

**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**



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**
1970

VIGILADA MINEEDUCACIÓN

ANLELO RENATO PACHECO QUINTERO

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA, COLOMBIA

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**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO:
INGENIERO AMBIENTAL**

ANLELO RENATO PACHECO QUINTERO

DIRECTORA:

CLAUDIA HERRERA HERRERA. M. ENG.

CODIRECTORA:

ALEJANDRA ZAMBRANO ARÉVALO. M.SC.

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2021

NOTA DE ACEPTACION

Mg. Andrea Moreno**EVALUADOR**

Mg. Liceth Rebolledo**EVALUADOR**

Mg. Claudia Herrera Herrera**DIRECTORA DEL PROYECTO**

Mg. Liliana Lozano**DIRECTORA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

Dra. Diana Pinto**DECANA FACULTAD DE INGENERÍA****Acta de aprobación**

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

DEDICATORIA

Fruto del trabajo arduo y la capacidad de no desistir...

Dedicado a Dios por permitir realizar cada operación y movimiento hecho a lo largo de la ejecución del proyecto.

Dedicado a todas esas personas que siempre estuvieron dando ánimos y ayudando a que se lograra culminar el proyecto. A mis tutoras, familiares, a esa persona incondicional que siempre está disponible para ayudar y animar, a mis amigos que siempre daban arengas, al personal de la Universidad de la Costa que estuvo inmerso en el proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios porque por su voluntad fueron hechas todas y cada una de las cosas que fueron necesarias para conseguir culminar este proyecto.

Gracias a mis tutoras, Claudia Herrera y Alejandra Zambrano, por su entrega y voluntad de poner sus conocimientos al servicio y ejecución de este proyecto.

Al personal de la Universidad de la Costa que labora en los laboratorios de Ciencias Básicas y el Laboratorio Centro de Investigaciones en Tecnología Ambientales (CITA) donde fueron hechos los ensayos necesarios para poder desarrollar la investigación.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Resumen

Se realizó un estudio por lotes en el que se evaluó la capacidad de remoción del tinte capilar Azul Plata (AP) con carbón activado obtenido a partir de cáscaras de banana. Este tinte capilar es clasificado por sus características químicas como un contaminante emergente. Al carbón se le realizó la caracterización fisicoquímica necesaria para fundamentarlo como un material que permitiera remover el AP. Todos los ensayos con el AP fueron hechos utilizando un espectrofotómetro HACH: DR 3900 previamente calibrado. Se obtuvieron, el espectro de absorción del tinte AP, las curvas de calibración, los efectos de la concentración inicial/capacidad de absorción y así mismo, los porcentajes de remoción del AP, donde se evidencia que en las disoluciones más concentradas 9,04 % v/v, 9,16% v/v y 8,61 % v/v, se obtuvieron porcentajes de remoción entre el 85% y 100%. Lo anterior permite establecer que, el carbón obtenido de cáscaras de banana madura y activado térmicamente, cumple con los propósitos de remoción del contaminante emergente estudiado.

Palabras clave: tinte capilar azul plata, contaminante emergente, carbón activado, cáscaras de banana

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Abstract

A batch study was carried out in which the removal capacity of the Silver Blue hair dye with activated carbon obtained from banana peels was evaluated. This hair dye is classified by its chemical characteristics as an emerging pollutant. The necessary physicochemical characterization was carried out on the coal to establish it as a material that would allow the removal of the AP. All tests with the AP were done using a previously calibrated HACH: DR 3900 spectrophotometer. The absorption spectrum of the AP dye, the calibration curves, the effects of the initial concentration / absorption capacity and likewise, the removal percentages of the AP were obtained, where it is evident that in the more concentrated solutions 9.04% v / v, 9.16% v / v and 8.61% v / v, removal percentages between 85% and 100% were obtained. The above allows to establish that the carbon obtained from ripe banana peels and thermally activated, meets the purposes of removing the emerging pollutant studied.

Keywords: silver blue hair dye, emerging pollutant, activated carbon, banana peel

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Contenido

Lista de tablas y figuras	5
Tablas	5
Figuras.....	6
1 Introducción.....	8
2 Planteamiento del problema	12
3 Justificación	14
4 Objetivos.....	16
4.1 Objetivo general	16
4.2 Objetivos específicos.....	16
5 Marco teórico.....	17
5.1 Antecedentes	17
5.2 Adsorción	19
5.3 Espectrofotometría	19
5.4 Espectro de absorción.....	21
5.5 Curva de calibración.....	22
5.6 Química verde	23
5.7 Carbón de cáscaras de banana madura	26
5.8 Tinte capilar Azul Plata.....	31
6 Metodología.....	34
6.1 Tipo de investigación	34
6.2 Metodología experimental.....	35
6.2.1 Elaboración del carbón activado térmicamente.	35
6.2.2 Caracterización fisicoquímica del carbón activado térmicamente.	37
6.2.3 Espectro de absorción.....	44
6.2.4 Curvas de calibración.....	46
6.2.5 Ensayos de remoción.....	46
7 Resultados.....	48

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

7.1	Caracterización fisicoquímica.....	48
7.1.1	Determinación del área superficial.....	48
7.1.2	Análisis próximo.....	49
7.1.3	Método Böehm.....	50
7.1.4	Análisis infrarrojo.....	52
7.2	Espectro de absorción.....	54
7.3	Curvas de calibración.....	57
7.4	Efecto de la concentración inicial.....	60
7.5	Porcentaje de remoción.....	63
8	Conclusiones.....	67
	Recomendaciones.....	69
	Referencias.....	70
	Anexos.....	80

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Lista de tablas y figuras**Tablas**

Tabla 5.1	Clasificación de los poros del carbón	29
Tabla 5.2	Clasificación de los tintes capilares	31
Tabla 6.1	Resultado obtenido en la determinación del área superficial	38
Tabla 6.2	Reactivos y cantidades para la preparación de soluciones	40
Tabla 7.1	Resultado obtenido en la determinación del área superficial	48
Tabla 7.2	Resultados del análisis próximo en %	49
Tabla 7.3	Resultados de la estandarización de las soluciones “Stock”	50
Tabla 7.4	Resultados de la estandarización de las soluciones finales.....	51
Tabla 7.5	Cantidad de solución neutralizada en mEq/g del carbón.....	52
Tabla 7.6	Cuantificación de los grupos funcionales superficiales orgánicos del carbón.....	53

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Figuras

Figura 5.1 Espectro de absorción de la hemoglobina. Tomado de: (Herráez, 2015).....	22
Figura 5.2 Ejemplo de curva de calibración. Tomado de: (AGQ Labs Chile S.A, 2017).	23
Figura 5.3 Interacción entre los grupos hidroxilos y metales pesados. Fuente: (Valladares- Cisneros et al., 2017)	27
Figura 5.4 Clasificación de los poros del carbón. Fuente: (Speight, 2013).	30
Figura 5.5 Forma o tipo de poros. Fuente: (Solano, 2016).	30
Figura 5.6 Fórmula del Compuesto de Fenilo Nitro-sustituido. Fuente: (Sokol & Tsai, 1974	33
Figura 6.1 Método científico de la Investigación experimental. Fuente: Autor.	35
Figura 6.2 Cáscaras de banana después del calentamiento a 300°C. Fuente: Autor	36
Figura 6.3 Procedimiento de la elaboración del carbón activado térmicamente. Fuente: Autor	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6.4 Montaje de las muestras del Método Böehm en el agitador. Fuente: Autor	43
Figura 6.5 FTIR para análisis infrarrojo. Fuente: Autor	44
Figura 6.6 Espectrofotómetro DR 3900. Fuente: Autor	45
Figura 6.7 Montaje de muestras. Fuente: Autor.	47
Figura 6.8 Procesamiento de las muestras. (A) Muestras realizadas (B) Agitación en Shaker (C) Filtración de muestras. Fuente: Autor.....	47
Figura 7.1 Análisis Infrarrojo. Fuente: Autor	54
Figura 7.2 Espectro de absorción Muestra comercial N°1. Fuente: Autor.	55
Figura 7.3 Espectro de absorción Muestra comercial N°2. Fuente: Autor.	55
Figura 7.4 Espectro de absorción Muestra comercial N°3. Fuente: Autor.	56
Figura 7.5 Espectro de absorción Muestras Comercial N°4. Fuente: Autor.....	56

