Sustentable Del Sector Productivo. *INNOVA*, 3(12). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es>
- Asimbaya, C., Rosas, N., Endara, D. y Guerrero, V.H. "Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto". *Revista Politécnica* 36(3), pp. 1-6. Recuperado de: <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/ObtenciondeCarbonActivadoapartirdeResiduos.pdf>.

- Barroso-Bogeat, A., Alexandre-Franco, M., Fernández-González, C., Macías-García, A. y Gómez-Serrano, V. (2016). Preparation of activated carbon-SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, and WO<sub>3</sub> catalyst study by FT-IR spectroscopy. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, (55). Recuperado de: Doi: 10.1021/acs.iecr.5b04563
- Belletti, S., Besio, G y Godino, M.A. (2015). Ondas electromagnéticas. Recuperado de: <http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/4804/7202-15%20FISICA%20Ondas%20electromagn%C3%A9ticas.pdf?sequence=2>
- Berradi, M., Hsissou, R., Khudhair, M., Assouag, M., Cherkaoui, O., El Bachiri, A., y El Harf, A. (2019). Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *ELSEVIER*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02711>
- Boshir, M., L. Zhou, J., Hao, H. y Guo, W. (2015). Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: Progress and challenges. *ELSEVIER*, 532. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.130>
- Brañez, M., Gutiérrez, R., Pérez, R., Uribe, C. y Valle, P. (2018). Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Campus*, 23(26), 129-144. Recuperado de: [doi.org/10.24265/campus.2018.v23n26.03](https://doi.org/10.24265/campus.2018.v23n26.03)
- Burgos, G.E. y Jaramillo, J.L. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón milagro, provincia de Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Recuperado de: <https://repositorio.ug.edu.ec>
- Cabrera, O., Bautista, C.L., Ortega, Y., Cabrera, D. y Cuello, M. (2020). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara del coco (*Cocos nucifera L*) y su evaluación en la remoción de residuos líquidos coloreados. *UTCiencia. Ciencia y tecnología al servicio del pueblo*, 7(3). Recuperado de: <http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/view/321>

- Calgon-Mitsubishi. (2004). Activated Carbon. What is Activated Carbon?. Recuperado de: <http://www.cmcc-ac.co.jp/english/index.html>
- Canales, R.A. (2018). *Obtención y caracterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales* [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Recuperado de: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2070>
- Carrasco, B.S y Londa E.G. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco "Cocos Nucifera L"* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31705>
- Castelló, L. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de colorantes presentes en disolución acuosa* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Recuperado de: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/93468/CASTELL%C3%93%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20adsorci%C3%B3n%20para%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20colorantes%20presentes%20en%20disol...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, D.J. (2018). *Productividad y competitividad de la industria textil y de la confección de México: un análisis con China, durante el periodo 1995-2011* [Tesis de grado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Recuperado de: [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/1072](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1072)
- Castro-Gil, L., Solís-Navarrete, J.A., Ortega-Gómez, P., Astudillo-Miller, M.X. (2020). Cadena de Valor del cocotero de la Costa Grande de Guerrero, México. *Revista de la Facultad de Agronomía La Plata*, 119(2). Recuperado de: <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/download/10927/9818/>

- Cerrón-Infantes, D. A. y Unterlass, M. M. (2018). Síntesis ecoamigables de colorantes. *Revista De Química*, 32(1), 18-31. Recuperado de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/20342>
- Chaves, N.S. (2007). *Monolitos de carbono a partir de cáscara de coco: exploración de síntesis y caracterización* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/23583>
- Churata, L.M. (2017). *Degradación del colorante azoico textil naranja II por el método de fotocatalisis heterogénea* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5785>
- Comeau, Y. (2017). *Metabolismo Microbiano*. Henze, M., Mark, van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G. A., Brdjanovic, D., López, C.M., Buitrón, G., García, H.A. y Cervantes, F.J. (Ed.), Tratamiento biológico de aguas residuales principios, modelación y diseño. IWA Publishing. Recuperado de: <http://library.oapen.org/handle/20.500.12657/30973>
- Comisión Europea. (2020). *Liderar el camino hacia una economía circular mundial: situación actual y perspectivas*. 1 ed. Recuperado de: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/31079d7e-3a96-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-es/format-PDF/source-200512665>
- Contreras, M., Vallejo, W., Chávez, C. y Grande, C.D. (2018). Estudio del Efecto de la Temperatura Sobre el Proceso de Biorremoción del Colorante Azul de Metileno Utilizando *Galactomyces geotrichum* KL20A. Recuperado de: [http://www.advancesincleanerproduction.net/7th/files/sexoes/6A/3/contreras\\_mercado\\_et\\_al\\_academic.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/7th/files/sexoes/6A/3/contreras_mercado_et_al_academic.pdf)
- Correa, M., & Velásquez, J. (2009). Optimización de la producción de carbón activado de cáscara de coco mediante steam explosion. *Revista Investigaciones Aplicadas* No. 6, 1-3. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3219924>

