



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

## FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

### COLEGIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE  
COLORANTES TEXTILES POR DOS CARBONES ACTIVADOS  
DE ORIGEN AGRÍCOLA

Tesis para obtener el título de:  
LICENCIADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

FERNANDO MARIO BERRA GASCA

DIRECTOR:

D.C. GABRIELA PÉREZ OSORIO

Puebla, Pue.

Septiembre, 2023.

## Índice

<b>Introducción</b> .....	6
<b>Objetivos de la investigación</b> .....	8
• General.....	8
• Particulares.....	8
<b>Hipótesis</b> .....	8
<b>Capítulo 1. Antecedentes</b> .....	9
1.1 Importancia del agua.....	9
1.2 Parámetros fisicoquímicos .....	10
1.3 Calidad del agua .....	15
1.4 Contaminación del agua.....	16
1.5 Colorantes.....	18
1.6 Proceso de adsorción .....	24
1.7 Economía circular .....	28
1.8 Técnicas de caracterización.....	32
<b>Capítulo 2. Metodología</b> .....	34
2.1 Preparación del carbón activado.....	34
2.2 Proceso de adsorción de colorantes .....	34
2.3 Análisis de la capacidad de adsorción por espectrofotometría UV-vis .....	39
2.4 Caracterización del carbón activado por espectroscopía IR.....	40
2.5 Recuperación de agua de los residuos por evaporación. ....	40
<b>Capítulo 3. Discusión de resultados</b> .....	41
3.1 Rendimiento de obtención de carbón activado .....	41
3.2 Comparación de las etapas de adsorción.....	42
3.3 Porcentaje de decoloración del azul terasil y anaranjado de metilo.....	46
3.4 Identificación de los cambios estructurales de los carbones activados .....	50
3.5 Pruebas fisicoquímicas al agua recuperada.....	53
<b>Capítulo 4. Conclusiones</b> .....	57
Referencias .....	58

## Índice de Contenido: Tablas

<b>Tabla 1:</b>	Clasificación del ICA.....	16
<b>Tabla 2:</b>	Clasificación de colorantes según su estructura química.....	20
<b>Tabla 3:</b>	Propiedades generales y químicas del colorante azul terasil.....	23
<b>Tabla 4:</b>	Propiedades generales y químicas del colorante anaranjado de metilo....	24
<b>Tabla 5:</b>	Composición química de la cáscara de cacahuate.....	31
<b>Tabla 6:</b>	Composición química de la cáscara de plátano.....	32
<b>Tabla 7:</b>	Rendimiento de producción de carbón activado.....	42
<b>Tabla 8:</b>	Porcentaje de decoloración en azul terasil para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate y plátano.....	47
<b>Tabla 9:</b>	Porcentaje de decoloración en anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate y plátano.....	47
<b>Tabla 10:</b>	Isotermas de Freundlich de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de coco y de plátano.....	49
<b>Tabla 11:</b>	Datos obtenidos con potenciómetro de muestras de agua recuperada...	54

## Índice de Contenido: Figuras e imágenes

<b>Figura 1:</b>	Tipos de contaminantes del agua.....	18
<b>Imagen 1:</b>	Interacción de un grano de carbón activado con un contaminante orgánico y agua.....	26
<b>Imagen 2:</b>	Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón.....	27

<b>Imagen 3:</b> Muestras de 100 mL de solución acuosa de azul terasil y 0.5 g de cada carbón activado cacahuate y plátano.....	36
<b>Imagen 4:</b> Filtración de solución acuosa con anaranjado de metilo y CAC.....	37
<b>Imagen 5:</b> Muestras de CAC y CAP después de ser secadas.....	37
<b>Imagen 6:</b> Solución acuosa de anaranjado de metilo a 10 ppm antes de agregar carbón activado para segundo etapa.....	38
<b>Imagen 7:</b> Muestras de 100 mL de solución acuosa de anaranjado de metilo con 0.3757 g y 0.3480 g de CAC y CAP.....	39
<b>Imagen 8:</b> Muestra de solución acuosa de anaranjado de metilo en el siguiente orden de izquierda a derecha – muestra original, CAP AM 1, CAP AM 2, CAP AM 3.....	40
<b>Imagen 9:</b> Muestra de solución acuosa de azul terasil en el siguiente orden de izquierda a derecha – muestra original, CAC AT 1, CAC AT 2.....	40
<b>Imagen 10:</b> Muestra de CAC siendo analizado en espectroscopio Spectrum One..	41
<b>Imagen 11:</b> Equipo de evaporación con muestras.....	41
<b>Imagen 12:</b> Residuo y agua separados por evaporación.....	55
<b>Imagen 13:</b> Muestra de agua recuperada.....	55

### Índice de Contenido: Gráficas

<b>Gráfica 1:</b> Espectro de absorción de azul terasil para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate.....	43
<b>Gráfica 2:</b> Espectro de absorción de azul terasil para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de plátano.....	44

<b>Gráfica 3:</b> Espectro de absorción de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate.....	45
<b>Gráfica 4:</b> Espectro de absorción de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de plátano.....	46
<b>Gráfica 5:</b> Isotherma de Freundlich de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate.....	50
<b>Gráfica 6:</b> Isotherma de Freundlich de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de plátano.....	50
<b>Gráfica 7:</b> Comparación del espectro IR entre el carbón activado de cacahuate inicial, azul terasil y anaranjado de metilo.....	52
<b>Gráfica 8:</b> Comparación del espectro IR entre el carbón activado de plátano inicial, azul terasil y anaranjado de metilo.....	53
<b>Gráfica 9:</b> Comparación del espectro UV-vis entre la muestra de anaranjado de metilo 10 ppm y el agua recuperada por medio de evaporación.....	56
<b>Gráfica 10:</b> Comparación del espectro UV-vis entre la muestra de azul terasil 5 ppm y el agua recuperada por medio de evaporación.....	57

## Introducción

El color en aguas residuales es el principal contaminante que a simple vista se logra identificar, esto es debido a los colorantes aplicados en diferentes procesos. Podemos definir un colorante como una sustancia que es capaz de conceder color a otro material o sustancia. Dichas sustancias incluyen pigmentos y colorantes, y su principal y más distintiva diferencia es la solubilidad que tienen: mientras que los pigmentos son compuestos con una solubilidad muy baja casi nula, los colorantes presentan una gran solubilidad; estos últimos son utilizados principalmente en fibras textiles.

Los colorantes están formados por un grupo de átomos responsables del color (cromóforos). Los grupos cromóforos más comunes son los azo ( $-N=N-$ ), carbonilo ( $C=O$ ), metilo ( $-CH_3$ ), nitro y grupos quinoides (Cortázar, 2014).

El vertido de aguas residuales contaminadas por colorantes representa un grave problema ambiental y de salud pública. La eliminación del color, especialmente de las aguas residuales textiles, ha sido un gran desafío en las últimas décadas, y hasta ahora no existe un tratamiento único y económicamente atractivo que pueda decolorar los colorantes de manera efectiva (Dos-Santos, 2007).

La presencia de colorantes en el agua no solamente es un problema estético, sino que además interfieren en el proceso fotosintético que realizan algunos organismos (Soares, 2002). La principal consecuencia ambiental derivada del color presente en aguas de ríos y lagos se debe a la reducción de la transparencia y la disminución del oxígeno disuelto, debido a que altas cargas de color dificultan la función fotosintética de las plantas. Adicionalmente, algunos problemas asociados a los efluentes textiles son debidos a la presencia de metales pesados o azufre, que producen problemas ambientales debido a su naturaleza tóxica (López, 2020).

Las tecnologías de adsorción han mostrado gran aceptación en cuanto a la reducción de la presencia de colorantes y metales pesados en el agua, logrando una mayor presencia en técnicas de tratamiento de efluentes textiles. La adsorción es una técnica con múltiples beneficios como su versatilidad, conveniencia y

sencillez, siendo el carbón activado el adsorbente ideal para eliminar diversos contaminantes presentes en agua (Vallardes-Cisneros, 2016). Además, la adsorción genera impactos más bajos que técnicas como la ozonización, ósmosis inversa y UV, por lo que es considerada una mejor opción a largo plazo ya que consume menos electricidad (Li, 2019). Por la alta capacidad de adsorción de materia orgánica, el carbón activado es el material adsorbente mayormente utilizado (Vallardes-Cisneros, 2016). En comparación con otros métodos de tratamiento de aguas residuales, el proceso de adsorción de carbón activado obtenido de residuos agrícolas ha demostrado ser más frecuente, eficaz y más fácil de configurar experimentalmente (Tan, 2007).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de adsorción de dos colorantes textiles, siendo estos el azul terasil y el anaranjado de metilo, utilizando carbón activado obtenido de residuos agrícolas (cáscaras de cacahuate y de plátano), las cuales fueron secadas y activadas químicamente con solución de ácido fosfórico al 2% para posteriormente ser calcinadas en mufla a 550°C. Una vez obtenidos los carbones activados, se realizaron 3 etapas de adsorción para cada colorante y se evaluó la capacidad de adsorción mediante espectrofotometría UV-vis, utilizando la máxima absorbancia de los espectros del azul terasil y del anaranjado de metilo para determinar el porcentaje de decoloración obtenido en cada una de las etapas de adsorción. Para el azul terasil, los porcentajes de decoloración en la primera etapa fue de 80% y 60% con el carbón activado a partir de cáscara de plátano y de cacahuate respectivamente; mientras que para el anaranjado de metilo se obtuvo un porcentaje de decoloración en la primera etapa de 95.81% y 83.97% con el carbón activado a partir de cáscara de plátano y de cacahuate respectivamente. En cuanto a la segunda etapa del azul terasil, se obtuvo un porcentaje de decoloración de 20% y 40% con el carbón activado a partir de cáscara de plátano y de cacahuate respectivamente; mientras que para la tercera etapa del anaranjado de metilo se obtuvo un porcentaje de decoloración de 52.26% para ambos carbones activados.

## Objetivos de la investigación

- General
  - Evaluar la capacidad de adsorción de dos colorantes textiles utilizando carbón activado obtenido de residuos agrícolas: cáscara de cacahuate y cáscara de plátano.
  
- Particulares
  - Obtener carbón activado por medio de activación química con solución de ácido fosfórico a partir de cáscara de cacahuate y de plátano.
  - Determinar la capacidad de adsorción de ambos carbones activados en soluciones acuosas sintéticas de azul terasil y anaranjado de metilo por espectrofotometría UV-vis.
  - Caracterizar ambos carbones activados por espectroscopía de infrarrojo (IR) antes y después de las etapas de adsorción.
  - Recuperar el agua utilizada en las etapas de adsorción mediante evaporación por radiación solar.

## Hipótesis

La cáscara de cacahuate y de plátano son residuos óptimos para obtener carbón activado con capacidad de adsorber colorantes textiles en un medio acuoso.

## Capítulo 1. Antecedentes

### 1.1 Importancia del agua

El agua es una molécula fuertemente bipolar y que atrae a otras moléculas de agua y forma agregados a través de uniones conocidas como puentes de hidrógeno, los cuales son responsables de las propiedades que posee esta sustancia. Es el único líquido inorgánico que se encuentra en la naturaleza y que se presenta en los tres estados físicos: sólido, líquido y gaseoso (Romero, 1999).

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. En las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente (SEMARNAT, 2013).

Se calcula que en el planeta existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 2.5% corresponden a agua dulce, localizada principalmente en ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos. Cerca de tres cuartas partes del agua dulce está contenida en los glaciares y mantos de hielo, de los cuales aproximadamente 97% son prácticamente inaccesibles, pues se encuentran en la Antártica, el Ártico y Groenlandia. No obstante, muchos de los glaciares continentales, así como el hielo y las nieves perpetuas de volcanes y cadenas montañosas constituyen una fuente importante de recursos hídricos para muchos países. Las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen menos del uno por ciento del agua dulce no congelada. En los lagos del mundo se almacenan más de 40 veces lo contenido en ríos y arroyos (91,000 frente a 2,120 km<sup>3</sup>) y aproximadamente nueve veces lo almacenado en los pantanos y humedales (SEMARNAT, 2016).

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente (ONU, 2022).

## 1.2 Parámetros fisicoquímicos

### **Olor**

El agua carece de olor, es decir, es inodora. En el caso que el agua presente olor, puede ser debido a que presenta lo siguiente: productos químicos inestables, materia orgánica en descomposición, plancton (algas y protozoos) y/o bacterias. El olor en el agua puede interpretarse como indicador de contaminación de esta, ya sea por la presencia de algún producto químico o a causa de un proceso de eutrofización (Romero, 1999).

### **Color**

El color en el agua puede deberse a la presencia del contenido natural de metales o iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales. Por lo general, se elimina el color para cualquier propósito de uso del agua. Es por ello, importante la determinación de color en aguas naturales (NMX-AA-045-SCFI-2001).

### **Temperatura**

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Debido a su estrecha influencia tanto en reacciones químicas y velocidades de reacción, como en el desarrollo de la vida acuática, la temperatura del agua es un parámetro muy importante.

Es un indicador de la calidad del agua y está estrechamente relacionado con parámetros de grado de saturación de oxígeno disuelto, actividad biológica, valor de saturación del carbonato de calcio, conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (Romero, 1999).

### **Materia flotante**

La materia flotante de mayor densidad en los cuerpos de agua es originada por fuentes antropogénicas, surge por la constante aglomeración de las poblaciones y en consecuencia al aumento desmesurado de la industria. La materia flotante es un indicador de la calidad del agua y este denomina a cualquier objeto visible, sin importar su composición o forma (Romero, 1999).

### **Sólidos suspendidos totales**

Los sólidos suspendidos totales tienden a ser productos de la erosión del suelo, detritus orgánico (residuos que provienen de la descomposición de fuentes orgánicas) y plancton. El limo y la arena son usualmente los sólidos suspendidos que generan más impurezas visibles. Estos sólidos suspendidos consisten en partículas pequeñas que pueden ser relacionadas con la turbidez y claridad del agua (Romero, 1999).

### **Turbidez**

La turbidez del agua se debe a la presencia de partículas en suspensión, como arcillas, cieno, materia orgánica e inorgánica finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton, sedimentos procedentes de la erosión y microorganismos. Las partículas suspendidas en el agua absorben la luz y como consecuencia el agua se torna con un aspecto nublado. La turbidez es un parámetro indicador de la calidad del agua puesto que prueba la eficacia de la filtración para determinar si existen o no organismos que puedan provocar enfermedades (Romero, 1999).