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Figura 7.6 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°1. Fuente: Autor.....	58
Figura 7.7 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°2. Fuente: Autor.....	59
Figura 7.8 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°3. Fuente: Autor.....	59
Figura 7.9 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°4. Fuente: Autor.....	60
Figura 7.10 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de absorción Muestra comercial N°1. Fuente: Autor.....	60
Figura 7.11 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de absorción Muestra comercial N°2. Fuente: Autor.....	61
Figura 7.12 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de absorción Muestra comercial N°3. Fuente: Autor.....	61
Figura 7.13 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de absorción Muestra comercial N°4. Fuente: Autor.....	62
Figura 7.14 Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°1. Fuente: Autor.....	64
Figura 7.15 Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°2. Fuente: Autor.....	63
Figura 7.16 Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°3. Fuente: Autor.....	64
Figura 7.17 Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°4. Fuente: Autor.....	65

1 Introducción

Este trabajo tiene como punto focal una propuesta para remover un contaminante emergente (CEs). El término CEs se utiliza para hablar de compuestos desconocidos, de distinto origen y cuya presencia en el medio ambiente no se considera fuerte en cuanto a distribución y/o concentración (Wilkinson, Hooda, Barker, Barton, & Swinden, 2017). Dichos contaminantes son productos de alto consumo como: fármacos, plaguicidas, cosméticos, artículos de limpieza, productos para el cuidado personal, etc. En la actualidad, la mayoría de estos contaminantes cuando son detectados en fuentes de agua potable aparecen en concentraciones que, individualmente, no supondrían un riesgo apreciable a la salud. Sin embargo, por baja que sea la concentración, al darse una exposición constante, sí se generan riesgos toxicológicos para los seres humanos que aún es necesario seguir estudiando (Baken, Sjerps, Schriks, & van Wezel, 2018, Taheran, Naghdi, Brar, Verma, & Surampalli, 2018, Philip, Aravind, & Aravindakumar, 2018).

De hecho, aunque parece que no generaran ningún tipo de daño debido a que son vertidos o se encuentran en grandes superficies acuáticas y en bajas concentraciones, sin embargo, estos contaminantes tienen particularidades que los hacen extremadamente peligrosos. Estos compuestos pueden llegar a generar alteraciones del sistema endocrino, también pueden ser carcinogénicos, producir problemas inmunológicos y ser mutagénicos, además de ser sustancias tóxicas bioacumulables que se pueden biomagnificar (Naidu, Arias Espana, Liu, & Jit, 2016). Es importante mencionar que en algunos casos la presencia de éstos se manifiesta en el aumento de los colores del agua que no solo afecta la estética del cuerpo de agua, sino que también daña el ecosistema y los organismos que habitan en el mismo. El aumento del color impide que, por

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

ejemplo, los rayos del sol entren de manera adecuada al agua, afectando así a los organismos autótrofos (Rafatullah, Sulaiman, Hashim, & Ahmad, 2010).

Desde hace mucho tiempo se tiene claro que se vive en una sociedad moderna y de consumo, que se ha convertido en una importante fuente dispersante de contaminación. Los contaminantes emergentes son usados y desechados con el agravio para el medio ambiente por no tener controles regulatorios para su comercialización y posterior vertimiento, el ámbito legal puede hacer más peligrosos a los contaminantes emergentes (Taheran et al., 2018). Se encuentran varios estudios en América, Asia, Europa, y de otras regiones del mundo, que afirman que estos contaminantes son un claro riesgo para la salud humana, y debido a esto se postulan a ser regulados por normativas. Hoy día se continúan realizando estudios que relacionan los efectos que los CE's producen a la salud de los humanos y demás componentes bióticos (Reinoso, Serrano, & Orellana, 2017).

El uso de tintes para el cabello en casa o en los centros de belleza supone una carga contaminante más grande que las aguas grises de baño diarias, dado que el proceso de tinción (en casa o peluquería) incluye lavado y enjuague, y las peluquerías por su finalidad comercial van a producir volúmenes mayores de aguas contaminadas. Los compuestos contenidos en los tintes para el cabello pertenecen al grupo de los xenobióticos que actúan como disruptores endocrinos (Grčić, Vrsaljko, Katančić, & Papić, 2015). La industria estética capilar también vierte distintos compuestos coloreados a los afluentes, estos tintes se pueden encontrar como ácidos, bases, reactivos directos, etc. Son causantes de graves problemas ambientales dado que inhiben el paso de luz en ecosistemas acuáticos, haciendo difícil los procesos de fotosíntesis de las plantas. También, dependiendo del tiempo de exposición y la concentración del tinte pueden tener efectos crónicos en organismos acuáticos (Koumanova & Allen, 2005).

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Por esa razón, al verter productos como los tintes capilares, entre ellos el Azul Plata (AP), a los cuerpos de agua, se pone claramente en riesgo el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) #6, “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”(Naciones Unidas, 2019).

El uso de carbón activado, procesos de oxidación avanzada y reactores membranales se proyectan como una fuerte alternativa de tratamiento con alta probabilidad de remoción de los contaminantes emergentes (C. García, Gortares, & Drogui, 2011). En la región de América del Sur, exactamente en Brasil, se ha utilizado carbón activado en filtros para la remoción de contaminantes emergentes y se han obtenido porcentajes de remoción mayores al 80% (Borges, Minillo, Lemos, do Prado, & Tangerino, 2016). En otros estudios realizados en USA, se adicionó al sistema de tratamiento de aguas convencional un tratamiento con carbón activado granular (GAC) antes de la desinfección. Se logró remover cafeína, un antibiótico (mesilato) y una hormona esteroidea (estrógeno) en porcentajes superiores a 92% (Bundy, Doucette, McNeill, & Ericson, 2007).

El semillero de Química Verde de la Universidad de la Costa tiene como misión realizar investigaciones, diseñar productos y procesos sustentables, bajo el amparo de los 12 principios de la Química Verde desarrollados por Paul Anastas y John Warner en 1988. Esta disciplina tiene como objetivo fundamental “el diseño de productos y procesos químicos que reducen o eliminan la generación de sustancias peligrosas” (EPA, 2020)

Dentro de los proyectos del semillero de Química Verde, se dispuso a llevar a cabo una investigación donde se pudiera intentar remover un contaminante emergente de amplio uso en la industria estética o centros de belleza del cuidado capilar, el tinte Azul Plata (AP). Para esto se utilizó un material adsorbente resultante de la práctica de la Química Verde, el carbón activado

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

térmicamente obtenido a partir de cáscaras de banana madura (Kyzas & Kostoglou, 2014),

siendo este un biomaterial de bajo costo y con bastante disponibilidad en esta región geográfica.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

2 Planteamiento del problema

En las últimas décadas, se ha hecho evidente el incremento en los ecosistemas acuáticos de distintas sustancias químicas como fármacos, productos para el cuidado e higiene personal (PPCPs), drogas de abuso, compuestos perfluorados, entre otros, generando preocupación debido a que se consideran como contaminantes emergentes (CEs) que se convierten en un riesgo ambiental y para la salud pública del mundo (Taheran et al., 2018, Jiménez, 2011). Estos agentes al ser vertidos sin control alguno generan múltiples consecuencias en los ecosistemas: mal aspecto al entorno, toxicidad, bioacumulación, resistencia microbiana, entre otras, y además muchos de ellos son disruptores endocrinos (Ames, Kammen, & Yamasaki, 1975, Li, 2014, Lellis, Fávoro-Polonio, Pamphile, & Polonio, 2019).

Rodríguez (2007), ha señalado que la sociedad, en general, viene aumentando gradualmente un culto excesivo a la belleza y cuidado corporal. En Latinoamérica, se tiene una importante aceptación en lo que respecta a los procedimientos, actividades y ejercicios que mejoren el factor estético de la población (Maldonado, 2018, Foucault & Sossa, 2011), por tal motivo, se ha aumentado el consumo y en consecuencia el vertimiento, de sustancias químicas que son utilizadas para tal fin (Hurtado, 2018).