- Cruz, A.F y Giraldo, C.A. (2018). Obtención de carbón activado a partir de vástago de plátano y su evaluación en la remoción de contaminantes y olores de aguas residuales. Universidad del Quindío. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/412393205/Obtencion-de-Carbon-Activado-a-Partir-de-Vastago-de-Platano-y-Su-Evaluacion-en-La-Remocion-de-Contaminantes-y-Olores-de-Aguas-Residuales-1>
- Cruz, J.F., Cruz, G.J.F., Ainassaari, K., Gómez, M.M., Solís, J.L. y Keisky, R.L. (2018). Microporous activation carbón made of sawdust from two forestry species for adsorption of methylene blue and heavy metals in aqueous system, case of real polluted water. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 17(3). Pp 847-861. Recuperado de: <http://rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/view/9>
- Daniel, R.D. (2020). ¿Qué es la difracción de rayos X (XRD) y por qué es tan importante para la industria?. Espectrometría. Recuperado de: <https://espectrometria.com.mx/que-es-la-difraccion-de-rayos-x-xrd-y-por-que-es-tan-importante-para-la-industria/>
- De la Cuesta. G, M. (2020). La economía circular: una opción inteligente. Economistas sin fronteras. Recuperado de: [www.ecosfron.org](http://www.ecosfron.org)
- Del Valle, J. (2017). El agua, un recurso cada vez más estratégico. *Cuadernos de estrategia*, 71(118). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6115630>
- Domínguez-Pérez, L.A., Lagunes-Gálvez, L.M., Barajas-Fernández, J. Olán-Acosta, M. A., García-Alamilla y R. García-Alamilla, P. (2019). Caracterización vibracional de grupos funcionales en granos de cacao durante el tostado usando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier. *Acta universitaria* 29. Recuperado de: doi. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2172>.

- Economistas sin fronteras. (2020). La economía circular: una opción inteligente. [Boletín no. 37]. Dossieres ESF. Recuperado de: <https://ecosfron.org/la-economia-circular-una-opcion-inteligente-nuevo-monografico-de-dossieres-esf/#:~:text=Actualmente%2C%20la%20econom%C3%ADa%20est%C3%A1%20basada,Organizaci%C3%B3n%20Mundial%20de%20la%20Salud.>
- Ehécatl Correa Cerón, A. y Chávez Guerrero, L. (2010). Producción y caracterización de carbón activado usando vaina de frijol: extracción de Cd<sup>2+</sup> en solución acuosa. *Ingenierías*, 13(48). Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/10436/>
- El Fondo Nacional de Fomento al Turismo (2018). Tratamiento de Aguas Residuales. Recuperado de: <https://www.gob.mx/fmt/acciones-y-programas/tratamiento-de-aguas-residuales-162692>
- E.U. Politécnica y U. Sevilla. (2016). Manual de carbón activo. Recuperado de: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- FAOSTAT. (2018). Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Filippín, J., Luna, S., Pozzi, T. y Pérez, D. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física. *Avances en ciencia e ingeniería* 8(3) pp 59-71. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323652916007.pdf>
- Flores, E., Chávez, S., Valladares, M.R., Moctezuma, K.K. y Monzalve, R. (2019). Tratamiento de aguas residuales textiles mediante energía solar. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 5(5). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11191/7819>
- García Barrera, A.V. (2018). Tratamiento de agua contaminada con metales pesados utilizando como medios filtrantes biorresina intercambiadora de cationes de la cáscara y tallo de guineo y carbón activado de endocarpio de coco. Informe Final de Investigación. 1 ed. Santa Tecla La Libertad, El Salvador: ITCA editores