### **pH**

La concentración del ion hidrógeno es importante debido a que afecta y tiene influencia con las reacciones químicas en el agua y, por consiguiente, con muchos sistemas biológicos. El pH es medido en una escala que va de 0 a 14, donde el 7 representa un valor neutro; los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida, mientras que los que se encuentran por

encima de 7 indican que una sustancia es básica. El pH del agua se mide con el fin de conocer la acidez o basicidad que presenta para poder así, establecer un parámetro de calidad del agua para distintos usos y actividades agrícolas (Romero, 1999).

### **Acidez**

La acidez en el agua es definida como la capacidad de esta para neutralizar bases, reaccionar con iones hidróxido y ceder protones. La acidez representa el contenido total de sustancias ácidas. En general, la acidez en el agua se puede deber a las siguientes causas:

- Presencia de CO<sub>2</sub>
- Presencia de H<sup>+</sup> (acidez mineral)
- Sales minerales disueltas
- Hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil.

La acidez se determina en el laboratorio mediante titulación con una base (Romero, 1999).

### **Alcalinidad**

La alcalinidad en el agua es definida como la capacidad de esta para neutralizar ácidos, reacciones con iones de hidrógeno y aceptar protones. La alcalinidad representa el contenido total de sustancias alcalinas. En general, la alcalinidad en el agua se puede deber a la presencia de los siguientes compuestos:

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos

Determinar la alcalinidad en el agua es importante para procesos de ablandamiento, control de corrosión, coagulación química y evaluación de la capacidad tampón del agua. La alcalinidad se determina en el laboratorio mediante titulación con un ácido fuerte (Romero, 1999).

## **Conductividad**

La conductividad del agua es una expresión numérica y denota la capacidad de esta para transportar corriente eléctrica. Dicho parámetro depende de la concentración total de las sustancias ionizadas que se encuentran disueltas en el agua, así como de la temperatura. La determinación de conductividad representa una importancia alta ya que genera una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada o de procesos (Romero, 1999).

## **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno gaseoso que se encuentra disuelto en el agua. Los niveles de oxígeno disuelto pueden ser interpretados como un indicador de que tan contaminada se encuentra el agua y cuán bien puede esta agua dar soporte a la vida vegetal y animal. En general, un nivel más alto de oxígeno disuelto (de 8 a 12 ppm) indica agua de mejor calidad. Este parámetro es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas y otros organismos. El oxígeno disuelto es consumido durante la degradación de materia orgánica presente en el agua, de hecho, muchas muertes de peces no se deben a la toxicidad directa de los contaminantes, sino a la deficiencia de oxígeno debido al consumo en la biodegradación de los contaminantes por parte de bacterias.

El oxígeno disuelto está relacionado con dos factores: la temperatura y la materia orgánica. Si la temperatura y la materia orgánica aumentan, el oxígeno disuelto disminuye. Cuando esta condición se cumple, se dice que el cuerpo de agua presenta condiciones anaeróbicas, lo cual da lugar a una eutrofización.

La eutrofización crea múltiples problemas, entre los que se encuentran la generación de zonas de hipoxia, también conocidas como “zonas muertas”, que reducen la biodiversidad y florecimientos algales que generan problemas de sabor y olor, que amenazan la seguridad del agua potable y el abasto de alimentos acuáticos, que estimulan la liberación de gases de efecto

invernadero y que degradan los valores sociales y culturales que estos cuerpos de agua (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2020).

### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) se define como la cantidad de oxígeno requerido para oxidar materia orgánica e inorgánica en una muestra de agua, se entiende entonces que la DQO es la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en un cuerpo de agua que es susceptible a ser oxidada mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumido es expresada en términos de su equivalencia en oxígeno: mg/L de O<sub>2</sub> (Romero, 1999).

### **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno es una estimación de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de cinco días. Las condiciones a las que se lleva a cabo la prueba son tales que favorecen el desarrollo de microorganismos, sin embargo, inhibe los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno. Entonces, la DBO<sub>5</sub> es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20°C (Romero, 1999).


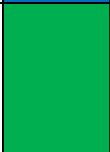
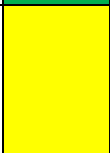

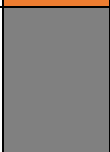
### 1.3 Calidad del agua

La calidad del agua se puede definir como la medición de sus propiedades (biológicas, químicas y físicas) del líquido, las cuales son de gran importancia y de conocimiento esencial para aprovechar de manera eficiente y segura el líquido. Para poder obtener esta medición, estándares de calidad específicos son definidos en función del uso que se le planea dar al cuerpo de agua.

#### **Índice de calidad del agua**

Llamado ICA por sus siglas, este refleja el grado de contaminación del agua y es denotado en términos de porcentaje de agua pura, de tal forma de que un agua con condiciones óptimas tendrá un ICA cercano al 100%, mientras que, con el aumento del grado de contaminación del agua, el porcentaje irá disminuyendo hasta poder llegar a un valor cercano o igual a cero (SEMARNAT, Compendio de estadísticas ambientales, 2013).

**Tabla 1: Clasificación del ICA. Fuente: modificado de SNET, 2003.**

Calidad del agua	Color	Valor del ICA	Interpretación
Excelente		91 – 100 %	Permite el desarrollo de vida acuática y es apta para el contacto humano.
Buena		71 – 90 %	Permite el desarrollo de vida acuática y es apta para contacto humano.
Regular		51 – 70 %	Limita el desarrollo de vida acuática y puede ser una amenaza para el contacto humano.
Mala		26 – 50 %	Limita el desarrollo de vida acuática y es una amenaza para el contacto humano.
Pésima		0 – 25 %	Limita el desarrollo de vida acuática y es una amenaza para el contacto humano.

## 1.4 Contaminación del agua

Se puede definir como contaminación del agua o hídrica a la presencia de sustancias y componentes químicos de otra naturaleza en una densidad superior a la situación natural, de modo que no reúna las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural (Zarza, 2010).

En países en desarrollo, alrededor del 90% de aguas residuales son descargadas sin tratamiento directamente en ríos, lagos u océanos y aproximadamente, de manera global, dos millones de toneladas de residuos industriales, domésticos y agrícolas, son vertidos en cuerpos de agua. Actualmente, el mundo enfrenta una crisis mundial de calidad de agua; el crecimiento exponencial de población y urbanización, rápida industrialización, y la intensiva producción de alimentos agregan una presión considerablemente alta a las fuentes de agua e incrementan las descargas sin regulación o ilegales de agua contaminada sin tratamiento (Corcoran, 2010).

### **Tipos de contaminantes**

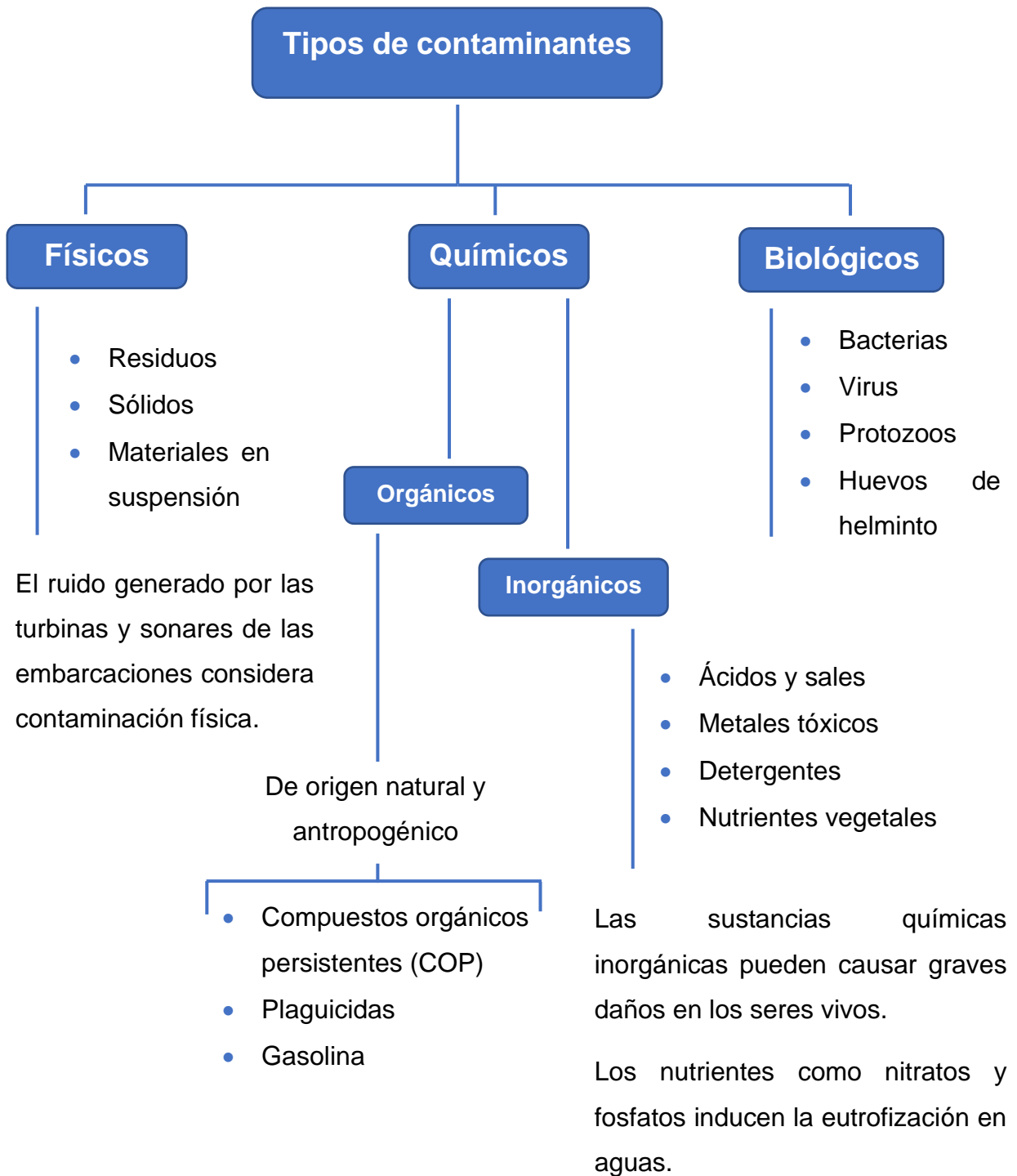
En la figura 1 se muestra una clasificación de los tipos de contaminantes del agua por su origen y composición, junto con algunos ejemplos de cada uno.

#### Contaminantes persistentes

Son sustancias químicas que, al ser difíciles de degradar, resultan ser acumulables en la cadena trófica, permaneciendo en el medio ambiente. Esto de lugar a la bioacumulación de contaminantes lo cual representa una amenaza para el medio ambiente y la salud humana.

#### Contaminantes recalcitrantes

Son aquellos contaminantes que, por tener una estructura muy estable químicamente, son resistentes al ataque de microorganismos o de cualquier mecanismo de degradación, sea biológico o químico (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2012)



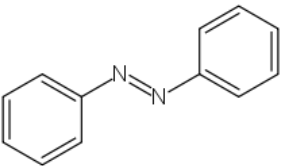
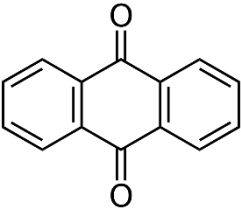
**Figura 1: Tipos de contaminantes del agua.**

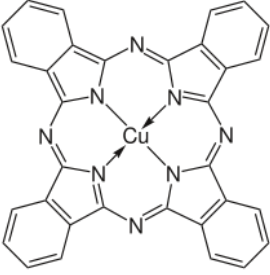
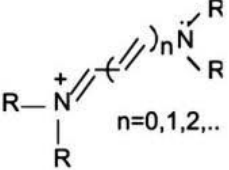
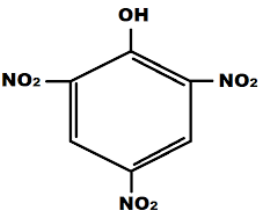
## 1.5 Colorantes

Un colorante se define como un compuesto orgánico que otorga un color al ser aplicado en un sustrato, el colorante es aplicado en disolución y el sustrato presenta cierta afinidad para absorberlo. Dicho sustrato es por lo regular fibra textil, sin embargo, también puede ser cuero, papel, plástico o alimento. Los colorantes cuentan con un grupo cromóforo y uno auxocromo. Los cromóforos son grupos o arreglos de átomos dentro de la molécula que absorben energía en la región visible del espectro, siendo así los causantes del color. Existen dos tipos de cromóforos: Los cromóforos fuertes (por ejemplo: azo [- N = N -]), los cuales simplemente requieren la presencia de un grupo de ellos dentro de la molécula para poder conferir el color, y los cromóforos débiles (por ejemplo: carbonilo [- C = O -]), los cuales solo son capaces de conferir color cuando se encuentran presentes varios de ellos dentro de la molécula. Los auxocromos son grupos que no conceden color, sin embargo, gracias a sus electrones libres se unen a los grupos cromóforos y modifican la capacidad de este para absorber la luz, intensificando y/o alterando su color o la tonalidad de este. Algunos ejemplos de grupos auxocromos son el grupo hidroxilo (-OH), el grupo aldehído (-CHO) y el grupo amino (-NH<sub>2</sub>). Los colorantes tienen que cumplir con propiedades indispensables, como lo son la fijación sobre el sustrato (usualmente fibra textil) y resistencia al lavado a la luz. Es debido a esto que además de tener presentes los grupos cromóforos y auxocromos, se les agregan más grupos funcionales (Sanz, 2015).