Los tintes para el cabello, mascarillas y matizantes, están siendo bastante consumidos por personas de cualquier edad y género que quieren cambiar parte de su aspecto físico, por ende, se generan muchos vertimientos que contienen dichos productos (Bellatin, Herrera, Navarro, Sun-Kou, & Llanos, 2014). Se ha establecido además que los tintes capilares están compuestos básicamente por peróxido de hidrógeno y amoníaco (La Razón, 2009), lo cual los hace muy oxidativos en el ambiente produciendo tonalidades en el agua y así alterando el paisaje; siendo más preocupante el hecho de que absorben la radiación solar y se tiene indicios de que las

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

moléculas de estos compuestos penetran las células animales y vegetales, ocasionando un problema de biomagnificación por el consumo alimenticio de estas especies (Bellatin et al., 2014).

Los estilistas están más expuestos al contacto con estos productos que los usuarios, no obstante, la preocupación resulta para todos porque pueden desarrollar pieles atópicas y alergias (ABC, 2012), además, se ha encontrado evidencia que sugiere a éstos como factor de riesgo para Linfoma de no Hodgkin (Zhang et al., 2008, Ramirez, 2015, NIH, 2016)

Ante este panorama creciente de los vertimientos con productos colorantes cosméticos considerados contaminantes emergentes, surgió el interés por aportar una alternativa de solución en una etapa exploratoria, investigando si es posible retirar ese tipo de productos de una muestra de agua contaminada con fines experimentales, utilizando un bioabsorbente obtenido a partir de un residuo orgánico como son las cáscaras de bananas maduras, surgiendo así la siguiente pregunta problema

¿Es posible remover el contaminante emergente, tinte capilar Azul Plata (AP), de una muestra de agua utilizando carbón activado obtenido de cáscaras de bananas maduras?

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

3 Justificación

En la actualidad, los CEs están siendo identificados-y analizados con mayor frecuencia, porque se conoce que tienen el potencial de generar efectos adversos para la salud humana y los ecosistemas (Wilkinson et al., 2017, V. Bernal, Giraldo, & Moreno, 2018). Existen más de 3 millones de compuestos orgánicos sintéticos de los cuales se estima que de 20 a 30% llegan a ambientes acuáticos (Meador, Yeh, & Gallagher, 2018). Muchos de esos compuestos son CEs, por tal motivo, es necesario explorar o desarrollar técnicas que permitan una remoción efectiva de estos contaminantes.

Bajo el marco de la normatividad sanitaria para prácticas y embellecimiento facial y corporal, en Colombia se define la estética/cosmética facial y corporal como “todos aquellos procedimientos faciales o corporales que no requieran de la formulación de medicamentos, intervención quirúrgica, procedimientos invasivos o actos reservados a profesionales de la salud” (Ley 711, 2001) o también “Son todos los procedimientos no invasivos que se utilizan para el embellecimiento del cuerpo humano con el fin de limpiarlo, perfumarlo, modificar su aspecto y protegerlo o mantenerlo en buen estado, con o sin la utilización de productos cosméticos” (Resolución 2263, 2004).

Las personas utilizan para su “embellecimiento” distintos productos químicos y con variedad de composición en sus ingredientes, como es el caso de los tintes para el cabello. El agua generada como resultado de la aplicación de los tintes capilares, ha demostrado tener una mayor carga contaminante que las aguas grises de los baños (Grčić et al., 2015), por esto su remoción efectiva antes de su vertimiento a las redes públicas sería un logro importante para disminuir el total de la carga contaminante que llega a los cuerpos de agua. Se ha planteado en muchas investigaciones la eliminación de distintos CEs utilizando el método de adsorción con

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

carbón activado. Sin embargo, este método puede ser muy costoso por las cantidades necesarias (Kyzas & Kostoglou, 2014).

Teniendo como propósito seguir el enfoque de la Química Verde, que busca utilizar nuevos productos o procesos que reduzcan significativamente la generación de sustancias perjudiciales para el medioambiente, así como la reducción de residuos, en esta investigación se evaluó la remoción del tinte capilar Azul Plata con un carbón activado térmicamente y elaborado a partir de biomasa de amplio consumo y considerada como desecho. Las cáscaras de banana madura siendo este un fruto tradicional de la Costa Caribe de Colombia, que se produce en grandes cantidades, todo el año y cuyo costo es bajo y además, ya se había probado en una investigación anterior del semillero Química Verde, que este carbón es excelente en la remoción de tintes industriales como el Azul Marino Directo (AMD) (Peluffo & Castro, 2019), por lo tanto se quería ampliar dicha línea de investigación

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad de remoción del tinte capilar Azul Plata presente en muestras de agua utilizando carbón térmicamente activado obtenido a partir de cáscaras de banana madura.

4.2 Objetivos específicos

- Elaborar carbón activado térmicamente a partir de cáscaras de banana como material adsorbente.
- Caracterizar fisicoquímicamente el carbón activado obtenido de la biomasa cáscaras de banana.
- Evaluar el porcentaje de remoción del tinte capilar Azul Plata en las muestras estudiadas.
- Obtener el espectro de adsorción del tinte capilar Azul Plata de las marcas estudiadas.

5 Marco teórico

5.1 Antecedentes

Desde que la ciencia tomó conciencia del peligro que representan los contaminantes emergentes, se han venido investigando y desarrollando varios métodos para su remoción, desde tratamientos químicos, físicos y biológicos hasta tratamientos híbridos. En España por ejemplo, se removieron con éxito parabenos, químicos casi infaltables en los productos de belleza (Infante, 2016), utilizando un tratamiento combinado de resinas magnéticas de intercambio iónico y después una filtración a través de membranas de nanofiltración (López-Ortiz, Sentana-Gadea, Varó-Galvañ, Maestre-Pérez, & Prats-Rico, 2018). Así mismo se han usado arcillas (bentonita y vermiculita) como materiales fotoactivos para intentar degradar una mezcla de contaminantes emergentes a baja concentración, usando un proceso solar de oxidación avanzada, demostrando tanta eficiencia como el dióxido de titanio (TiO_2) con la diferencia de que se escoge un material natural, y esto resulta ser una alternativa atractiva y sostenible (Martínez-Costa, Maldonado Rubio, & Leyva-Ramos, 2020).

Con respecto a la remoción de tintes o compuestos coloreados se han removido biológicamente, mezclando estiércol de vaca con azúcar morena en una proporción y temperatura adecuada para el desarrollo de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*. Así mismo se han removido tintes industriales usando osmosis inversa (Jesudoss et al., 2020). Sin embargo, se ha encontrado como una buena alternativa los procesos con materiales adsorbentes, como los carbones activados y residuos industriales (virutas, aserrín, bagazo de caña, cáscara de arroz, entre otros), estos pueden ser selectivos y óptimos para ciertos grupos de tintes (Barrios-Ziolo, Gaviria-Restrepo, Agudelo, & Cardona Gallo, 2015).

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Los carbones activados comerciales a gran escala suponen un alto costo, por esta razón, han aumentado las investigaciones para la fabricación y uso de carbones activados naturales como soportes más económicos en los procesos oxidativos y adsorptivos (Valdés, Tardón, & Zaror, 2009, Castellar et al., 2020). La biomasa y otros materiales de desecho se presentan como un fuente económica y renovable para producir carbón activado. Estos materiales suponen un reto de eliminación por las grandes cantidades en que se producen y es menester darles valor mediante un uso. Se han hecho una gran cantidad de carbones activados preparados a partir de biomasa y residuos tales como huesos de dátiles, huesos de aceitunas, carbonilla de neumáticos, vermiculata, polvo de bambú, cáscara de coco, cáscara de maní, cáscara de arroz, paja, fibra de yute, fibra de palma aceitera, albaricoque residual, maíz, raíces de vetiver, azúcares, salvado de trigo, cáscaras de almendras, semillas de rosa canina (Rafatullah et al., 2010) y cáscaras de plátano o banano. Este último se encuentra de manera abundante en Colombia, a bajo costo y es considerado un desecho, lo cual supone una ventaja de disponibilidad.