- García Bermejo, M.J. (2003). Manual del auxiliar de laboratorio. MAD, S.L.  
Recuperado de:  
<https://books.google.com.mx/books?id=ifnceRGljYc&pg=PA379&dq=Auxocromo+Garc%C3%ADa&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiz-Z6z1sXxAhWck2oFHdliAL8Q6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q=Auxocromo%20Garc%C3%ADa&f=false>
- García Estrada, C. A. (2019). “Adsorción de compuestos clorados en sílices dopadas: Cu/SiO<sub>2</sub>, Fe/SiO<sub>2</sub> y Ag/SiO<sub>2</sub> para aplicaciones ambientales” [Tesis de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Recuperado de:  
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/5012>
- García, M. (2012). La hidrosfera. El ciclo del agua en el planeta. La calidad del agua. Contaminación acuática. Eutrofización. Sistemas de Tratamiento y depuración del agua como recurso natural. Gestión del agua criterios para un uso sostenible. *Biología y Geología* 3(26). Recuperado de:  
<https://www.researchgate.net/publication/263925592>
- García, L. y Oliva, L. (2020). Tratamiento de aguas residuales [Infografía]. Ciencia UNAM. Recuperado de  
<http://ciencia.unam.mx/contenido/infografia/97/infografia-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Gómez-Duarte, O. (2018). Contaminación de agua en países de bajos y medianos recursos, es un problema de salud pública global. *Revista Facultad de Medicina*, 66(12). Recuperado de: doi: 10.15446/revfacmed.v66n1.70775
- González Mora, H.E. y Teruya Chinen, R. (2004). Estudio preliminar de carbón activado; situación en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de: <https://www.academia.edu>

- Gutiérrez, I. (2015). *Aplicación de materiales nanoestructurados metal-orgánicos (MOFs) en procesos de adsorción y catálisis heterogénea* [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]. Recuperado de: [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/31505/TD\\_inesgutiérrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/31505/TD_inesgutiérrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Henao, N. (2016). *Tratamiento de aguas residuales del sector textil mediante proceso acoplado electro-coagulación-electro-oxidación* [Tesis de grado, Universidad EAFIT]. Recuperado de: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12227>
- Hernández, L.M., Majano, G.E y Mira, E.A. (2019). *Elaboración de un material biosorbente a partir de la cáscara de plátano (Musa sp) para ser utilizado en la remoción de cromo vi proveniente de las aguas residuales de la industria de curtiembre* [Tesis de grado, Universidad de el Salvador]. Recuperado de: [http://ri.ues.edu.sv/20508/1/Elaboraci%C3%B3n%20de%20un%20material%20biosorbente%20a%20partir%20de%20la%20c%C3%A1scara%20de%20pl%C3%A1tano%20\(musa%20sp.\)%20para%20ser%20utilizado%20en%20la%20remoci%C3%B3n%20de%20cromo%20VI%20proveniente%20de%20las%20aguas%20residuales%20de%20la%20industria%20de%20curtiemb](http://ri.ues.edu.sv/20508/1/Elaboraci%C3%B3n%20de%20un%20material%20biosorbente%20a%20partir%20de%20la%20c%C3%A1scara%20de%20pl%C3%A1tano%20(musa%20sp.)%20para%20ser%20utilizado%20en%20la%20remoci%C3%B3n%20de%20cromo%20VI%20proveniente%20de%20las%20aguas%20residuales%20de%20la%20industria%20de%20curtiemb) re.pdf
- Hernández-Vidal, N.E., López-Bautista, V., Morales-Morales, V., Méndez-Ordoñez, W., y Calderón-Osorio, E. (2018). Caracterización química de la Fibra de Coco (*Cocus nucifera L.*) de México utilizando Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR). *Rev. Ingeniería y Región vol.20*. Recuperado de: DOI 10.25054/22161325.1914
- Higia. (2014). Tratamiento Primario de las Aguas Residuales. Recuperado de: <https://www.higiaiberica.com/noticias/tratamiento-primario-de-las-aguas-residuales/>