Los colorantes pueden ser clasificados de acuerdo con su estructura química, la cual se puede observar en la tabla 2:

**Tabla 2: Clasificación de colorantes según su estructura química. Modificado de (Zaruma, 2018).**

Familia	Grupo Cromóforo	Descripción
Azoicos		<p>Los colorantes azoicos son los más consumidos y se caracterizan por la presencia de un grupo azo (-N=N-) en la molécula que une, al menos, dos anillos aromáticos. El grupo azo tiene 6 electrones "móviles" (deslocalizados) que a su vez están deslocalizados con los anillos aromáticos adyacentes (Sanz, 2015).</p> <p>Gracias a su sencilla síntesis y a su versatilidad, este grupo de colorantes es el más importante dentro de la industria textil, con una elaboración aproximada del 70% de los colorantes orgánicos.</p>
Antraquinonas		<p>Su característica estructural común es la presencia de uno o más grupos hidroxilo, carbonilo, cetónicos y/o amino. Los colorantes antraquinónicos se obtienen a partir de la antraquinona, la cual presenta un color amarillo pálido, pero la presencia en la molécula de grupos dadores de electrones permite obtener coloraciones muy diversas. Los colorantes de antraquinona se utilizan en casi todos los tipos de fibras (Sanz, 2015).</p>

Ftalocianina		<p>Comprende una clase de cianinas en las cuales se repite la unidad de diaminoisindolinas. En ellas se cumple que un grupo metino (-CH=) se sustituye por un átomo de nitrógeno, y a través de todo el sistema periférico hay deslocalización de electrones formando una estructura de tetrabenzoporfirina, que es estabilizada por un núcleo metálico: cobre (principalmente), cobalto, níquel, estaño, hierro, magnesio, etc. Son estructuras conocidas como [18]-Anulenos (hay 18 átomos periféricos) (Marcano, 2018)</p>
Ion arilcarbonio		<p>Su estructura química está conformada por un átomo carbonilo unido a dos o tres anillos aromáticos.</p>
Polimetino		<p>Se clasifican en tintes neutros, catiónicos y aniónicos. En los extremos de su cadena poseen un grupo donador y un sustractor de densidad electrónica.</p>
Nitro		<p>Son un grupo de colorantes incoloros cuando se encuentran aislados. Su absorción se encuentra muy cerca del campo visible por combinación de grupos auxocromos débiles, adquiriendo una tonalidad amarillenta.</p>

El *Colour Index* (CI) es una base de datos de referencia editado por la Sociedad de Tintoreros y Coloristas (SDC por sus siglas en inglés) y la Asociación Americana de Químicos Textiles y Coloristas (AATCC por sus siglas en inglés), la cual es aceptada de manera internacional por fabricantes y usuarios de colorantes. A cada uno de los colorantes se le asigna un nombre y número (de cinco dígitos) CI, de esta manera, cada colorante cuenta con un CI único. De igual manera, como sistema internacional, cada colorante cuenta con un número de registro CAS en el *Chemical Abstract*, la cuál es una publicación periódica de rubro químico.

Alrededor de 700,000 toneladas de colorantes sintéticos son producidos anualmente y se estima que el 10-15% de dichos colorantes son vertidos en efluentes durante procesos de tinción. Los procesos de tinción son una preocupación ambiental principalmente para la industria textil por numerosas razones: el proceso de tinción utiliza altas cantidades de agua, grandes cantidades de sales son necesarias para mejorar la fijación del colorante en el material textil y varios colorantes contienen metales pesados (Al-Ghouti, 2010).

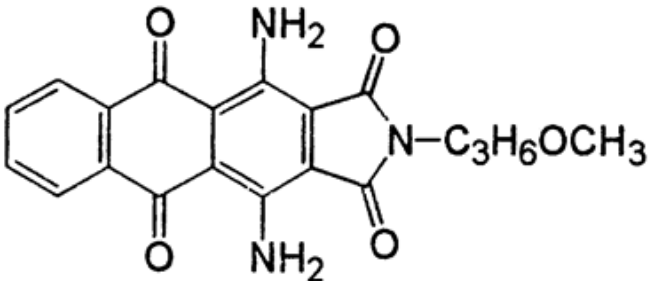
## Azul terasil

También conocido como “azul disperso 60” (CI) es un colorante que se puede utilizar para la impresión de tejidos de mezcla de poliéster y algodón directamente. También se puede utilizar para teñir triacetina (aditivo alimenticio). Es utilizado principalmente como colorante en la industria textil para fibras sintéticas (INTERNATIONAL, 2020).

En la Tabla 3 se muestran algunas de las propiedades generales y químicas de dicho colorante, así como su estructura molecular.

**Tabla 3: Propiedades generales y químicas del colorante azul terasil.**

**Fuente:** (World Dye Variety, 2012)

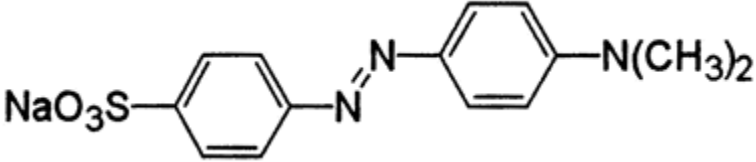
Nombre: Azul disperso 60	
C.I: 61104	C.A.S: 12217-80-0/56548-64-2
Fórmula molecular: C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub>	Peso molecular: 379.37
Estructura molecular: Antraquinónico	

## Anaranjado de metilo

También conocido como “naranja ácido 52” (CI), este colorante es un azocompuesto, perteneciendo así al grupo de colorantes de mayor uso en la industria textil. Además de su uso como colorante textil, el anaranjado de metilo también es empleado como indicador de pH (debido a la claridad en el cambio de color que se produce) y como patrón para estudios de oxidación de efluentes textiles (Jiménez S. , 2018).

En la Tabla 4 se muestran algunas de las propiedades generales y químicas de dicho colorante, así como su estructura molecular.

**Tabla 4: Propiedades generales y químicas del colorante anaranjado de metilo. Fuente:** (World Dye Variety, 2012)

Nombre: Naranja ácido 52	
C.I: 13025	C.A.S: 547-58-0
Fórmula molecular: C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> N <sub>3</sub> NaO <sub>3</sub> S	Peso molecular: 327.34
Estructura molecular: Clase Azo Única	

## 1.6 Proceso de adsorción

La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material, teniendo como resultado la formación de una película de adsorbato en la superficie del adsorbente.

La adsorción se basa en la retención física de las moléculas de colorante en la superficie del adsorbente que se utilice. La eficacia del proceso de adsorción está influenciada por una gran variedad de parámetros, entre ellos la interacción entre el colorante y el adsorbente, la superficie específica de éste, el tamaño de la molécula de colorante, la temperatura, el pH y el tiempo de contacto. Así pues, es fundamental el tipo de adsorbente elegido. Un adsorbente muy utilizado es el carbón activado, aunque también se emplean otros adsorbentes inorgánicos (Castelló, 2017).

Existen dos tipos de adsorción, la química y la física.

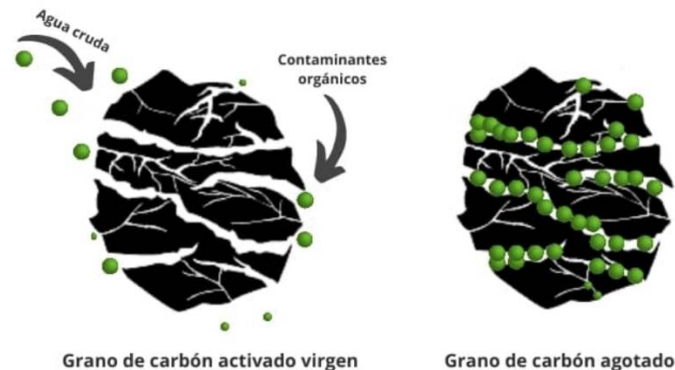
**Adsorción química:** Este método combina la carbonización y la activación en un solo paso. El proceso por esta vía se realiza de forma simultánea en dos pasos, ya que el precursor se mezcla con agentes de activación que cumplen la función de actuar como agentes deshidratantes y oxidantes a la vez, lo cual resulta en el desarrollo de mejores estructuras porosas en los carbones activados. Los agentes químicos comúnmente utilizados en este método de activación son  $ZnCl_2$ ,  $KOH$ ,  $H_3PO_4$ ,  $K_2CO_3$  y  $H_2SO_4$  (Ioannidou, 2007).

**Adsorción física:** La adsorción física está causada principalmente por las fuerzas de Van der Waals así como por fuerzas electrostáticas, dándose estas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente. Estos adsorbentes están caracterizados principalmente por las propiedades de la superficie, como su área superficial y polaridad. Este proceso puede ser lento o rápido, dependiendo mucho de la composición del adsorbente, del adsorbato y de la temperatura (Manjarrez, 2007).

## Carbón activado

El carbón activado es considerado un adsorbente muy versátil debido a que el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados y ajustados para satisfacer y cumplir ciertos requisitos dependiendo de la finalidad del trabajo experimental. Los carbones activados comerciales son preparados a partir de materiales precursores con un alto contenido en carbono, especialmente, materiales orgánicos como, madera, huesos, cáscaras de semillas de frutos, como también, carbón mineral, breas, turba y coque (Luna, 2007).

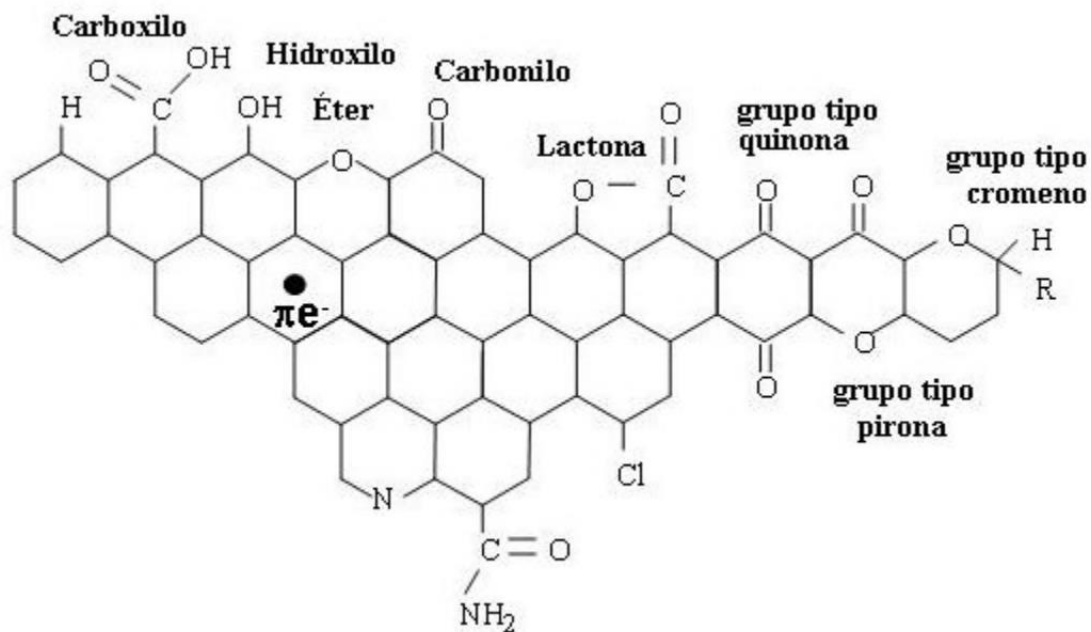
En la imagen 1 ilustra una representación de la interacción que tiene el carbón activado con algún contaminante en un medio acuoso:



**Imagen 1: Interacción de un grano de carbón activado con un contaminante orgánico y agua. (Carbotecnia, 2023)**

La superficie de los carbones puede encontrarse combinada en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbono (heteroátomos), dando lugar a diferentes grupos funcionales (Sevilla, 2009).

En la imagen 2 se pueden observar algunos de los principales grupos funcionales que se pueden encontrar:



**Imagen 2: Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón (Sevilla, 2009)**

El interés por este tipo de material se basa en algunas de sus propiedades:

- Estabilidad térmica
- Resistencia al ataque ácido
- Carácter esencialmente hidrófobo (esto quiere decir que repele el agua)
- Costo relativamente bajo
- Estructura porosa

Por tal razón, en los últimos años ha aumentado considerablemente el número de investigaciones en lo que concierne a su síntesis, y a sus diversas aplicaciones, como en la separación de gases y en la industria en general (Luna, 2007).

**Isotermas de adsorción:** Las relaciones de equilibrio de adsorción, comúnmente llamadas isotermas de adsorción, relacionan las concentraciones del compuesto adsorbido en cada una de las fases. Las isotermas se obtienen experimentalmente poniendo en contacto cantidades conocidas de adsorbente con el compuesto de interés, y graficando las concentraciones resultantes de cada fase. Estos resultados pueden ser expresados matemáticamente ajustando los datos experimentales a una o más relaciones matemáticas o modelos de isotermas. Se han desarrollado varios modelos para describir estas relaciones, entre los más utilizados se encuentran los modelos de Langmuir, Freundlich y Brunauer, Emmet y Teller (modelo BET) (Freeman, 1989)

**Isotermas de adsorción:** La isoterma de adsorción de Freundlich, originalmente fue propuesta como una ecuación empírica y se utiliza para describir los datos de adsorbentes heterogéneos tales como el carbón activado (Crittenden, 2005)

Este modelo se representa como:

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n_f} \log C_e$$

Donde:

$Q_e$ : Capacidad de adsorción

$K_f$ : Constante del sistema

$n_f$ : Constante del sistema

$C_e$ : Concentración de soluto

## 1.7 Economía circular

La Economía Circular (EC) es un sistema de aprovechamiento de recursos donde se considera la reducción de los elementos: disminuir la producción al mínimo indispensable y cuando sea necesario hacer uso del producto, por lo que se deben reutilizar los elementos que, por sus propiedades, no pueden volver al medio ambiente. Es una alternativa que busca redefinir qué es el crecimiento, enfatizando los beneficios para toda la sociedad, genera oportunidades económicas y de negocios, además, proporciona beneficios ambientales y sociales. El concepto reconoce lo importante que es el funcionamiento de la economía en cualquier nivel, tanto en grandes y pequeños negocios, como en las organizaciones e individuos, de manera global y local (PROFECO, 2021).

La EC exige contemplar desde el principio todo el circuito de la cadena de valor: uso de los materiales, diseño del producto, forma y modelo de producción, consumo energético, modelo de consumo y distribución, reparación y reutilización, volver de nuevo al circuito del proceso productivo y cerrar el círculo (PROFECO, 2021).

Actualmente existe una abundante generación de residuos agrícolas y, tomando en cuenta la economía circular, pueden ser utilizados como precursores y materia prima para procesos de control de la contaminación del agua. El procesamiento industrial de los productos del campo genera subproductos y/o residuos que pueden ser fuentes importantes de diversos compuestos químicos y otros productos como glúcidos, pigmentos, fibra, proteína, polifenoles, lignina, etc., potencialmente útiles y con mayor valor agregado (Moldes, 2002). Los residuos/materiales lignocelulósicos han sido utilizados ampliamente para la elaboración de carbón activado ya que presentan una adecuada capacidad de adsorción, entre estos se pueden mencionar las cáscaras de diversas frutas, la fibra de coco, la cáscara de plátano, la cáscara de arroz, así como también el bambú y aserrín de maderas, el bagazo de la caña de azúcar, entre otros muchos materiales biológicos (Solís-Fuente, 2012).

## **Residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos son biodegradables, esto se refiere a que son sustancias o materiales que puede ser descompuesto por organismos vivos. Se componen naturalmente y tiene la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica. Los residuos orgánicos se componen de restos de comida y restos vegetales de origen domiciliario (Málaga, 2019).