Las características de sorción de cada material están determinadas por la naturaleza de la vegetación y la extensión de los cambios fisicoquímicos que ocurren después de la deposición (Demirbas, 2009, Peluffo & Castro, 2019). Hay que destacar que son muchos los estudios que demuestran la calidad y cantidad de remoción en los procesos de adsorción con materiales naturales como adsorbentes no convencionales, estos materiales alternos no necesariamente deben recibir un tratamiento a priori para activarse, sin embargo, la activación mejora la capacidad de adsorción (Valladares-Cisneros, Valerio, de la Cruz, & Melgoza, 2017) (Valladares, Valerio, De la Cruz, & Melgoza, 2017). También se debe recalcar que son más los estudios realizados que conciernen a la activación química de estos materiales de bajo costo que provienen de la agricultura, y, los parámetros más estudiados son: agentes de activación, tiempo,

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

temperatura y relación de impregnación (Foo, Lee, & Hameed, 2013, Ghani, Yusoff, Zaman, Zamri, & Andas, 2017).

5.2 Adsorción

La adsorción es definida como la acumulación de un material (adsorbato) en una superficie que puede ser sólida (adsorbente). Esta acumulación es producto de la atracción molecular de la superficie del sólido adsorbente y el fluido. Este proceso puede ser reversible (desorción). El carbón activado por su gran superficie específica es muy útil como adsorbente. De la adsorción se pueden destacar sus tres características fundamentales (de la Iglesia, 2012):

I. Es altamente selectiva, es decir, para que se dé el proceso de adsorción es de vital importancia la naturaleza y el tratamiento previo al que se halla sometido la superficie adsorbente y también de la naturaleza del adsorbato.

II. El proceso de adsorción es proporcional a la temperatura, pero, cuando hay una cantidad alta de adsorbato ya adsorbido se torna lento, es decir, se comienza a saturar el adsorbente.

III. Dado que los procesos de adsorción son generalmente exotérmicos, al aumentar la temperatura disminuye la cantidad adsorbida (Weber, 1979).

5.3 Espectrofotometría

Es una rama de la química analítica que permite medir la cantidad de energía radiante que es absorbida por un conjunto de elementos o un solo elemento en su estado puro, esta medición se encuentra en función de la longitud de onda de la radiación lumínica y a la longitud de onda en que se hagan mediciones. Dentro de la espectrofotometría se encuentran tres técnicas instrumentales: espectrometría de masas, espectroscopia infrarroja, espectroscopia UV/Vis. Esta

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

última la utilizada en este trabajo de investigación, también conocida como espectroscopía de absorción (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2014).

El espectrofotómetro es equipo utilizado para obtener una medida del valor de la absorbancia de una muestra a determinada longitud de onda, la longitud de onda se representa con la letra (λ). Este equipo tiene cinco componentes básicos:

- Una fuente de luz, como una lámpara de tungsteno que emite una luz que, se descompone en varios colores al pasar por un prisma. Cada color transmite o refleja una longitud de onda. El espectro de luz visible es el conjunto de todas las longitudes que comprenden valores desde 380nm hasta 700nm.
- Un monocromador para la selección de la longitud de onda a incidir sobre la muestra.
- Una celda.
- Un detector para medir intensidad de luz transmitida, para medir transmitancia, %T o Absorbancia, A.
- Un Sistema de lectura (Mora, 2007).

La transmitancia, T , de una disolución es la fracción incidente de la radiación transmitida por la disolución. T , suele ser expresada como un porcentaje, es decir, porcentaje de transmitancia. La relación entre %T y la concentración no es lineal, asume una relación logarítmica inversa.

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (5.1)$$

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

La absorbancia, A , de una disolución está relacionada con la transmitancia de una forma logarítmica. A medida que la absorbancia incrementa, la transmitancia disminuye. Ambos fenómenos se rigen según la ley de Lambert-Beer (Skoog et al., 2014).

$$A = \frac{\log 1}{T} = -\log T = -\log I/I_0 \quad (5.2)$$

En caso de que la absorbancia y la transmitancia sean iguales, es decir $I_0=I$, el valor de la transmitancia será el 100% indicando que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, así mismo el valor de la absorbancia será $\log 1 = 0$ (Abril et al., 2009).

5.4 Espectro de absorción

El espectro de absorción consiste en una representación gráfica que enseña el comportamiento de la luz absorbida a diferentes valores de longitud de onda (λ). Cuando se diluye un compuesto que tiene una absorbancia máxima dentro del rango que es capaz de medir el espectrofotómetro, se puede ver cada valor de la absorbancia a diferentes longitudes de onda. A partir de la gráfica del espectro de absorción se determina el valor de λ donde la absorbancia es máxima (λ_{\max}). Esta longitud de onda es la más apropiada para hacer estudios cualitativos y cuantitativos del compuesto.

El espectro de absorción depende fundamentalmente de la composición química del compuesto, aunque existen varios factores que influyen y causan variaciones en los valores de λ_{\max} , por ejemplo, el pH, la polaridad del solvente y las características propias de las moléculas vecinas (Abril et al., 2009).

A continuación, en la *Figura 1* se muestra un esquema realizado con un espectrofotómetro de laboratorio virtual del espectro de absorción de la hemoglobina a tres

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

distintas concentraciones. Se puede notar fácilmente que sin importar que la concentración disminuya, el pico de absorbancia (λ_{\max}) siempre es el mismo en los tres casos.

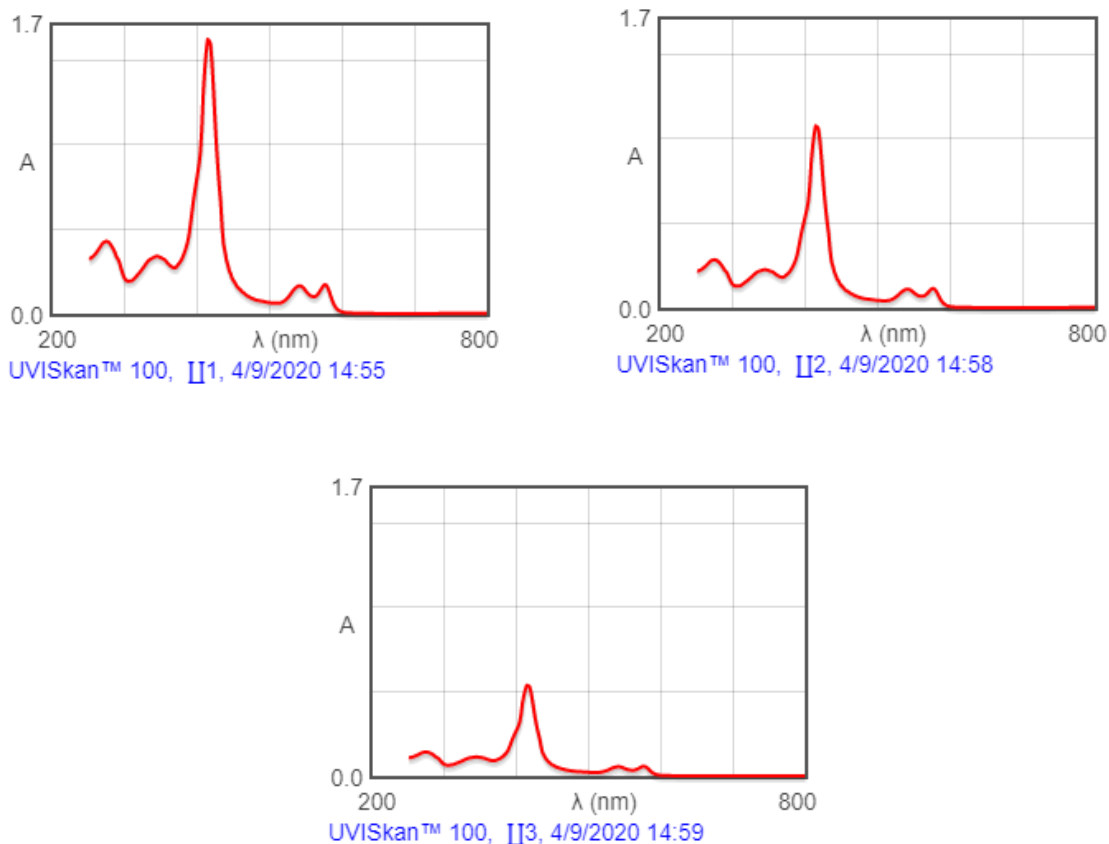


Figura 1 Espectro de absorción de la hemoglobina. Fuente : (Herráez, 2015).