- Kurniawan, A e Ismadji, S. (2011). Potential utilization of *Jatropha curcas* L. press-cake residue as new precursor for activated carbon preparation: Application in methylene blue removal from aqueous solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. pp 826-83
- López Fernández, C. (2020). Tiñendo el mundo de contaminación. Recuperado de: <https://www.vidasostenible.org/tiñendo-el-mundo-de-contaminacion/>
- López, I. (2019). Conoce los principales contaminantes del agua y sus consecuencias. *Science of the Total Environmental*. Recuperado de: <https://transferencia.tec.mx/2019/10/01/conoce-los-principales-contaminantes-del-agua-y-sus-consecuencias/>
- López V y Crespi, M. (2015). Gestión de los efluentes de la industria Textil. Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/87574/Gesti%C3%B3n%20efluentes%20textiles%20Num18.pdf>
- Luna, D., Gonzáles, A., Gordon, M. y Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *ContactoS 64*. Universidad Autónoma de México. Recuperado de: [http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon\\_v2.pdf](http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon_v2.pdf)
- Manahan, S. E. (2006). Introducción a la Química Ambiental. Reverté. Recuperado de: [https://books.google.com/books?id=5NR8DIk1n68C&printsec=frontcover&dq=\(Manahan,+2006\)&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiW-Mymu-bxAhUeGDQIHRIOC9gQ6AEwAHoECAgQAq](https://books.google.com/books?id=5NR8DIk1n68C&printsec=frontcover&dq=(Manahan,+2006)&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiW-Mymu-bxAhUeGDQIHRIOC9gQ6AEwAHoECAgQAq)
- Marín Pesántez, D.G. (2017). *Evaluación de la remoción de ibuprofeno mediante Biosorción en tallos de rosas y posos de café* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Recuperado de: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28648/4/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

- Martín-González, M.A., Susial, P., Pérez-Peña, J y Doña-Rodríguez, J.M. (2013). Preparación de carbones activados a partir de hojas de platanera mediante activación química con ácido fosfórico: Adsorción de azul de metileno, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(23). Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382013000300021&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382013000300021&script=sci_abstract)
- Medina, J., Guerrero, M.M. (2014). Obtención de carbón activado de la pirólisis catalítica de hule de llanta y pruebas de adsorción mediante un método indirecto. *Investigación y Ciencia*, 22(63), pp. 24-31. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo-oa?id=>
- Mohamad, N., Lau, L. C., Lee, K.T. y Mohamed, A.R. (2013). Synthesis of activated carbón from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control-a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4). 658-666
- Mondragón Cortez, P.M. (2017). Espectroscopía de Infrarrojo para todos y 51 espectros de alimentos consumidos en México. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Recuperado de: <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/394>
- Mondragón Cortez, P.M. (2020). Análisis de los espectros de infrarrojo. En principios y aplicaciones de la espectroscopía de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas, Guadalajara, CIATEJ. Recuperado de: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/743>
- Mora, C. P., Tello, M. E., & Martínez, F. (2006). Validación de una metodología analítica para la cuantificación de naproxeno en estudios de reparto líquido/líquido mediante espectrofotometría ultravioleta. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 35(1), 81–105.

- Mota, A.D. (2019). *Remoción del colorante Azul Directo 71 en disolución acuosa mediante columnas empacadas con Phanerochaete chrysosporium inoculado sobre cáscara de tamarindo* [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Recuperado de: [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/1806](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1806)
- Noguera, B. (2020). Proceso de fabricación del carbón activado. Recuperado de: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/05/carbon-activado.html>
- Noriega, S. (2019). *Programa de educación ambiental, orientados a prevenir la contaminación de cuerpos de agua* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Educación]. Recuperado de: <https://repositorio.une.edu.pe/handle/UNE/3976>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Agua. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pacheco, A.R. (2021). *Remoción de azul plata con carbón activado térmicamente evaluación de la remoción del tinte capilar azul plata en una muestra de agua utilizando carbón activado obtenido a partir de cáscaras de bananas* [Tesis de grado, Universidad de la Costa CUC]. Recuperado de: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8560/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20remoci%C3%B3n%20del%20tinte%20capilar%20azul%20plata%20en%20una%20muestra%20de%20agua%20utilizando%20carb%C3%B3n%20activado%20obtenido%20a%20partir%20de%20c%C3%A1scaras%20de%20bananas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pantoja, I. (2019). *Tratamiento de agua residual sintética contaminada con colorante negro 601 mariposa mediante moringa oleífera* [Tesis de grado, Instituto Tecnológico Superior Del Sur de Guanajuato]. Recuperado de: <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/932/1/007152DOC1.pdf>
- Pastaz, K.B.A., Insuastil, J.A.P., Trujillo, A.S.D., Arroyave, C.P.S. y Soto, C.A.P. (2018). Toxicidad de los colorantes sintéticos: de lo global al Ecuador. *Biorrefinería* 1(1). Recuperado de: <https://www.ceba.org.ec/wp-content/uploads/2021/03/Biorrefineri%C3%A1-1-40-48.pdf>