El aprovechamiento de los residuos orgánicos da lugar a múltiples beneficios tanto en ámbitos ambientales, de salud y económicos. Los beneficios ambientales: pueden ser transformados en materia prima para procesos de tratamiento, contribuyen a la recuperación de suelos degradados, dan lugar a una facilidad de transición hacia modelos de agricultura orgánica al disminuir la utilización de recursos naturales como tierra negra y petróleo para la creación de fertilizantes sintéticos, etc.

## **Cáscara de cacahuete**

La cáscara de cacahuete presenta una superficie externa rugosa, delgada y frágil; por debajo de ella se ubica una malla de estructura más fibrosa que actúa como material de soporte de esta primera capa. Esta estructura en red se encuentra adherida a una segunda capa, situada en la parte interna de la cáscara, esta capa tiene una superficie más lisa y compacta, con un aspecto más poroso y un color más claro. El tamaño de la cáscara es variable y se encuentra en función de la cantidad de granos que ésta pueda alojar (entre 17 – 50 mm), y posee un espesor promedio de 0.75 mm. Debido a su geometría cóncava, la cáscara permite que una gran cantidad de aire se aloje en su interior dando por resultado un bajo peso específico (Jiménez P. d., 2019).

La cáscara de cacahuete ha sido utilizada como precursor de carbón activado para procesos de adsorción de colorante R-40 por el autor Jonatan Torres. En dicha investigación, se evaluó la capacidad de adsorción de un carbón activado alternativo para la eliminación de un colorante azoico (R-40) en un proceso de adsorción en

columna. Se realizó en un sistema en continuo por medio de columnas empacadas con un lecho fijo de carbón activado de cáscara de cacahuate.

Mediante flujo ascendente se hizo pasar el contaminante en el adsorbente, logrando una remoción en la concentración inicial del colorante. El proceso de adsorción en columna fue eficiente para la remoción del colorante R-40 en medio acuoso utilizando un carbón activado sustentable (Torres-Pérez, 2019).

En la tabla 5 se puede observar la composición química de la cáscara de cacahuate según distintos autores:

**Tabla 5: Composición química de la cáscara de cacahuate.**

**Fuente: modificado de Jiménez, 2019.**

Componentes	Lig. <sup>1</sup> (%)	Cel. <sup>2</sup> (%)	Ex. <sup>3</sup> (%)	Cen. <sup>4</sup> (%)	Vol. <sup>5</sup> (%)	CF <sup>6</sup> (%)	PC <sup>7</sup> (kcal/k g)	H. <sup>8</sup> (%)	DA <sup>9</sup> (kg/ m <sup>3</sup> )
Autores									
Giller y Silvetri	-	68.8	-	4.2	-	-	-	-	-
Woodroof	27.0	35.0	14.0	2	-	-	-	-	-
Yeboha <i>et al.</i>	33.0	45.0	-	4	-	33.5	-	-	-
Guler <i>et al.</i>	28.0	42.5	18.0	-	-	-	-	-	-
Akgul y Tozluoglu	28.0	-	18.0	-	-	-	-	-	-
Oliveira <i>et al.</i>	36.1	44.8	-	-	-	-	-	-	-
Boonmee	35.2	22.1	-	-	-	-	-	-	-
Jaishankar <i>et al.</i>	28.0	37.0	-	-	-	-	-	-	120- 140
Jiménez <i>et al.</i>	34.0	42.6	3.0	2.9	74.1	22.3	4533	10.4	49.26
Lignina; (2) celulosa; (3) extractivos; (4) cenizas; (5) volátiles; (6) carbón fijo; (7) poder calorífico; (8) humedad; (9) densidad aparente.									

### Cáscara de plátano

La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio (Emaga, 2007). Varios autores han analizado el efecto de los compuestos antioxidantes presentes en cáscara de plátano, para identificar el efecto sobre los radicales libres los cuales se producen

continuamente en nuestro organismo ya sea de manera natural o por el estrés ambiental, así como otros factores relacionados con muchas enfermedades como el cáncer, aterosclerosis, artritis, enfermedad de Parkinson y Alzheimer (Blasco, 2014).

En una investigación en Ecuador se analizó la capacidad de adsorción y porcentaje de remoción en muestras de agua del Río Duale con carbón activado a partir de cáscara de plátano. El carbón activado resultó excelente en cuanto a la remoción de metales pesados, especialmente el arsénico, con más del 95.8% de remoción. Así mismo para remover el 100% de coliformes totales (Navarrete, 2014).

En la Tabla 6 se muestra la caracterización de la cáscara de plátano:

**Tabla 6: Composición química de la cáscara de plátano** Fuente especificada no válida.

<b>Parámetro</b>	<b>Porcentaje %</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Mg/g</b>
Carbono	36.69	Calcio, Ca <sup>+2</sup>	3.22
Hidrógeno	3.98	Sodio, Na <sup>+</sup>	1.25
Nitrógeno	0.69	Potasio, K <sup>+</sup>	25.11
Azufre, ppm	0.12	Hierro, Fe <sup>+2</sup>	0.47
Cenizas	7.20	Cobre, Cu <sup>+2</sup>	0.55
Pectina	2.84	Magnesio, Mg <sup>+2</sup>	1.33
Lignina	18.11	Cromo, Cr <sup>+3</sup>	0.00034
Celulosa	20.90		
Hemicelulosa	7.92		

## 1.8 Técnicas de caracterización

**UV-vis:** La espectrofotometría UV-vis es una técnica de caracterización analítica que se encarga de medir la longitud de onda discreta de luz UV o visible que es transmitida o absorbida a través de una muestra, esta normalmente es comparada con una muestra de referencia también llamada “blanco”. De acuerdo con la sustancia a medir, la muestra absorberá parcialmente los rayos de luz ultravioleta o visible. Lo que resta de la luz, es decir, la luz transmitida, será registrada como una función de la longitud de onda mediante un detector adecuado. El detector produce entonces el espectro UV-vis único de la muestra el cuál se le conoce también como “espectro de absorción” (Tom, 2021).

Aunque esta técnica no puede proporcionar la identificación inequívoca de un compuesto orgánico, el espectro de absorción en las regiones ultravioleta y visible es útil para detectar la presencia de ciertos grupos funcionales que actúan como cromóforos. Las espectrofotometrías de longitud de onda dual han demostrado ser muy útiles sobre todo en la obtención de espectros de absorción en las regiones ultravioleta /visible de analitos presentes en soluciones turbias, en las que la dispersión de la luz elimina los detalles de un espectro de absorción (Skoog, 2008)

Con el fin de monitorear la capacidad de adsorción de ambos carbones activados utilizados en el presente trabajo, esta técnica fue utilizada para analizar las soluciones acuosas de las muestras contaminadas por los colorantes textiles originales, así como las muestras de las 3 etapas a realizar. Esta técnica nos arrojará datos como la absorbancia y la longitud de onda los cuales formaran parte para generar gráficas de espectros de absorción.

**Análisis FTIR:** Infrarrojo Transformado de Fourier (FTIR) es una técnica de análisis espectroscópica que utiliza una parte del espectro electromagnético. Concretamente, longitudes de onda entre los 2,500 nanómetros (nm) y los 25,000 nm. El espectro del Infrarrojo medio (2,500 – 25,000 nm) es una banda muy ancha en comparación, por ejemplo, con el Infrarrojo cercano (800 – 2,500 nm). Debido a que el espectro generado por un analizador FTIR está basado en multitud de datos,

esto proporciona una representación muy exacta del espectro de la muestra que se está analizando (Mills, 2018)

El análisis FTIR funciona de la siguiente manera:

- La luz emitida por una Fuente que produce todo el espectro completo de longitudes de onda se hace pasar por un dispositivo llamado Interferómetro.
- El Interferómetro modifica la luz de una manera particular que permite el consiguiente procesamiento de datos.
- El haz de luz atraviesa la muestra y esta absorbe parte de la energía.
- Al otro lado, un detector recibe el haz de luz que deja pasar la muestra y lo envía a un ordenador.
- El PC procesa toda la información, infiere cuál es la absorción correspondiente a cada longitud de onda y genera un espectro utilizando la técnica de la Transformada de Fourier.

La identificación de un compuesto orgánico a partir de un espectro de este tipo es un proceso que consta de dos etapas. En la primera se determina qué grupos funcionales son los que tienen más probabilidad de estar presentes al examinar la región de frecuencias de grupo, que abarca la radiación comprendida entre  $3600\text{ cm}^{-1}$  y  $1250\text{ cm}^{-1}$  aproximadamente. La segunda etapa consiste en comparar con detalle el espectro del compuesto desconocido con los espectros de compuestos puros que contienen todos los grupos funcionales que se encontraron en la primera etapa. En este caso es particularmente útil la región de la huella dactilar, comprendida entre  $1200\text{ cm}^{-1}$  y  $600\text{ cm}^{-1}$ , debido a que pequeñas diferencias en la estructura y la constitución de una molécula causan cambios importantes en el aspecto y la distribución de las bandas en esta región. Por tanto, una gran similitud en la región de huella dactilar (así como en otras) de los espectros de dos compuestos constituye una evidencia casi certera de que son idénticos (Skoog, 2008).

Los datos obtenidos nos permiten generar gráficas y poder identificar “picos” o “bandas”, las cuales nos facilitan la identificación de grupos funcionales presentes en las muestras.

## Capítulo 2. Metodología

### 2.1 Preparación del carbón activado

1. Se colectaron cáscaras de cacahuete y de plátano, las cuales fueron expuestas al sol hasta lograr el secado de la materia.
2. Se trituraron ambas cáscaras hasta obtener 25 g de cada una.
3. Se agregaron los 25 g de muestra seca en una solución con ácido fosfórico de concentración al 2%.
4. La solución se puso en agitación durante 2 horas a 70°C.
5. Se filtraron las muestras.
6. Las muestras fueron calcinadas en la mufla a 550°C durante 1 hora.
7. Las muestras de carbón activado fueron sometidas a lavados con agua desionizada, poniéndolas en agitación durante 1 hora a 50°C.
8. Se filtraron las muestras.
9. Las muestras fueron sumergidas en agua desionizada y se midió el pH. Se repitieron los lavados hasta obtener un pH de 5.
10. Una vez que se alcanzó el pH deseado, las muestras de carbón activado fueron sometidas a un secado en la estufa durante 2 horas a 105°C.
11. Las muestras fueron tamizadas con un tamiz de apertura de 0.0083 pulgadas.

La nomenclatura utilizada fue la siguiente:

- CAC – carbón activado de cacahuete
- CAP – carbón activado de plátano

### 2.2 Proceso de adsorción de colorantes

Se prepararon dos soluciones acuosas con los colorantes elegidos con las siguientes concentraciones:

- Azul terasil – 5 ppm
- Anaranjado de metilo – 10 ppm

## 1° ETAPA

1. Se colocaron 100 ml de solución acuosa de azul terasil (AT) a 5 ppm, en vasos de precipitados con 0.5 g de carbón activado de cacahuate (CAC) y de plátano (CAP), por separado (Imagen 3).



**Imagen 3:** Muestras de 100 mL de solución acuosa de azul terasil y 0.5 g de cada carbón activado cacahuate (izquierda) y plátano (derecha).

2. Se colocaron 100 ml de solución acuosa de anaranjado de metilo (AM) a 10 ppm, en vasos de precipitados con 0.5 g de carbón activado de cacahuate (CAC) y de plátano (CAP), por separado.
3. Las muestras fueron sometidas a agitación durante 24 horas.
4. Las muestras se dejaron en reposo por otras 24 horas para lograr la sedimentación del carbón activado.
5. Las muestras fueron filtradas con el fin de separar el carbón activado del agua (Imagen 4).



**Imagen 4:** Filtración de solución acuosa con anaranjado de metilo y CAC

6. El agua que fue sometida al proceso de adsorción fue almacenada en recipientes transparentes y fue rotulada como “CAC AT 1” y “CAP AT 1”; así como “CAC AM 1” y “CAP AM 1”.
7. Las muestras de carbón activado fueron sometidas a un secado en la estufa a una temperatura de 125°C durante 1 hora (Imagen 5).



**Imagen 5:** Muestras de CAC (izquierda) y CAP (derecha) después de ser secadas.

8. Las muestras de carbón activado fueron pesadas con el fin de registrar algún cambio o pérdida de masa.

## 2° ETAPA

1. Se colocaron 100 ml de solución acuosa de azul terasil (AT) a 5 ppm, en vasos de precipitados con 0.2595 g de CAC y 0.3527 g de CAP, por separado.
2. Se colocaron 100 ml de solución acuosa de anaranjado de metilo (AM) a 10 ppm, en vasos de precipitados con 0.3854 g de CAC y 0.3706 de CAP, por separado (Imagen 6)

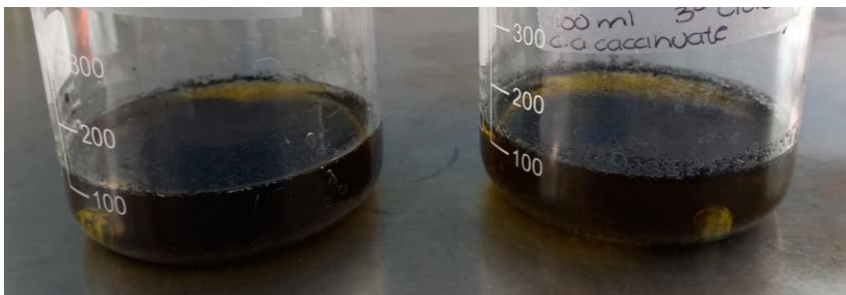


**Imagen 6:** Solución acuosa de anaranjado de metilo a 10 ppm antes de agregar carbón activado para segunda etapa.

3. Las muestras fueron sometidas a agitación durante 24 horas.
4. Pasadas las 24 horas, las muestras se dejaron en reposo por otras 24 horas para lograr la sedimentación del carbón activado.
5. Las muestras fueron filtradas con el fin de separar el carbón activado del agua.
6. El agua que fue sometida al proceso de adsorción fue almacenada en recipientes transparentes y fue rotulada como “CAC AT 2” y “CAP AT 2”; así como “CAC AM 2” y “CAP AM 2”.
7. Las muestras de carbón activado fueron sometidas a un secado en la estufa a una temperatura de 125°C durante 1 hora.
8. Las muestras de carbón activado fueron pesadas con el fin de registrar algún cambio o pérdida de masa.