5.5 Curva

de

calibración

Conocida también como curva de calibrado, es una representación gráfica que relaciona el resultado obtenido instrumentalmente en función de la concentración de un analito. Se obtiene preparando una solución patrón o stock, a partir de esta, se preparan disoluciones a distintas concentraciones para obtener los resultados instrumentales y construir la gráfica en mención.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

La calibración analítica, se realiza por medio del modelo matemático de la ecuación de la recta. Se trata de encontrar los puntos que ajusten una serie de números “n”, donde cada punto se define por una variable “x” independiente (concentración) y una variable “y” dependiente (absorbancia). La línea se define por una ordenada al origen (b) y una pendiente (m), resultando $y = mx + b$. Los datos permiten calcular y justificar la linealidad a través del coeficiente de determinación (R^2), este debe ser mayor a 0,995 para un ajuste perfecto (AGQ Labs Chile S.A, 2017). La *Figura 2* es la representación de un ejemplo de curva de calibración.

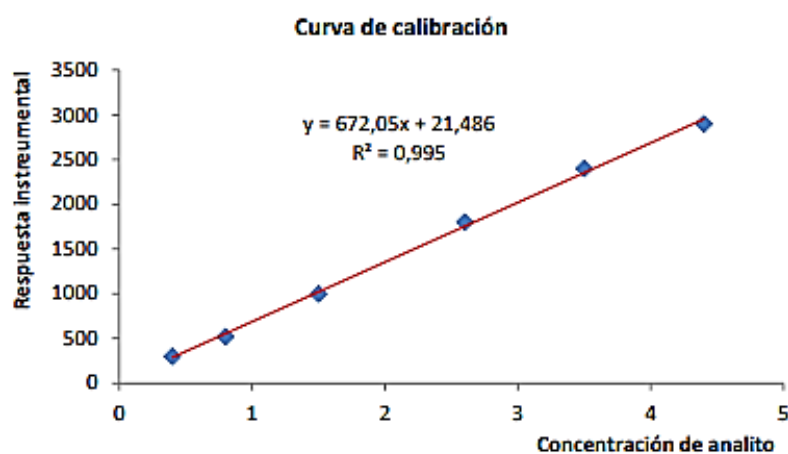


Figura 2 Ejemplo de curva de calibración. Fuente: (AGQ Labs Chile S.A, 2017).

5.6 Química verde

Desde hace mucho tiempo se reconoce que el planeta se encuentra inmerso en una situación desfavorable y actualmente no tiene el tiempo suficiente para cumplir con sus ciclos de regeneración y recuperación. El estrés al que se somete la tierra tiene en vilo a muchas especies

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

de flora y fauna y a la población humana en general. El exceso de producción y la contaminación están profundamente relacionados (Jaén, Esteve, & Banos-González, 2019).

Una alternativa para la solución de varios problemas ambientales puede ser la aplicación de los principios de la disciplina científica impulsada por Paul Anastas y Jonh Warner conocida como Química Verde (Pájaro Castro & Olivero Verbel, 2011). En la década de los 90s se empezó a hablar de la Química Verde y este par de investigadores en el año 1998 publican el libro “Green Chemistry: Theory and Practice”, principal referente del movimiento de la química de los procesos responsables (Universidad EAN, 2018). Los esfuerzos de la EPA para acelerar la adopción de esta disciplina revolucionaria y diversa han generado importantes beneficios ambientales, innovación y una economía fortalecida (EPA, 2020)

En forma resumida se pueden exponer los 12 principios de la Química Verde de la siguiente manera:

- 1) Prevenir la creación de residuos. Elaboración de planes o diseños que hagan posible una prevención efectiva de generación de residuos, esto resulta mejor que tratar o limpiar los residuos cuando se forman.
- 2) Maximizar la economía atómica. Los métodos o procesos sintéticos desarrollados deben emplear la mayor cantidad posible de cada material provisto.
- 3) Síntesis química menos peligrosa. El ideal es llevar los procesos químicos a la mínima toxicidad con el ambiente.
- 4) Diseño de sustancias seguras. Los productos químicos se deben diseñar con la toxicidad mínima, sin dejar de ser eficaz en su utilidad o aplicación.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- 5) Disolventes y condiciones de reacción seguras. Los disolventes utilizados en los procesos químicos deben ser inocuos o reducir dichas el uso de estas sustancias a lo mínimo.
- 6) Eficiencia energética. Hacer más eficientes los procesos químicos, procurando el menor gasto de energía posible. Así se reduce el impacto ambiental y económico.
- 7) Utilizar materias primas renovables. Cada vez que sea posible por cuestión de factibilidad en la técnica y economía, las materias primas deben proceder de fuentes renovables.
- 8) Evitar derivados químicos. Los procesos deben diseñarse de tal manera que no sea necesario el uso de pasos intermedios; bloqueo de grupo, protección/desprotección, agentes de separación, etc., así se evitan los pasos extras y se reducen los residuos.
- 9) Emplear catalizadores. Se deben utilizar los catalizadores óptimos y lo más reutilizables posibles.
- 10) Productos degradables. Los productos químicos desarrollados no deben ser persistentes en el ambiente cuando termine su vida útil. Tiene que ser biodegradable o en su defecto poder degradarse a derivados inertes.
- 11) Monitoreo constante de procesos químicos. Se debe hacer con el fin de evitar la contaminación, empleando sistemas de control para que no se produzcan sustancias peligrosas en los procesos.
- 12) Prevención de accidentes. Diseño de procesos seguros que reduzcan accidentes químicos y minimicen los daños cuando un accidente llegue a ocurrir.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

La aplicación de estas estrategias por parte de todos los grupos interesados contribuye a la sostenibilidad del planeta en la sociedad, la economía y el ambiente (Anastas & Warner, 1998). En esta investigación se elaboró un material seguro utilizando materia prima renovable y que es considerada un desecho, contribuyendo así a la disminución de estos y a su valorización.

5.7 Carbón de cáscaras de banana madura

El banano (*Musa paradisiaca*) se empezó a cultivar en el departamento del Magdalena, Colombia desde finales del siglo XIX, y más adelante comenzó la expansión hacia otras regiones del país, con razón de que dicho cultivo presenta claras ventajas comparativas. Actualmente se cultiva en 22 departamentos del País, siendo los mayores productores Antioquía, Magdalena y La Guajira. Este producto tiene una larga tradición dentro de la oferta nacional, Colombia ocupa el 9no lugar entre los productores de banana en el mundo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). Es una de las frutas tropicales más consumidas en el país, y además, gracias a la calidad del fruto y los acuerdos comerciales logrados, tiene una vasta participación en las exportaciones (Perfetti, Hernández, Balcázar, & Leibovich, 2013, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019, Valencia, 2020). El banano como fruto demora alrededor de 80 a 180 días en desarrollarse. Cada espiga puede producir de 300 a 400 fruto aproximadamente, pesando más de 40 kg (Ríos, 2014).

En la búsqueda de nuevos materiales sostenibles para remover contaminantes, se publica en el 2011 un estudio en Brasil, donde demostraron que las cáscaras de banana, al secarse y molerse hasta polvo, son capaces de remover la contaminación por metales pesados en cuerpos

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

de agua, siendo una forma económica y eficaz de remoción de éstos (Castro et al., 2011). Se pudo establecer que la cáscara del banana madura contiene sustancias como el hidroxilo y el carboxilo de pectina, con carga negativa capaz de atraer los iones con carga positiva de los metales pesados (García, 2016), lo cual la convierte en un buen material potencial para remover CEs. En la *Figura 3* se observa la interacción entre los grupos funcionales de un carbón activado y metales pesados como el cadmio y el plomo. Los grupos ácidos atraen hacia su superficie a los iones con carga positiva.