- Pérez Sáez, A.L. (2020). *Empleo de residuos agroindustriales o urbanos como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en muestras de agua* [Tesis de grado, Universidad de Jaén]. Recuperado de: <http://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/12335>
- Ponce, D.G. (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* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Recuperado de: <http://repositorio.undac.edu.pe/>
- ProMéxico. (2016). *Plataforma de la industria de la moda*. México. Gobierno Fácil. Recuperado de: <https://gobiernofacil.com/proyectos/plataforma-promexico>
- Ramírez Corrales, L. C. y Lozano Caycedo, L. (2020). Principios físicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología. *Nova*, 18(33), 73-100 <https://doi.org/10.22490/24629448.3701>
- Ramírez Gómez, L. E. (2017). Química 2 “La química del medio ambiente y de la contaminación”. Por Leopoldo Eugenio Ramírez Gómez. Recuperado de: <https://leopoldorg.wixsite.com/quimica/product-page/qu%C3%ADmica-2-la-qu%C3%ADmica-del-medio-ambiente-y-de-la-contaminaci%C3%B3n>
- Ramírez Panti, R.I. (2021). *Preparación de composito basado en óxido de grafeno y zeolita aplicado como material adsorbente en colorantes textiles* [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/4425>

Ramis, J. (2019). Aguas residuales urbanas. Elearning. (p.71). Recuperado de: [https://books.google.com.mx/books?id=wMfIDwAAQBAJ&pg=PA71&lpg=PA71&dq=El+tratamiento+biol%C3%B3gico+de+las+aguas+residuales+est%C3%A1+basado+en+la+generaci%C3%B3n+de+un+h%C3%A1bitat+artificial,+para+el+mantenimiento+de+una+poblaci%C3%B3n+de+microorganismos+\(bacterias,+protozoos\)+y+peque%C3%B1os+macroorganismos+\(an%C3%A9lidos,+nematodos\).&source=bl&ots=uvGRsKtrNm&sig=ACfU3U3nkyLuRTMij6tEsLNV2BKqsbJmvg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwic\\_ISdztinxAhURLKwKHTBuBA4Q6AEwAnoECAIQAw](https://books.google.com.mx/books?id=wMfIDwAAQBAJ&pg=PA71&lpg=PA71&dq=El+tratamiento+biol%C3%B3gico+de+las+aguas+residuales+est%C3%A1+basado+en+la+generaci%C3%B3n+de+un+h%C3%A1bitat+artificial,+para+el+mantenimiento+de+una+poblaci%C3%B3n+de+microorganismos+(bacterias,+protozoos)+y+peque%C3%B1os+macroorganismos+(an%C3%A9lidos,+nematodos).&source=bl&ots=uvGRsKtrNm&sig=ACfU3U3nkyLuRTMij6tEsLNV2BKqsbJmvg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwic_ISdztinxAhURLKwKHTBuBA4Q6AEwAnoECAIQAw)

Ramos, B. (2020). *Obtención de colorante natural a partir de la remolacha forrajera (beta vulgaris L. ssp. vulgaris var crassa) para teñido de fibra de ovino* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Recuperado de: Repositorio Institucional Universidad Nacional del Altiplano <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13309>

Ranjan, P., Prakash, K., Kumar, S. (2018). Light controlled receptors for heavy metal ions. *Coordination Chemistry Reviews* 3(57) 18-49. Recuperado de: Doi: 10.1016/j.ccr.2017.11.010

Rincón, J.F., Rincón, P.G., Torres, E., Mondragón, A.G., Sánchez, M.E., Arana, A., Ortiz, A. y Jiménez, E. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera L.*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1(2) 279-284. Recuperado de: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/49.pdf>

Rios Camara, J.A. (2018). *Eficiencia del Carbón Activado a base de Cáscara de coco (Cocos nucifera) en la remoción de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) para mejorar la Calidad del Aire, 2018* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe>

- Rios Elizalde, P.E. (2014). *Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banana maduro en polvo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Recuperado de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1579>
- Ripoll Santamaría, L. (2020). *Estudio de colorantes y acabados naturales sobre productos textiles* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/152028>
- Rodríguez, F. A., Letón, G. P., Rosal, G. R., Dorado, V. M., Villar, F. M. y Sanz, G. J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Recuperado de: [https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2\\_Tratamientos\\_avanzados\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
- Rojas-Morales, J.M. y Colina-Andrade, G.J. (2016). Obtención y Caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(4), pp.453-462. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.11.005>
- Rojas, R., Rutiaga, J. y Márquez, F. (2020). Adsorción de amoníaco en carbón activado de *pinus tropicalis* de Pinar del Río. *Avances*, 22(2), 277-289. Recuperado de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/541/1613>
- Rojas-Valencia, O.G., Estrada-Flores, M., Reza-San-Germán, C.M., Torres-Santillán, E., Hernández-Fuentes, J. y Ledezma-Martínez, Y.L. (2020). Effect of thermal treatment of activated carbon fiber felt for reuse in removal of methyleneblue from a synthetic wastewater. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(3), pp. 1515-1526.