### 3° ETAPA

1. Se colocaron 100 ml de solución acuosa de anaranjado de metilo (AM) a 10 ppm, en vasos de precipitados con 0.3757 g de CAC y 0.3480 de CAP, por separado (Imagen 7).



**Imagen 7:** Muestras de 100 mL de solución acuosa de anaranjado de metilo con 0.3757 g y 0.3480 g de CAC (izquierda) y CAP (derecha)

2. Las muestras fueron sometidas a agitación durante 24 horas.
3. Pasadas las 24 horas, las muestras se dejaron en reposo por otras 24 horas para lograr la sedimentación del carbón activado.
4. Las muestras fueron filtradas con el fin de separar el carbón activado del agua.
5. El agua que fue sometida al proceso de adsorción fue almacenada en recipientes transparentes y fue rotulada como “CAC AM 3” y “CAP AM 3”.
6. Las muestras de carbón activado fueron sometidas a un secado en la estufa a una temperatura de 125°C durante 1 hora.
7. Las muestras de carbón activado fueron pesadas con el fin de registrar algún cambio o pérdida de masa.

### 2.3 Análisis de la capacidad de adsorción por espectrofotometría UV-vis

1. El equipo utilizado fue el espectrofotómetro modelo “Lambda 25”
2. El equipo fue calibrado y se realizó una prueba con un blanco de agua desionizada.
3. Se realizaron las mediciones de todas las muestras en una celda de cuarzo. El intervalo de longitud de onda elegido fue de 200 a 700 nm.
4. Una vez obtenidos los datos, fueron introducidos en el software “Origin” para poder así generar las gráficas.
5. Como referencia, se tomaron fotografías de las muestras de agua tratada junto con la muestra original con el fin de comparar la coloración y saturación del agua con el paso de las etapas (Imagen 8 y 9).



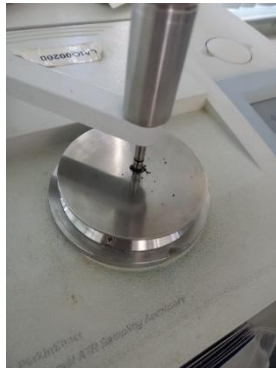
**Imagen 8:** Muestra de solución acuosa de anaranjado de metilo en el siguiente orden de izquierda a derecha – muestra original, CAP AM 1, CAP AM 2, CAP AM 3



**Imagen 9:** Muestra de solución acuosa de azul terasil en el siguiente orden de izquierda a derecha – muestra original, CAC AT 1, CAC AT 2

#### 2.4 Caracterización del carbón activado por espectroscopía IR

1. El equipo utilizado fue el espectroscopio modelo “Spectrum One”.
2. El equipo fue calibrado y se analizaron las 4 muestras de carbón activado (Imagen 10).
3. Los datos resultantes fueron graficados en el software “Origin”



**Imagen 10:** Muestra de CAC siendo analizado en espectroscopio Spectrum One

#### 2.5 Recuperación de agua de los residuos por evaporación.

1. Se montó un equipo de evaporación, utilizando bandejas de aluminio (Imagen 11).
2. El agua con colorante proveniente de las etapas de adsorción se dejó evaporar al sol.
3. El agua recuperada por evaporación fue analizada en el espectrofotómetro modelo “Lambda 25”.
4. Se midió el pH, temperatura y conductividad del agua recuperada.
5. Las muestras de sólidos (colorantes recolectados de las bandejas) fueron pesados y guardados con su respectiva etiqueta.



**Imagen 11:** Equipo de evaporación con muestras

### Capítulo 3. Discusión de resultados

#### 3.1 Rendimiento de obtención de carbón activado

Una vez tamizadas ambas muestras de carbón activado, se pesaron con el fin de calcular el rendimiento de producción de carbón activado para cada uno de los residuos orgánicos. Dicho rendimiento fue calculado con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\text{masa final}}{\text{masa inicial}} \times 100$$

**Tabla 7: Rendimiento de producción de carbón activado**

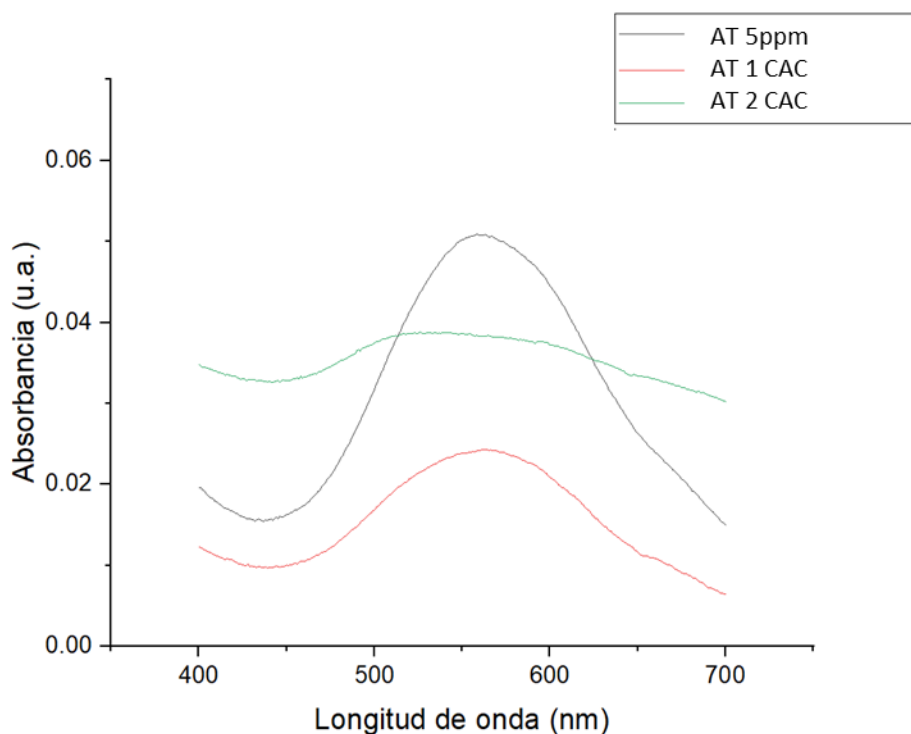
<b>Carbón activado</b>	<b>Rendimiento %</b>
Cáscara de cacahuate (CAC)	37.8088
Cáscara de plátano (CAP)	33.9824

Como se puede observar en la tabla 7, el rendimiento es mayor con la cáscara de cacahuate. Si observamos las tablas 5 y 6, se identifica que el contenido de celulosa es mayor en la cáscara de cacahuate, lo cual se interpreta como un mayor rendimiento en la producción de carbón activado.

Los autores Mayra Sánchez, Ariadna Bravo y Miriam Soriano realizaron una misma producción de CAC utilizando el mismo precursor para su activación, realizándolo a distintas concentraciones de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; sus resultados arrojaron un rendimiento del 21.1% a una concentración de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> del 50% y 17.88% a una concentración de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> del 85%, por lo que podemos interpretar que entre menos concentración del precursor se obtiene un rendimiento mayor (Sánchez, 2014)

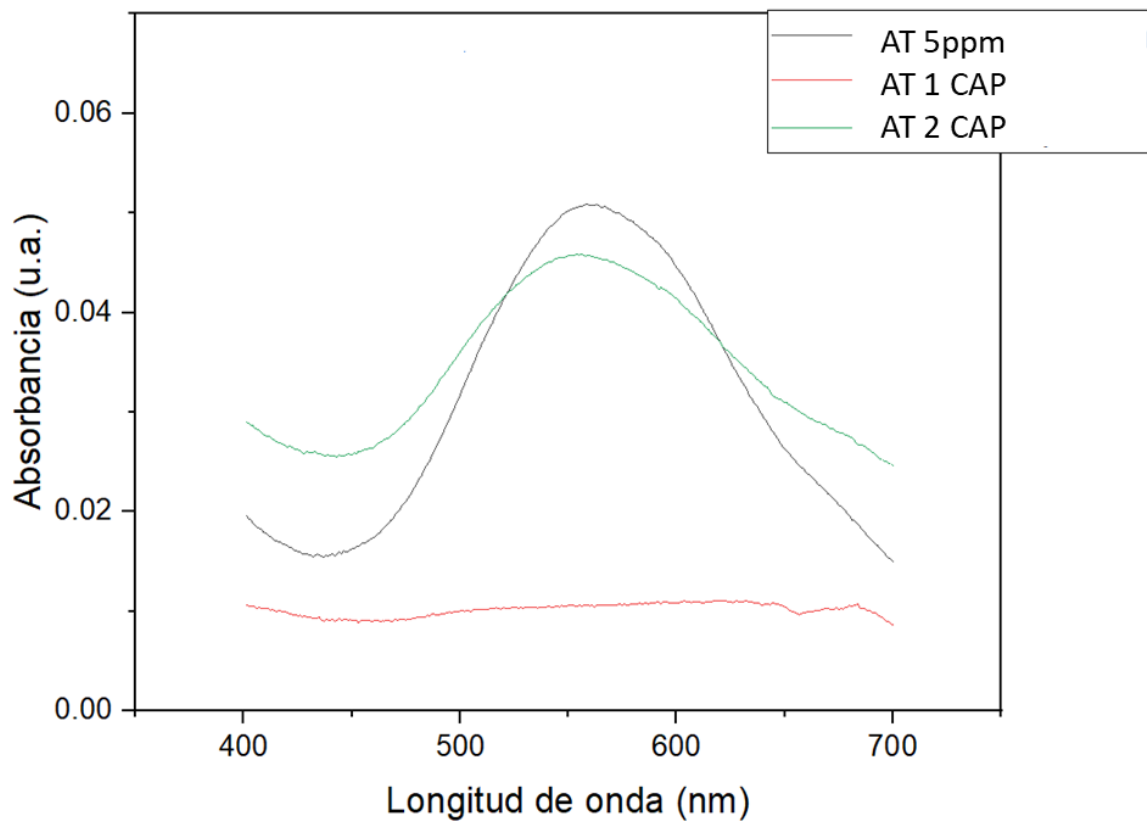
### 3.2 Comparación de las etapas de adsorción

En la gráfica 1, se observan los espectros de absorción UV-vis de azul de terasil con las dos etapas de adsorción con CAC. EL azul de terasil tiene su absorbancia máxima en 560 nm y se toma como referencia para evaluar la remoción de los colorantes con las dos etapas de adsorción del CAC. Con la primera etapa se reduce considerablemente la concentración de AT (60%), mientras que en el segundo etapa no hay adsorción notable. Lo anterior se puede considerar como una retención de moléculas del colorante AT en la estructura porosa del CAC, por lo que entre el primer y segundo etapa hay gran diferencia en el porcentaje de remoción.



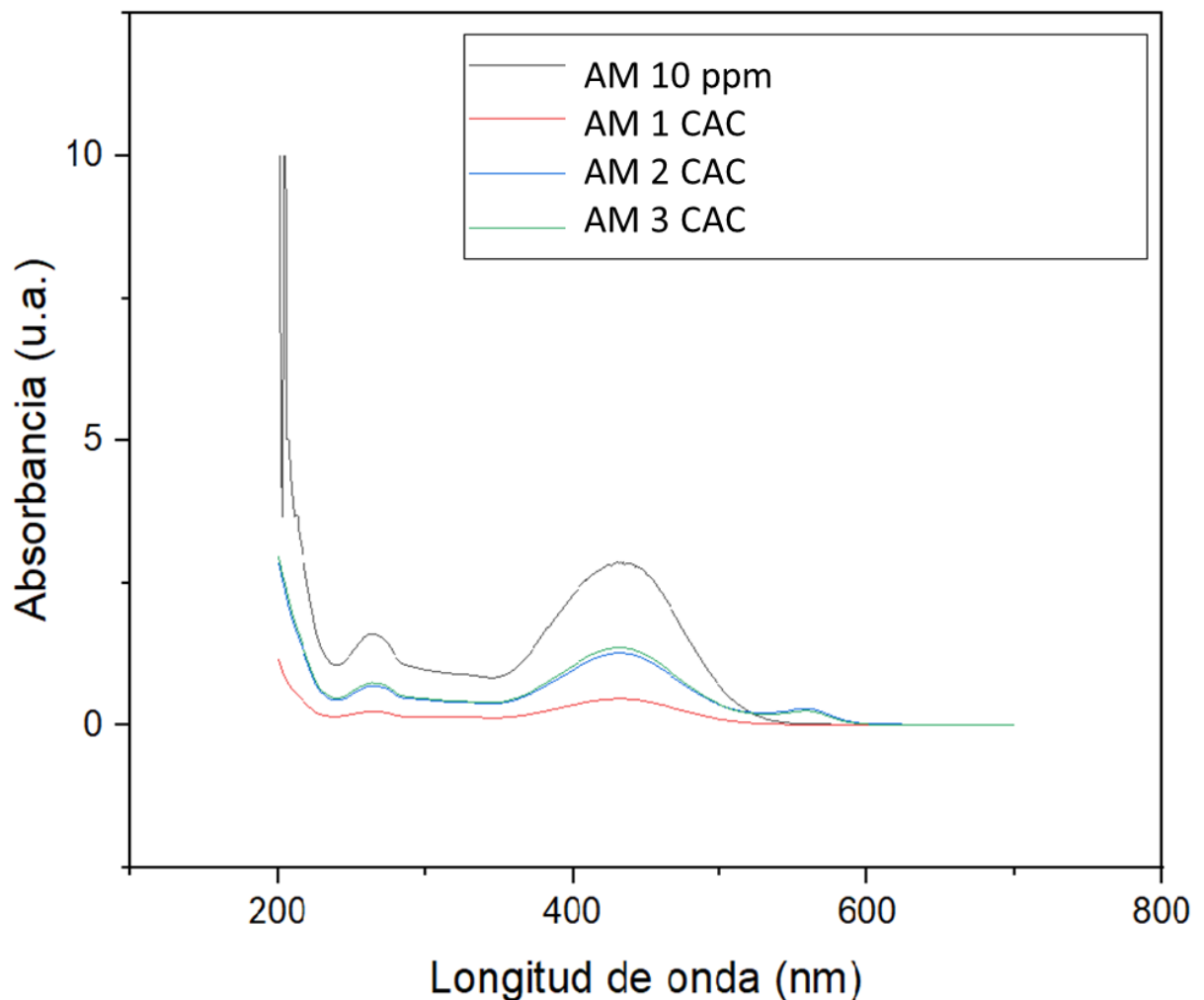
**Gráfica 1: Espectro de absorción de azul terasil para ciclos de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate**

En la gráfica 2, se observan los espectros de absorción UV-vis de azul de terasil con las dos etapas de adsorción con CAP. El azul de terasil tiene su absorbancia máxima en 560 nm y se toma como referencia para evaluar la remoción de los colorantes con las dos etapas de adsorción del CAP. Con la primera etapa se reduce considerablemente la concentración de AT (80%), mientras que en la segunda etapa no hay adsorción notable, reduciendo un porcentaje de tan solo 20%. Lo anterior, al igual que en el caso del CAC, se puede considerar como una retención de moléculas del colorante AT en la estructura porosa del CAP, por lo que entre la primera y segunda etapa hay gran diferencia en el porcentaje de remoción.