Por otro lado, se ha establecido que el carbón activado tiene grupos ácidos, una

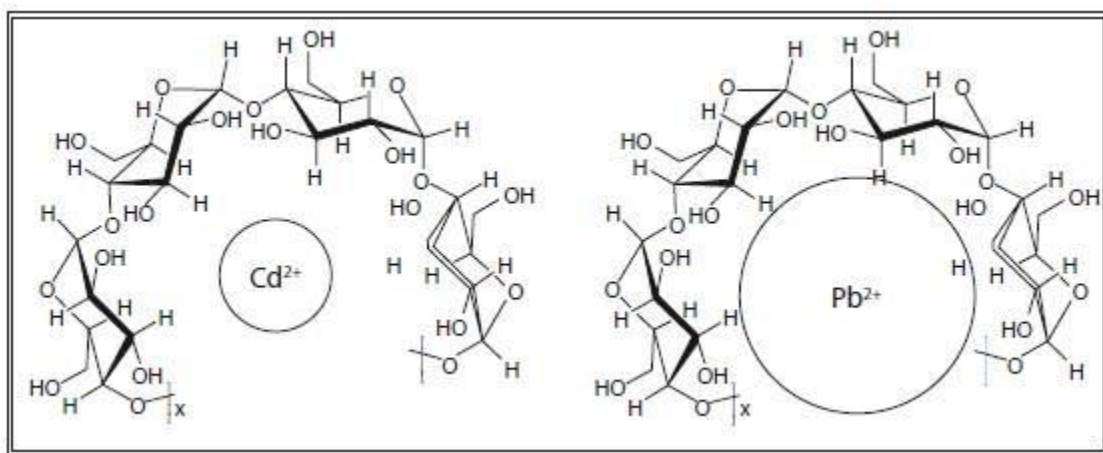


Figura 3 Interacción entre los grupos hidroxilos y metales pesados. Fuente: (Valladares-Cisneros et al., 2017)

característica importante que lo hace ideal para remover metales pesados y algunos otros contaminantes, por ejemplo en USA, el primer uso reportado de carbón activado fue para eliminar sabor y olor de un cuerpo de agua (Corapcioglu & Huang, 1987). Así mismo, se considera de gran ventaja la adsorción con carbón frente a otras metodologías porque este presenta una gran área superficial específica y volumen de poros, simplicidad de diseños, alta y eficiencia y costo relativamente bajo. La mayoría de los carbones activados comerciales son un poco más costosos debido a sus fuentes precursoras, por ello ha crecido el interés en la investigación de carbón activado altamente eficiente y de bajo costo, centrándose en materias primas relativamente baratas

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

y de bajo contenido inorgánico, como residuos agrícolas, biomasa y distintas sustancias sólidas (Mohan & Pittman, 2006, Yang, Yu, & Chen, 2015).

Investigaciones desarrolladas anteriormente indican que más allá de la naturaleza de la fuente utilizada para fabricar el carbón, los métodos para activarlos propician características finales en ellos. Los carbones activados térmicamente, se pueden clasificar en dos tipos, según Steenberg (Mattson & Mark, 1971):

- 1) Carbones activados a 200 - 400°C. Son conocidos como carbones L, desarrollados en superficies óxidos ácidos y valores bajo de pH. Estos adsorben bases, son hidrofílicos y poseen carga iónica negativa.
- 2) Carbones activados a 800 - 1000°C. denominados carbones H, desarrollados en superficies óxido básicas y con pH elevado. Estos adsorben ácidos y exhiben un potencial iónico positivo. Sin embargo, el enfriamiento de los Carbones H en contacto con el aire cambia el potencial iónico a un valor negativo debido a la formación de óxidos ácidos en la superficie.

Los valores de acidez y basicidad total, además de la cuantificación de los grupos funcionales ameritan un proceso de evaluación que se realiza por medio del método de Boehm. Esta metodología consiste en una titulación potenciométrica por retroceso de los grupos ácidos y básicos presentes en el carbón activado. La mayoría de carbones están determinados por un comportamiento ácido atribuido a la presencia de grupos carboxilos (RCOOH), anhídrido carboxílico ((RCO)₂ O), lactona (RCOOR), hidroxilo (ROH) de carácter fenólico o grupos carbonilos reactivos (RCO, R es la matriz carbonosa) (Boehm, 1966).

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

La porosidad es fundamental para que los minerales queden atascados dentro de la estructura del carbón, esta propiedad es la que se quiere aprovechar en esta investigación para remover el CEs tinte Azul Plata. La porosidad se define como el cociente entre el volumen total del poro al volumen evidente de la partícula o de polvo, y la porosidad total, es el cociente entre el volumen de poro vacío y el volumen de poro ocupado por el sólido. La porosidad se obtiene mediante la metodología Brunauer, Emmett y Teller (B.E.T) para hallar área superficial de un carbón.

Los poros también se clasifican por su tamaño según la IUPAC, como se muestra en la *Tabla 1* (López, 2004):

Tabla 1
Clasificación de los poros del carbón

DENOMINACIÓN DEL PORO	RADIO DE POROS (nm)
Microporo	1
Mesoporo	1 – 25
Macroporo	25

Fuente: (Esquivel, 2011).

Se puede apreciar el tamaño y forma de los poros mediante en la *Figura 4* y *Figura 5*.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

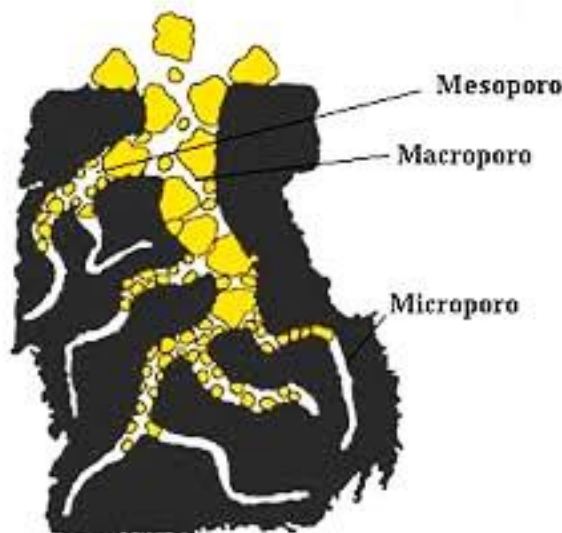


Figura 4 Clasificación de los poros del carbón. Fuente: (Speight, 2013).

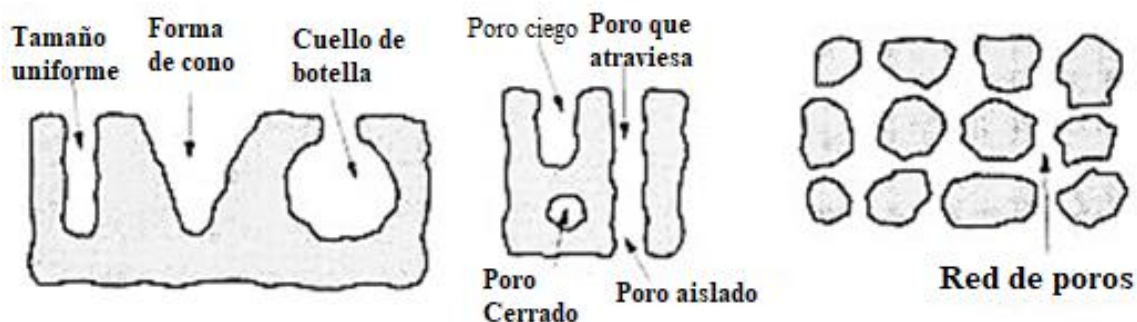


Figura 5 Forma o tipo de poros. Fuente: (Solano, 2016).

Por tanto, teniendo en cuenta la necesidad de explorar y aplicar métodos más sostenibles para la remoción de contaminantes emergentes, se consideró para hacer esta investigación, el uso de las cáscaras de banana madura, fruto de la planta *Musa paradisiaca* (clasificada en 1753 por Carlos Linneo), para obtener un carbón activado térmicamente y ensayarlo en la remoción del tinte capilar Azul Plata.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

5.8 Tinte capilar Azul Plata

Los tintes capilares son compuestos capaces de modificar el color del cabello, se pueden clasificar dependiendo de su duración o componentes: tintes temporales, tintes semipermanentes, tintes permanentes, tintes vegetales, tintes minerales y tintes sintéticos (Ramirez, 2015). Tal y como se aprecia en la *Tabla 2*.