- Romero, V. (2017). Materiales poliméricos provenientes de residuos vegetales, usados en síntesis de adsorbentes para remoción de iones metales y colorantes presentes en aguas residuales [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Recuperado de: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/2357/Materiales%20polim%C3%A9ricos%20provenientes%20de%20residuos%20vegetales%2C%20usados%20en%20s%C3%ADntesis%20de%20adsorbentes%20para%20remoci%C3%B3n%20de%20iones%20met%C3%A1licos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubinson K.A. y Rubinson J.F. (2000). "Análisis Instrumental", Ed. Pearson Educación, 2000. Recuperado de: <https://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/tablasIR.htm>
- Savin, A. (2019). (Espectroscopía): Espectroscopía de Infrarrojo. Recuperado de: <https://www.quimicaorganica.org/blog-usuarios-quimica-organica/924-espectroscopia-de-infrarrojo.html>
- Serrano Martínez, J.L (2017). Espectroscopía Infrarroja 1-Fundamentos [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/>
- Sierra, C.A. (2021). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Ediciones de la U. Recuperado de: <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568>
- Solís-Fuentes, J.A, Morales-Téllez, M, Ayala-Tirado, R. C., Durán-de-Bazúa, M.D.C. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27(1), pp. 36-48. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C. Monterrey, México.

- Tejeda, L., Tejeda, C., Marimón, W. y Villabona, Á. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. Luna Azul, 39, pp. 124-142 Universidad de Caldas Manizales, Colombia. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190924742014000200008&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190924742014000200008&script=sci_abstract&tlng=es)
- Tongpoothorn, W., Sriuttha, M., Homchan, P., Chanthai, S. y Ruangviriyachai, C. (2011). Preparation of activated carbon derived from *Jatropha curcas* fruit shell by simple thermo-chemical activation and characterization of their physico-chemical properties. Chemical Engineering Research and Design. p. 335-340.
- Torres, A. L. y Vanegas, G. J. (2018). Evaluación de la capacidad de adsorción de la corteza de naranja (*Citrus sinensis*), bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y borra de café (*Coffea arabica*) para la remoción del colorante azul brillante FCF. Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14019>
- Torres-Pérez, J., Gerente, C. y Andrés, Y. (2012). Conversion of agricultural residues into activated carbons for water purification. Application to arsenate removal. J. Environ. Sci. Health A., 47(8), 1173-1185. Recuperado de: DOI: 10.1080/10934529.2012.668390
- Tutivén, B.A. (2020). *Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (Musa paradisiaca L.) para su uso en remoción de contaminantes en agua de pozo* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Recuperado de: Repositorio institucional.
- Valencia, E.J. e Ibarra, E. (2021). Origen y domesticación del plátano: un cultivo de gran importancia para México. Recuperado de: <https://origenydomesticación/del.platano/México.org.com>

Valenzuela-Padilla, A. A. y Torres-Pérez, J. (2020). Remoción de colorantes azoicos (A5 y R40) con carbón activado de cáscara de nuez. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21(3), 00007. Recuperado de: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21.3.027>

Vences, E. (2014). *Modificación de carbón activado con La (III) para la remoción de fluoruros del agua* [Tesis de grado, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. México]. Recuperado de: <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/635/3/TMIPICY-TV4M62014.pdf>

Yachas Tena, E.J. (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 I.E. San Andrés de Paragsha - Simón Bolívar 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Recuperado de: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1444>

Yang, J. y Ke-Qiang, Q. (2009). Preparation of activated carbon by chemical activation under vacuum. *Environ Sci Technol*, 143(9):3385-90. Recuperado de: doi: 10.1021/es8036115

Zaruma Arias, P.E., Proal Nájera, J.B., Chaires Hernández, I. y Salas Ayala, H. I. (2018). Los Colorantes Textiles Industriales y Tratamientos Óptimos De Sus Efluentes De Agua Residual: Una Breve Revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, Recuperado de: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/221>