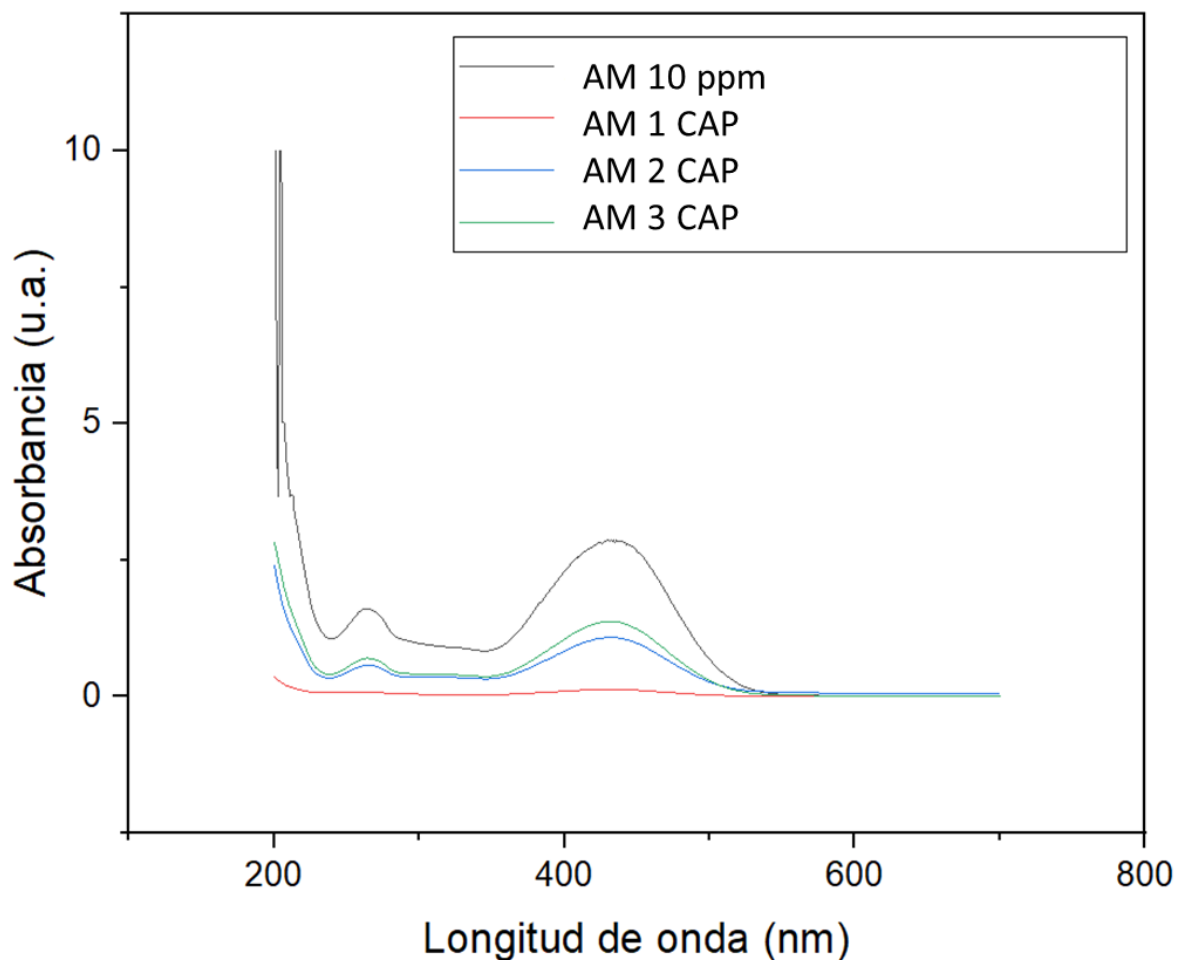
**Gráfica 2: Espectro de absorción de azul terasil para ciclos de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de plátano.**

En la gráfica 3, se observan los espectros de absorción UV-vis de anaranjado de metilo con las tres etapas de adsorción con CAC. Se observa que el anaranjado de metilo tiene su absorbancia máxima en 420 nm (banda está relacionada con el grupo azo -N=N-) y se toma como referencia para evaluar la remoción de los colorantes con las tres etapas de adsorción del CAC. De igual manera podemos observar una banda en 250 nm, la cual está relacionada con el grupo NH<sub>2</sub>. Con la primera etapa se reduce la concentración del AM un 83.97%, mientras que ya para la tercera etapa se reduce solo un 52.26%, el cual sigue siendo un buen porcentaje de remoción.



**Gráfica 3: Espectro de absorción de anaranjado de metilo para ciclos de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuete**

En la gráfica 4, se observan los espectros de absorción UV-vis de anaranjado de metilo con las tres etapas de adsorción con CAP. Se observa que el anaranjado de metilo tiene su absorbancia máxima en 420 nm y se toma como referencia para evaluar la remoción de los colorantes con las tres etapas de adsorción del CAC. Con la primera etapa se reduce la concentración del AM un 95.81%, siendo este el mejor resultado obtenido; mientras que ya para la tercera etapa se reduce solo un 52.26%, el cual sigue siendo un buen porcentaje de remoción.



**Gráfica 4: Espectro de absorción de anaranjado de metilo para ciclos de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de plátano.**

### 3.3 Porcentaje de decoloración del azul terasil y anaranjado de metilo

Se evaluó la capacidad de adsorción mediante espectrofotometría UV-vis, utilizando la máxima adsorbancia de los espectros del azul terasil y del anaranjado de metilo para determinar el porcentaje de decoloración obtenido en cada una de las etapas de adsorción. Dicho porcentaje fue calculado con la siguiente fórmula: (Echeverria, 2011)

$$D = \frac{\text{absorbancia inicial} - \text{absorbancia final}}{\text{absorbancia inicial}} \times 100$$

**Tabla 8: Porcentaje de decoloración en azul terasil para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate y plátano.**

Azul terasil		
CAC	1° etapa	60%
	2° etapa	40%
CAP	1° etapa	80%
	2° etapa	20%

**Tabla 9: Porcentaje de decoloración en anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate y plátano.**

Anaranjado de metilo		
CAC	1° etapa	83.97%
	2° etapa	55.74%
	3° etapa	52.26%
CAP	1° etapa	95.81%
	2° etapa	62.36%
	3° etapa	52.26%

Como podemos apreciar en las tablas 8 y 9, es notable que con ambos carbones activados se aprecia una buena adsorción tanto de azul terasil como de anaranjado

de metilo en la primera etapa. Sin embargo, la reducción de la capacidad de adsorción es drástica en la segunda y tercera etapa. También es notable que el CAP presenta decoloración para AT y AM considerablemente mayor que el CAC.

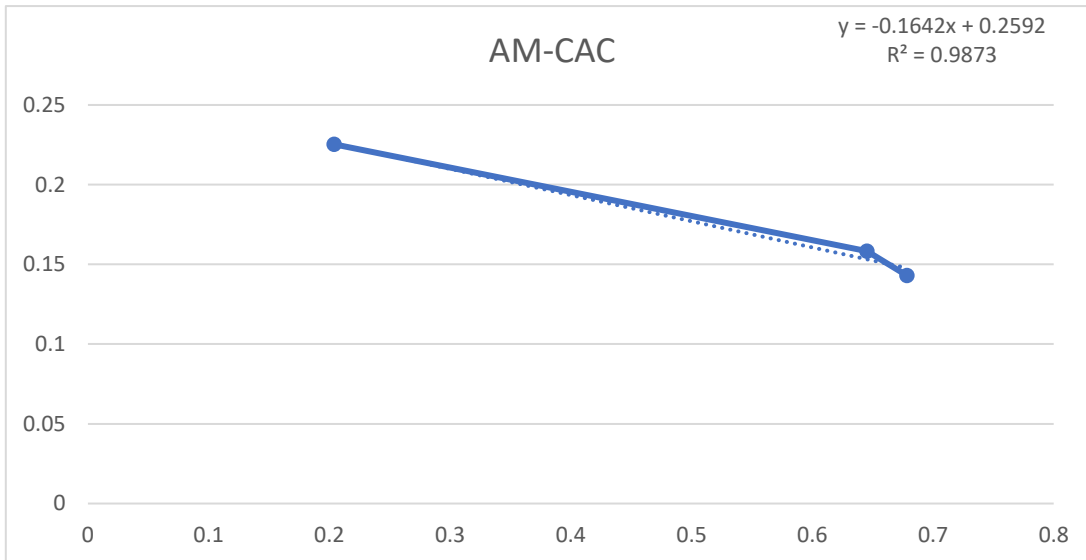
El autor Jonatan Torres realizo una prueba similar y utilizando el CAC para la adsorción de colorante R-40 (un colorante azoico) obtuvo un porcentaje de remoción de 90-100%. Dicho esto, podemos ver la afinidad del CAC para remover colorantes azoicos. En el presente trabajo, el CAC removió un mayor porcentaje del anaranjado de metilo que del azul terasil (siendo el primero un colorante azoico y el segundo antraquinónico).

En cuanto al CAP ya varios autores han demostrado su buena capacidad de adsorción de colorantes textiles. Las autoras Gabriela Andrea Peluffo Foliaco y Sharon Castro Muñoz obtuvieron en sus resultados que el CAP presentó un porcentaje de remoción de 75 - 93% para el colorante Azul Marino Directo (Peluffo, 2019); de igual manera los autores Eduardo Campos *et al.* demostraron un porcentaje de remoción de más del 90% para el colorante azul de metileno por parte de CAP (Campos, 2011). Con estos datos obtenidos en la literatura y con los obtenidos en el presente trabajo, podemos observar la gran capacidad que demuestra el CAP para remover colorantes textiles, mostrando un porcentaje de remoción de más del 50% aún después de 2 etapas de adsorción.

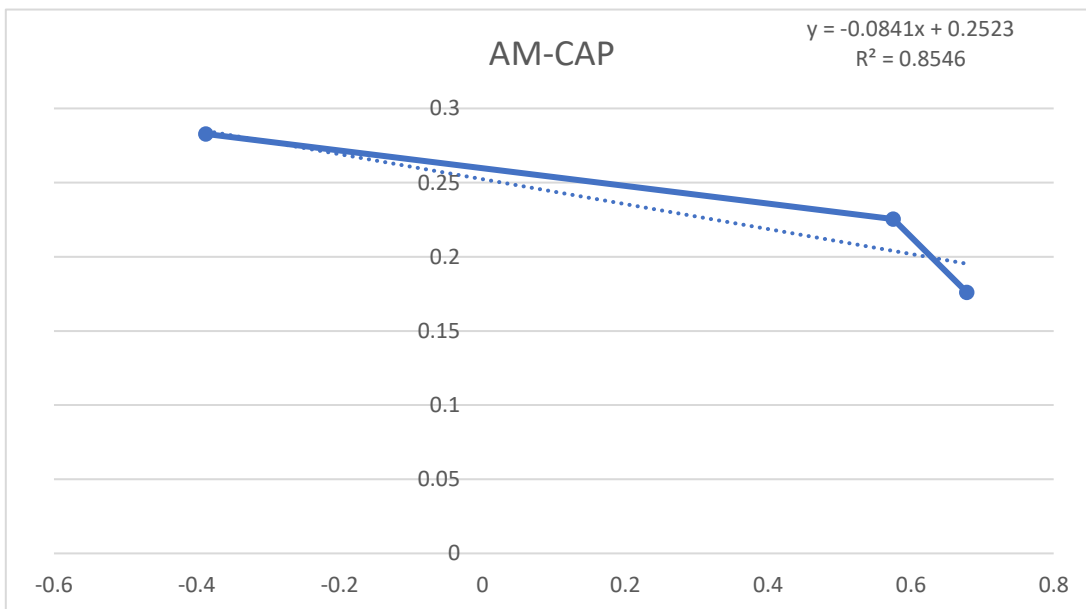
**Tabla 10: Isotermas de Freundlich de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de coco y de plátano.**

Isotermas de Freundlich							
Anaranjado de metilo							
Concentración = 10 mg/L				a = 2.87			
CAC							
Etapa	a	c (mg/L)	mc (mg)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	x	y	y=ax+b
1°	0.46	1.60	500	1.68	0.2041	0.2253	y=-0.164x+0.259 R <sup>2</sup> =0.9873 kf=1.8163 1/nf=-6.09
2°	1.27	4.42	385.4	1.44	0.6454	0.1583	
3°	1.37	4.77	375.7	1.39	0.6785	0.1430	
CAP							
Etapa	a	c (mg/L)	mc (mg)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	x	y	y=ax+b
1°	0.12	0.41	500	1.918	-0.387	0.2828	y=-0.084x+0.252 R <sup>2</sup> =0.8546 kf=1.7877 1/nf=-11.89
2°	1.08	3.76	370.6	1.68	0.5751	0.2253	
3°	1.37	4.77	348	1.5	0.6785	0.176	
* a = absorbanca; c = concentración; mc = masa del carbón; Q <sub>e</sub> = capacidad de adsorción; x = logC <sub>e</sub> ; y = logQ <sub>e</sub>							

La tabla 10 nos muestra los datos que fueron calculados y utilizados para realizar las gráficas 5 y 6, donde podemos observar las isotermas de Freundlich del CAP y CAC para el anaranjado de metilo. Se puede observar como la capacidad de adsorción (Q<sub>e</sub>) de cada uno de los carbones va disminuyendo conforme pasan las etapas debido a la saturación de estos, esto es debido a que para las 3 etapas utilizamos la misma muestra de carbón activado.