Tipo de tinte	Características	Ejemplos
Vegetal	Por su alto peso molecular y afinidad con la queratina se depositan sobre la cutícula del cabello	Henna, manzanilla, nuez verde, índigo, ruibarbo
Mineral	Sales de sustancias metálicas, atraviesan la cutícula capilar y se introducen en el córtex, donde se oxidan y enlazan mediante puentes disulfuro para modificar el color	Acetatos, sales de plomo, sales de plata, sales de tiosulfato
Sintético	Son el mayor grupo que pueden originar coloración temporal, alto peso molecular y poca penetración.	Nitrofenilediaminas, nitraminofenoles, aminoantraquinonas, derivados aromáticos polihidroxílicos
Temporales	Colorantes directos en formulaciones ácidas que actúan sobre la cutícula del cabello	Colorantes azoicos, nitroderivados, acínicos, tiacínicos, indoaminas
Semipermanentes	Colorantes directos que no contienen oxidantes ni sustancias alcalinas. Duran 6-12 lavadas	Colorantes azoicos o antraquinónicos disueltos en disolventes orgánicos, colorantes azoicos ácidos
Tono sobre tono	Son tintes de oxidación, con bajas concentraciones de oxidantes e	Sales amoniacaes, aminas orgánicas, Azul plata

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

incorporan sustitutos del amoníaco
para alcalinizar. Duran 15-20 lavadas

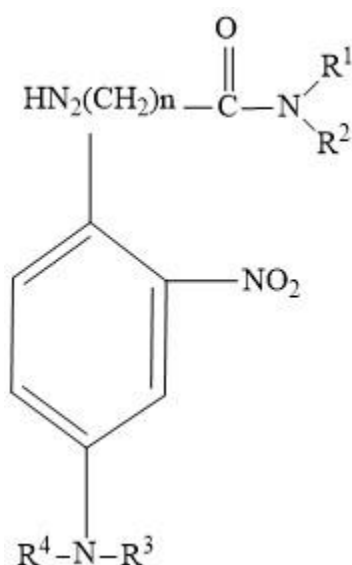
Permanentes	El color se desarrolla por reacciones de oxidación y polimerización en medio alcalino en el córtex	Bases de oxidación
-------------	--	--------------------

Nota: Tipos de tinte de cabello. *Fuente:* (Benaiges, 2007) (“Cosmetica capilar”, s/f).

El Azul Plata es un compuesto de fenilo nitro-sustituido patentado por Gillette Company en 1974. Usado para tinción de materiales queratinosos, incluido el cabello. Estos compuestos se pueden mezclar con otros, siendo el ingrediente activo para formar un tinte de cabello efectivo.

Los requerimientos para teñir el cabello de manera exitosa y segura son más complicados de lograr, en comparación con las fibras textiles, dado que estos tintes se aplican directamente en el cabello, se requiere que el tiempo de acción sea entre 5 minutos y 10 minutos con un máximo de 45 minutos, no es recomendable tener el tinte más de 30 minutos. En cuanto a la temperatura entre 20 °C hasta 45 °C. La tinción de fibras textiles puede llegar a temperaturas tan altas como 100°C y mucho más tiempo de duración en el proceso.

El compuesto se representa con la formula representada en la *Figura 6*:



REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Figura 6 Fórmula del Compuesto de Fenilo Nitro-sustituido. Fuente: (Sokol & Tsai, 1974 , PerkinElmer Informatics, 2020).

Del compuesto principal de esta fórmula patentada del tinte capilar Azul Plata, se tiene que: R^1 y R^2 , cada uno puede ser un alquilo primario de cadena recta o ramificada, de 1 a 6 carbonos, como metil, etil, n-butyl, n-hexil, etc.; R^3 y R^4 pueden ser cada uno, un hidroxialquilo que contiene 2 ó 3 átomos de carbono, por ejemplo: hidroxietil, hidroxipropil e hidroxisopropil; n es un número entero entre 1 y 6 (Sokol & Tsai, 1974).

El tinte capilar Azul Plata es actualmente, una mezcla del ingrediente activo mostrado en la *Figura 6* con otras sustancias de origen orgánico. La concentración requerida de este ingrediente activo para la efectividad tintórea varía con el tipo particular de tinte y el color deseado. La concentración puede variar entre 0,01% y 10%. Lo recomendable es entre el 0,05% y 5%; en el caso de las composiciones de tinte acuosas que se aplican directamente sobre el cabello humano, el intervalo aún más preferible es de 0,5% a 2% (Sokol & Tsai, 1971).

Por ejemplo, para obtener un compuesto de fenilo nitro-sustituido se deben mezclar aminoácidos (como beta-alanina), metanol, gas clorhídrico, cloroformo, etanol, bicarbonato de sodio, hidrocloreto de propionato, dimetilamina, platino, hidróxido de amonio, entre otros. Hacer distintas mezclas de compuestos y someterlos a procesos de calentamiento por reflujo, eliminación de disolventes al vacío, precipitación con éter, enfriamiento, filtración, hidrogenación, entre otros. El resultante, un producto aceitoso, que solidifica a temperatura entre 73°-79°C (Sokol & Tsai, 1971).

Una vez obtenido el compuesto de fenilo nitro-sustituido, este se mezcla con dietanolamida láurica, propilenglicol y agua. En cantidades de 2g cada uno y el agua 100g. Proporcionando una dispersión homogénea. El resultado, un tinte azul plateado de intensidad

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

media, adecuado para canas. Del mismo modo en que se prepara el tinte expuesto en el ejemplo, se pueden lograr otros tintes con distintas características, ideales para otros requerimientos de personas (Sokol & Tsai, 1974).

6 Metodología

6.1 Tipo de investigación

Se llevó a cabo una investigación cuantitativa de tipo experimental en los laboratorios de Química Básica y en el Centro de Investigación de Tecnologías Ambientales (CITA) de la Universidad de la Costa, con el fin de demostrar la eficiencia de remoción del tinte capilar Azul Plata con carbón activado de cáscaras de banana en muestras de aguas, teniendo así una variable experimental no comprobada, bajo condiciones controladas, y, procurando encontrar los procesos o métodos que mejor describan las situaciones halladas antes y después del diseño experimental (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010).

Para llevar a cabo esta investigación se siguieron una serie de pasos, de gran similitud al conocido método general de investigación propuesto por Hernández y sus colaboradores en 1998 (C. Bernal, 2010), dichos pasos son mencionados en la *Figura 7*:

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

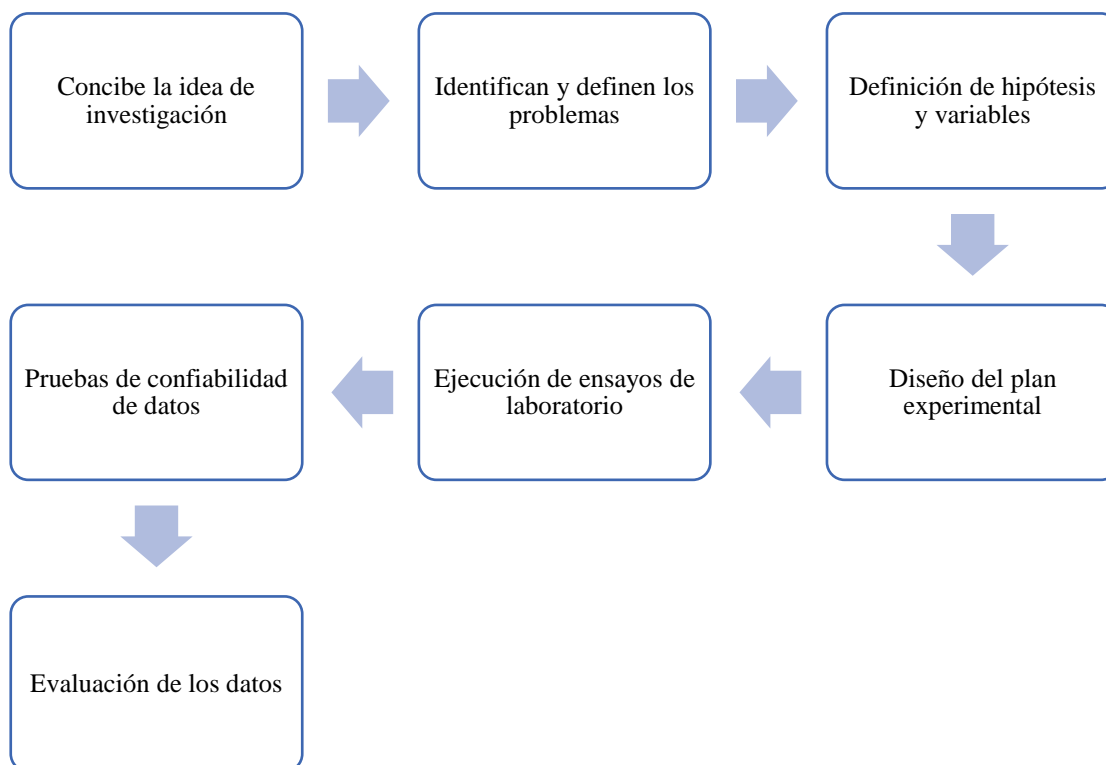


Figura 7 Método científico de la Investigación experimental. Fuente: Autor.