**Gráfica 5: Isoterma de Freundlich de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de cacahuate.**

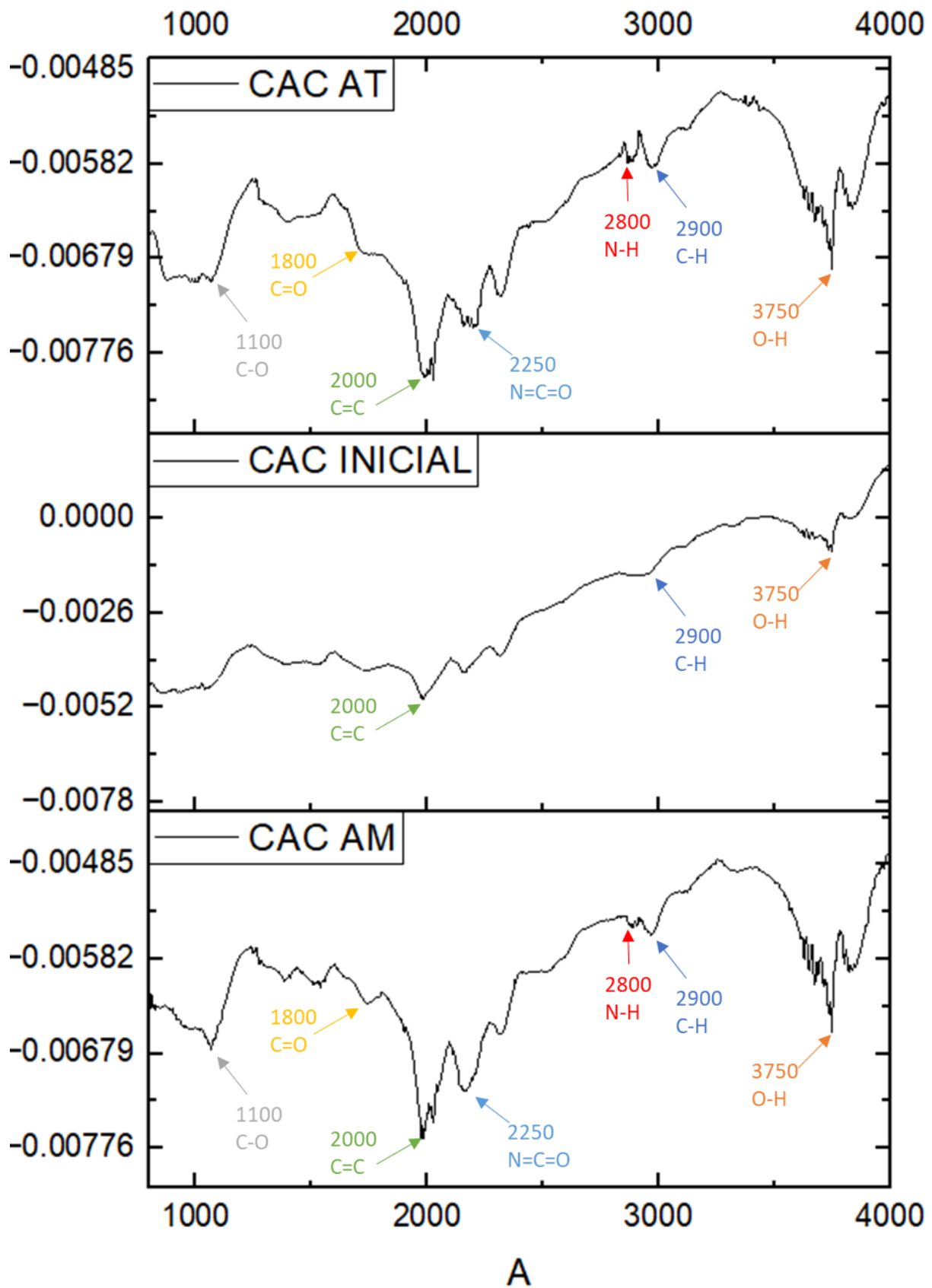


**Gráfica 6: Isoterma de Freundlich de anaranjado de metilo para etapas de adsorción con carbón activado a partir de cáscara de plátano.**

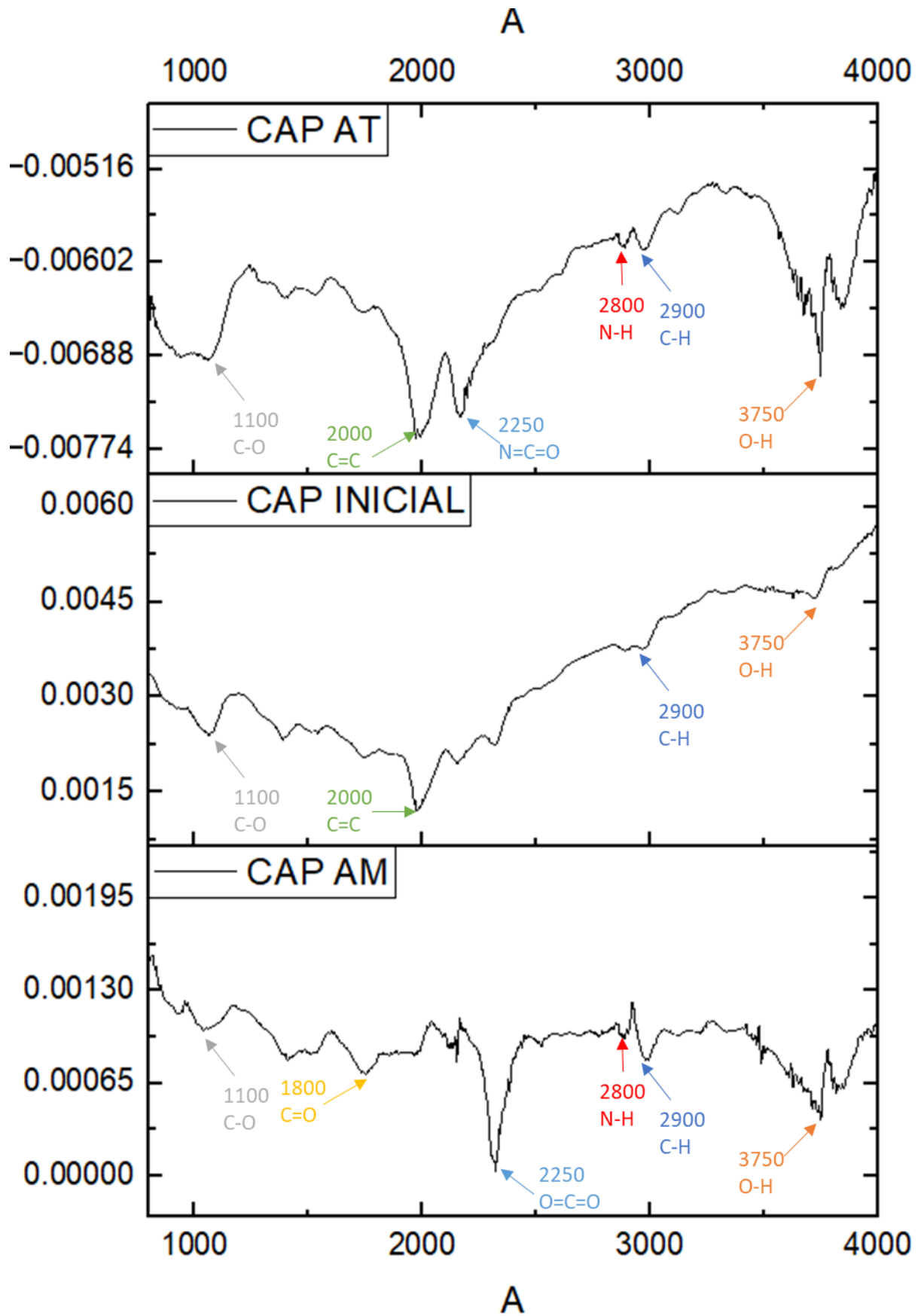
### 3.4 Identificación de los cambios estructurales de los carbones activados

**Región 2500-4000  $\text{cm}^{-1}$ .** Las bandas que aparecen en esta región se encuentran relacionadas con enlaces de estiramiento de O-H, C-H y N-H. El enlace O-H, del agua, genera una banda muy amplia y alta entre 3500 y 3200  $\text{cm}^{-1}$ . Entre 3000 y 2800  $\text{cm}^{-1}$  aparecen bandas ligadas al enlace de estiramiento C-H (Mondragón Cortez, 2020). El grupo funcional N-H aparece tanto en la gráfica 7 como en la 8 en la región de 2800.  $\text{cm}^{-1}$ ; de igual manera en ambas gráficas aparece el grupo funcional C-H en la región de 2900  $\text{cm}^{-1}$ . Por último, podemos observar que en ambos casos aparece el grupo funcional O-H en la región de 3750  $\text{cm}^{-1}$ .

**Región 1500-2000  $\text{cm}^{-1}$ .** En esta región, también llamada de los dobles enlaces, principalmente aparecen los enlaces de vibración C=C y C=O. La banda asociada con el enlace C=O es intensa y aparece, y dependiendo del compuesto, entre 1830 y 1650  $\text{cm}^{-1}$  (Mondragón Cortez, 2020). Podemos observar en la gráfica 7 como aparece el grupo funcional C=O en la región de 1800  $\text{cm}^{-1}$ ; de igual manera aparece el grupo funcional C=C en la región de 2000  $\text{cm}^{-1}$  tanto en la gráfica 7 como en la 8, haciendo la observación que para el caso de CAP AM la banda de estiramiento no se manifiesta.



Gráfica 7: Comparación del espectro IR entre el carbón activado de cacahuate inicial, azul terasil y anaranjado de metilo.



Gráfica 8: Comparación del espectro IR entre el carbón activado de plátano inicial, azul terasil y anaranjado de metilo.

### 3.5 Pruebas fisicoquímicas al agua recuperada

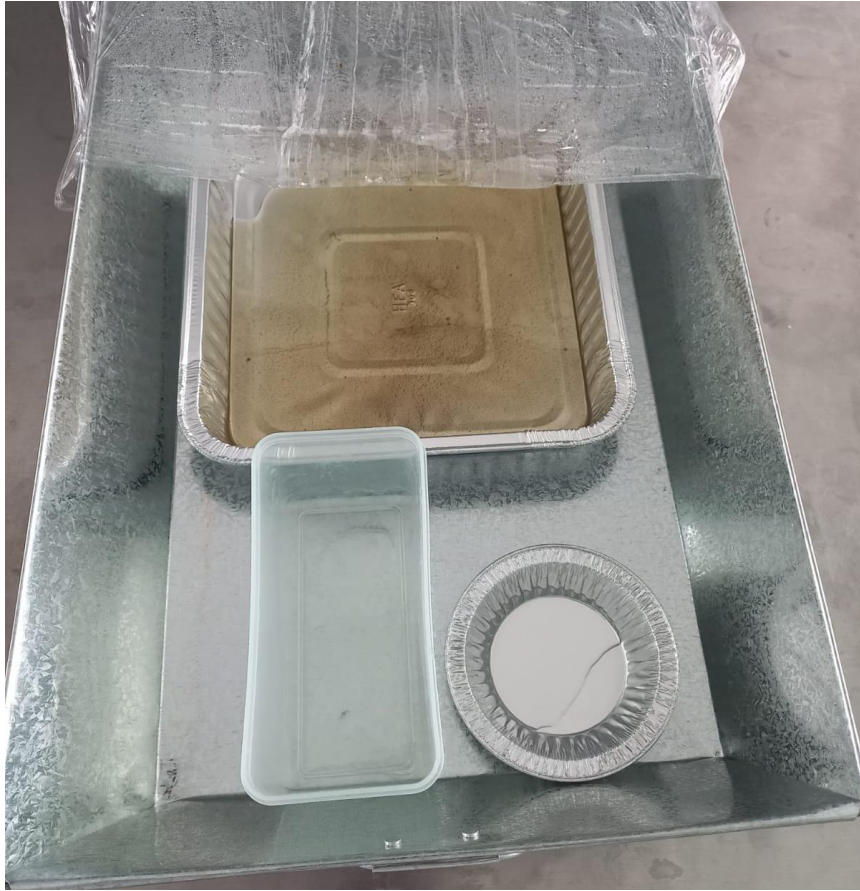
La temperatura ambiente es un factor determinante a la hora de definir y calcular la velocidad de reducción de los residuos; aunque es muy variable, es la que aprueba o define el grado de incidencia de los demás parámetros que intervienen en los procesos de evaporización, como es la humedad relativa, el viento y el área de evaporización (Vera, 2014). Es debido a esto que se buscó realizar la evaporación en días en los que la temperatura fuera de entre 23 y 27 °C.

Una vez recuperada el agua, se realizaron pruebas fisicoquímicas para evaluar las características de estas, determinando el pH, la conductividad y la temperatura. A continuación, en la tabla 11, se muestran los datos obtenidos de dichas pruebas.

**Tabla 11: Datos obtenidos con potenciómetro de muestras de agua recuperada.**

	<b>pH</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Temperatura</b>
Agua recuperada de residuos de azul terasil	5.56	0.22 mS	23.1 °C
Agua recuperada de residuos de anaranjado de metilo	4.67	0.07 mS	23.0 °C

A continuación, se muestran imágenes que evidencian como se separó el agua de los colorantes, de igual manera se puede ver la claridad del agua recuperada.

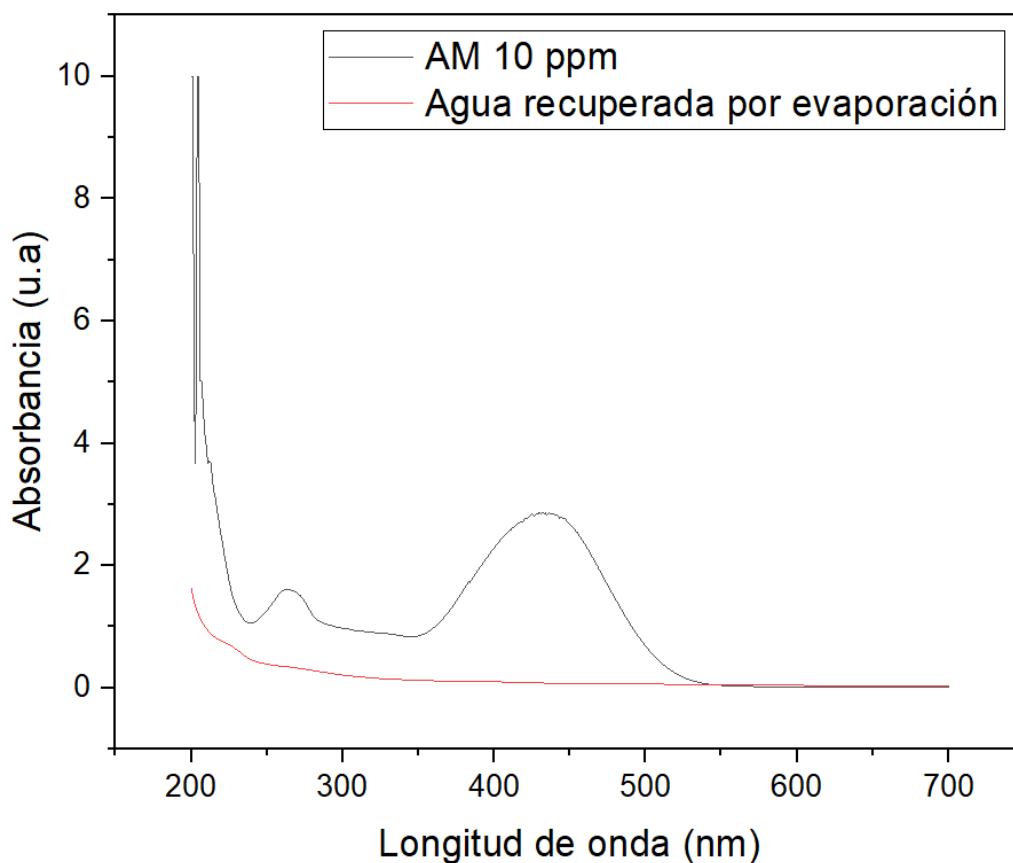


**Imagen 12:** Residuo y agua separados por evaporación

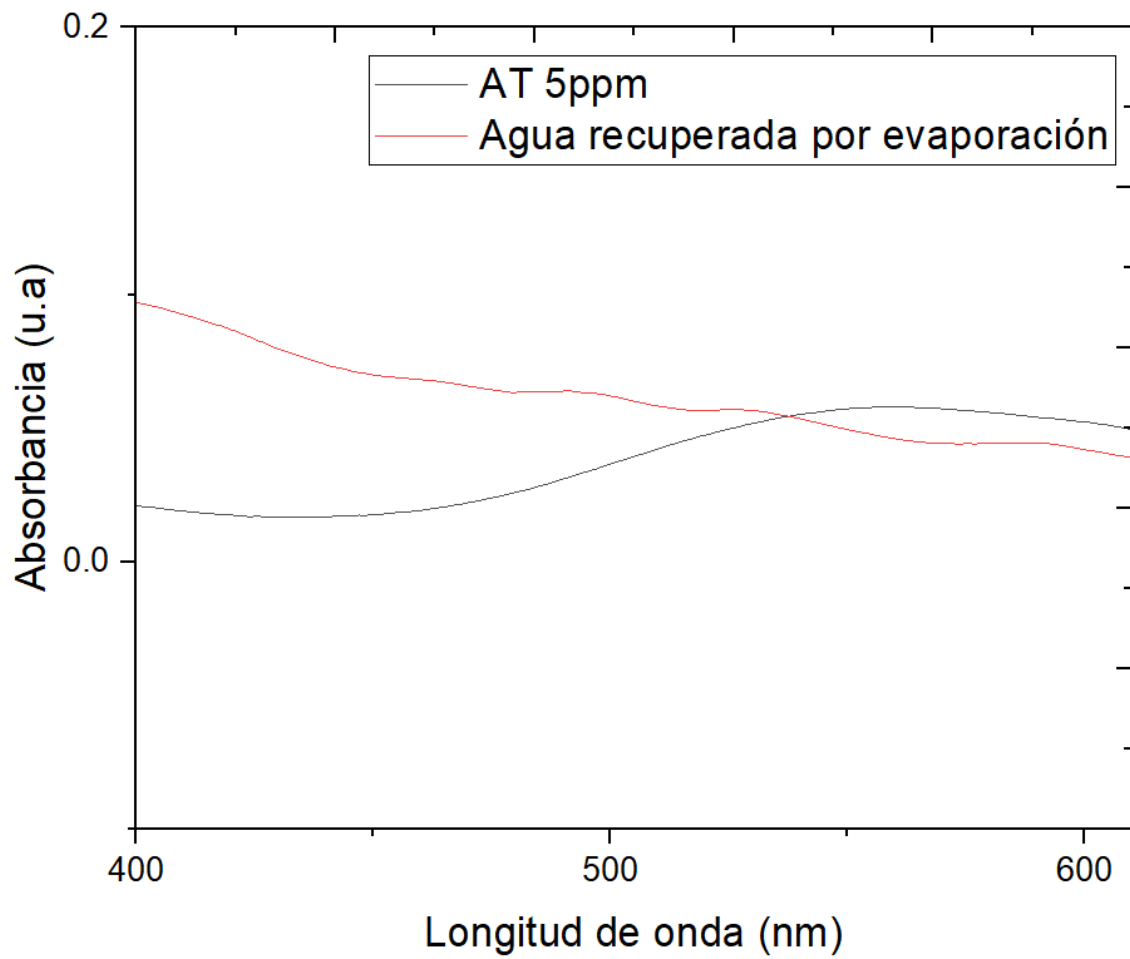


**Imagen 13:** Muestra de agua recuperada

A continuación, en la gráfica 9 y 10 podemos observar una comparación de los espectros UV-vis de muestra de anaranjado de metilo 10 ppm y azul terasil 5 ppm (respectivamente) contra el espectro de la muestra del agua recuperada por evaporación.



**Gráfica 9: Comparación del espectro UV-vis entre la muestra de anaranjado de metilo 10 ppm y el agua recuperada por medio de evaporación.**



**Gráfica 10: Comparación del espectro UV-vis entre la muestra de azul terasil 5 ppm y el agua recuperada por medio de evaporación.**

## Capítulo 4. Conclusiones

Se logró obtener carbón activado por medio de activación química con solución de ácido fosfórico a partir de cáscara de cacahuate y de plátano presentando un rendimiento de 37.80% y 33.98% respectivamente.

Para el azul terasil, los porcentajes de decoloración en la primera etapa fue de 80% y 60% con el carbón activado a partir de cáscara de plátano y de cacahuate respectivamente; mientras que para el anaranjado de metilo se obtuvo un porcentaje de decoloración en la primera etapa de 95.81% y 83.97% con el carbón activado a partir de cáscara de plátano y de cacahuate respectivamente. En cuanto a la segunda etapa del azul terasil, se obtuvo un porcentaje de decoloración de 20% y 40% con el carbón activado a partir de cáscara de plátano y de cacahuate respectivamente; mientras que para la tercera etapa del anaranjado de metilo se obtuvo un porcentaje de decoloración de 52.26% para ambos carbones activados. Se pudo concluir que ambos carbones presentaron una mayor capacidad de adsorción en cuanto a la decoloración del anaranjado de metilo; de igual manera se concluye que el carbón activado a partir de cáscara de plátano mostró un buen porcentaje de decoloración inicial efectivo para el azul terasil.

Al realizar la caracterización IR, podemos observar, tanto en el CAC como en el CAP posterior a las etapas de adsorción con ambos colorantes, la presencia de grupos funcionales que no se encontraban en la caracterización de los carbones activados iniciales, especialmente en la región de 1800, 2250 y 2800  $\text{cm}^{-1}$ .

En las etapas de adsorción se presentó una buena remoción de colorantes, sin embargo, no se logra el 100% de remoción. Un proceso complementario fue la evaporación, de esta manera se recupera el agua limpia y se quedan como sólidos los residuos de los colorantes.

Haciendo una comparativa de ambos resultados, podemos decir que la capacidad de adsorción de CAP es mayor que la del CAC, arrojando resultados mucho más eficientes en términos de remoción de colorantes textiles. El CAP incluso fue capaz de mostrar una remoción de más del 50% después de 3 etapas de adsorción, lo cual lo convierte en un adsorbente bastante eficaz.

## Referencias

- Al-Ghouti, M. e. (2010). Adsorption mechanisms of removing heavy metals and dyes from aqueous solution using date pits solid adsorbent. *El Sevier*, 510.
- Blasco, G. G. (2014). Propiedades funcionales del banano (*Musa sp.*). *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 22-26.
- Campos, E. e. (2011). ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL DE METILENO EMPLEANDO LA BIOMASA DE LA *Morinda Citrocifolia L.* *Quivera*, vol. 13, núm. 2.
- Carbotecnia. (01 de Marzo de 2023). *Carbotecnia*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/que-es-carbon-activado/>
- Castelló, L. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de colorantes presentes en disolución acuosa*. Valencia.
- Corcoran, E. N. (2010). *Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development*. United Nations Environment Programme.
- Coronas, J. S. (2012). *Ampliación de procesos industriales de separación*.
- Cortázar, A. e. (2014). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: Vida científica-ensayos*.
- Crittenden, J. (2005). *Water Treatment: Principles and Design*. MWH.
- Dos-Santos, A. C.-L. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresour*.
- Echeverria, J. V. (2011). *Decoloración de aguas residuales textiles utilizando el hongo ligninolítico anamorfo R1 de Bjerkandera sp.* Medellín.
- Emaga, T. A. (2007). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food chemistry*, 590-600.
- Freeman, H. (1989). *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (05 de Diciembre de 2012). *Filtración de aguas residuales con contaminantes recalcitrantes para remoción de macronutrientes*. Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/articulos/filtracion-de-aguas-residuales-con-contaminantes-recalcitrantes-para-remocion-de-macronutrientes#:~:text=Los%20contaminantes%20recalcitrantes%20son%20aquellos,degradaci%C3%B3n%20sea%20biol%C3%B3gico%20o%20qu%C3%ADmico>.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (08 de Junio de 2020). *La eutrofización de cuerpos de agua: un síntoma antropogénico que requiere atención*. Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-eutrofizacion-de-cuerpos-de-agua-un-sintoma-antropogenico-que-requiere-atencion>

- INTERNATIONAL, S. (2020). *Sinoever International*. Obtenido de <https://es.sulphurblackcn.com/dyestuff/disperse-dyes/c-i-disperse-blue-60.html>
- Ioannidou, O. Z. (2007). *Agricultural residues as precursors for activated carbon production - a review*. *Renewable and sustainable energy reviews*.
- Jiménez, P. d. (2019). Caracterización de cáscara de maní procedente de la provincia de Córdoba, Argentina. *Revista Argentina de Ingeniería*.
- Jiménez, S. (2018). *ESTUDIO DEL EFECTO DEL pH EN LA DEGRADACIÓN ELECTROQUÍMICA DE NARANJA DE METILO UTILIZANDO DIFERENTES ÁNODOS*. Valencia.
- Li, Y. Z. (2019). *Life cycle assessment of advanced wastewater treatment processes: Involving 126 pharmaceuticals and personal care products in life cycle inventory*. . Obtenido de *Journal of Environmental Management*: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.118>
- López, C. (2020). *Fundación Vida Sostenible*. Obtenido de <https://www.vidasostenible.org/tiniendo-el-mundo-de-contaminacion/>
- Luna, D. G. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *ContactoS 64*, 39-48.
- Málaga, o. P. (2019). *Consortiorsumalaga*. Obtenido de <https://www.consortiorsumalaga.com/5936/residuos-organicos>
- Manjarrez, L. (2007). *Síntesis de carbón activado a partir de bagazo de agave tequilana wber var azul y su caracterización superficial y funcional*. Chihuahua.
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la química de los colorantes*. Caracas, Venezuela: Academia de ciencias físicas, matemáticas y naturales.
- Mills, R. (23 de Octubre de 2018). *Fossanalytics*. Obtenido de <https://www.fossanalytics.com/es-ar/news-articles/technologies/a-short-intro-to-ftir-analysis>
- Moldes, A. C. (2002). Production of a cellulosic substrate susceptible to enzymatic hydrolysis from prehydrolyzed barley husks. *Agr. Food Sci. Finlandia*. .
- Mondragón Cortez, P. (2020). *Análisis de los espectros de infrarrojo. En principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas*. Guadalajara: CIATEJ.
- Navarrete, D. V. (2014). Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante. *[Tesis de Grado]*.
- NMX-AA-045-SCFI-2001. (s.f.). *ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE COLOR PLATINO COBALTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166781/NMX-AA-045-SCFI-2001.pdf>
- ONU. (19 de Julio de 2022). *Naciones Unidas*. Obtenido de *Desafíos Globales*: <https://www.un.org/es/global-issues/water>

- Peluffo, G. C. (2019). *Evaluación de la capacidad de adsorción del colorante azul marino directo (AMD) en solución acuosa con carbón obtenido de cáscaras de bananas*. u.
- PROFECO. (2021). *Economía circular*. Obtenido de Procuraduría Federal del Consumidor: <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/economia-circular?idiom=es>
- Romero, J. (1999). *Calidad del agua*. México, DF: Alfaomega.
- Sánchez, M. B. (2014). Obtención de carbón activado a partir de cascarilla de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) . *Programa Educativo de Procesos Alimentarios; Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros*.
- Sanz, A. (2015). *La industria de los colorantes y pigmentos*. Obtenido de Química Orgánica Industrial: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>
- SEMARNAT. (2013). *Compendio de estadísticas ambientales*. Obtenido de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet28b9.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html)
- SEMARNAT. (2013). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap6\\_agua.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf)
- SEMARNAT. (2016). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6\\_Agua.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6_Agua.pdf)
- Sevilla, U. (2009). *Aguapedia.net*. Obtenido de Manual del carbón activado: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Skoog, D. H. (2008). *Principios de análisis instrumental*. Cengage Learning.
- Soares, G. e. (2002). Studies on biotransformation of novel disazo dyes by laccase. *Proc. Biochem*, 37.
- Solís-Fuente, J. e. (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*, vol. 27, núm. 1,.
- Tan, I. A. (2007). *Equilibrium and kinetic studies on basic dye adsorption by oil palm fibre activated carbon*. Obtenido de Chemical Engineering Journal: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.09.010>
- Tom, J. (2021). Espectroscopía UV-Vis: principio, fortalezas y limitaciones y aplicaciones.
- Torres-Pérez, J. (2019). Cáscara de Cacahuete como Precursor de Carbón Activado para Procesos de Sorción de colorante R-40. *El suelo, donde todo comienza*.
- Vallardes-Cisneros, M. e. (2016). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Vera, J. A. (2014). Tratamientos de evaporación para la reducción de residuos químicos generados en los laboratorios de química general de la Universidad de Pamplona. *Universidad de Pamplona*.

*World Dye Variety*. (Monday de March de 2012). Obtenido de Disperse Dyes:  
<http://www.worlddyevariety.com/disperse-dyes/disperse-blue-60.html>

*World Dye Variety*. (28 de May de 2012). Obtenido de Acid Dyes:  
<http://www.worlddyevariety.com/acid-dyes/acid-orange-52.html>

Zaruma, P. P. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Instituto Politécnico Nacional*, 40-41.

Zarza, L. (2010). ¿Qué es la contaminación del agua? *Revista digital iagua*.