6.2 Metodología experimental

Consiste en varias fases de trabajo, con resultados independientes. Se obtendrán resultados de la elaboración del carbón activado térmicamente, del espectro de absorción, de las curvas de calibración y por último del ensayo por lotes. Cada uno de estos procesos se describen a continuación.

6.2.1 Elaboración del carbón activado térmicamente.

Antes de comenzar con la elaboración del carbón con cáscara de banana madura (*Musa Paradisiaca*), se retiraron “los floemas” de 175-180 g de cáscaras (parte blanca de las cáscaras) y después se introdujeron al horno BINDER FD23, inmediatamente se dispusieron de manera homogénea sobre la superficie de una cápsula de porcelana previamente sometida a secado, el

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

tiempo total de calentamiento para las cáscaras de banana fue de 2 horas a una temperatura de 300°C, como se puede observar en la *Figura 8*. El tiempo y temperatura empleados están basados en una investigación anterior en la cual también se ensayó con este mismo material (Peluffo & Castro, 2019). Luego se almacenó en un desecador hasta temperatura ambiente para someterlas a trituración con un mortero. Después el material resultante de la trituración se tamizó en condiciones de 850 micras. Se lavó con agua ultrapura hasta obtener incoloro el sobrenadante y se secó por 1 hora a 100°C obteniendo alrededor de 120 g del carbón granular. El proceso de fabricación tarda alrededor de 4 horas. El procedimiento se evidencia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Figura 8 Cáscaras de banana después del calentamiento a 300°C. *Fuente:* Autor

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

**6.2.2 Caracterización fisicoquímica del carbón activado térmicamente.****6.2.2.1 Determinación del área superficial.**

EL área superficial se determinó a partir de isotermas de adsorción–desorción de Nitrógeno a 77 K, aplicando el método de Brunauer, Emmett y Teller (B.E.T). Este análisis se realizó en el laboratorio Química Internacional Quintal S.A y se puede apreciar en la *Tabla 3*.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Tabla 3

Resultado obtenido en la determinación del área superficial

Tipo de Carbón	Área Superficial (B.E.T) (m ² /g)
Granular 300°C (850 micras)	0.5463

Nota: Ver *Anexo I*. Resultados suministrados por el laboratorio Quintal S.A *Fuente:* Laboratorio quintal S.A.

6.2.2.2 *Análisis próximo.*

El contenido de humedad, materia volátil y cenizas se determinó de acuerdo con la metodología establecida en la norma ASTM D 3173-75. A continuación se discriminan los pasos realizados:

6.2.2.2.1 *Contenido de humedad según la norma ASTM 2867.*

Se taró un crisol de capacidad de 30mL con tapa y se determinó su masa con una balanza analítica digital ADAM, luego se colocó 1,0 gramo de carbón granular 300°C dentro del crisol, se tapó y se introdujo en la mufla THERMOLINE ThermoScientific donde se sometió a calentamiento a 150°C durante un tiempo de tres horas, se secó y se llevó rápidamente a un desecador hasta temperatura ambiente, se trasladó a la balanza hasta obtener una masa constante a temperatura ambiente (ASTM International, 2018).

La humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Pérdida de Peso}}{\text{Peso de muestra}} \times 100 \quad (6.1)$$

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

6.2.2.2.2 *Contenido de material volátil según la norma ASTM 5832.*

Primero se taró un crisol de capacidad de 30mL con tapa y se determinó su masa con una balanza analítica digital, luego se colocó 1,0 gramo de carbón dentro del crisol se tapó y se introdujo en la mufla a 950°C por 7 minutos, se dejó secar y se llevó rápidamente a un desecador hasta enfriarse, por último, se determinó la masa del crisol tapado a temperatura ambiente (ASTM International, 2018). El contenido de material volátil se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Peso perdido (\%)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \quad (6.2)$$

Donde:

A= peso de la muestra inicial en g.

B= peso de la muestra luego de calcinar en g.

Contenido de material volátil, (%) = C-D

Donde C= peso perdido, % y D= humedad en %.

6.2.2.2.3 *Contenido de ceniza según la Norma ASTM 2866.*

Se taró un crisol de capacidad 30mL con tapa y se determinó su masa con una balanza analítica digital, luego se colocó 0,1 gramo de carbón dentro del crisol, se tapó y se introdujo en la mufla a 650°C, de 3-16 horas, dependiendo del cambio de la masa al llevar a la balanza analítica digital, se consideró que la incineración había sido completa hasta cuando la masa fue constante (ASTM International, 2018). La ceniza se calcula como porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Ac} = \frac{F - G}{B - G} \times 100 \quad (6.3)$$

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Donde:

Ac = cantidad de ceniza expresada en porcentaje

G= masa del crisol, en g.

B= masa del crisol con la muestra seca, en g.

F= masa del crisol con la ceniza, en g.

6.2.2.3 Método Böehm.

Los grupos funcionales se cuantificaron parcialmente siguiendo el método de Böehm, para ello se hizo necesario la preparación de soluciones de NaOH, NaHCO₃, Na₂CO₃, y HCl con concentraciones entre 0,05 M y 0,076 M, se pesaron cantidades adecuadas de cada uno de los reactivos teniendo en cuenta su respectiva pureza (Ver Tabla 4) (Eley, Pines, & Weisz, 1991).

Tabla 4
Reactivos y cantidades para la preparación de soluciones

SUSTANCIA	CANTIDAD (g)
NaOH	2.0238
NaHCO ₃	4.2429
Na ₂ CO ₃	5.3261

Fuente: Autor.

Una vez preparadas todas las soluciones anteriores se estandarizaron, lo cual permitió determinar sus concentraciones reales. Los pasos se describen a continuación:

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- ✓ La solución de NaOH se estandarizó usando ftalato ácido de potasio (FHK) como estándar primario y fenolftaleína como indicador. Se pesó 0.1 g de FHK luego se disolvió en 50 cm³ de agua destilada y por último se le adicionó 3 gotas del indicador fenolftaleína. La concentración de la solución se determinó por la fórmula:

$$M = \frac{m \times \frac{1 \text{ mol FHK}}{204,23 \text{ g FHK}} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol FHK}}}{\frac{V}{1000}} \quad (6.4)$$

Donde:

M= es la molaridad de la solución de NaOH.

m = es la masa de FHK en g (g)

V = es el volumen en cm³ de solución de NaOH gastado.

- ✓ La solución de NaHCO₃ se estandarizó usando una solución estándar de HCl 0,1 M y como indicador naranja de metilo. Se tomó una alícuota de 15 cm³ de HCl y se le adicionó 3 gotas de indicador de naranja de metilo. La concentración de la solución se calculó con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{c_{HCl} \times V_{HCl}}{V_{NaHCO_3}} \quad (6.5)$$

Donde:

M= Molaridad de la solución de NaHCO₃.

V_{HCl} = Volumen de la alícuota del ácido en cm³.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

C_{HCl} = Concentración molar de la solución estándar.

V_{NaHCO_3} = Volumen en cm^3 de $NaHCO_3$ gastado en la estandarización.

- ✓ La solución de Na_2CO_3 se estandarizó usando una solución estándar de HCl 0,1 M y como indicador naranja de metilo. Se tomó una alícuota de 15 cm^3 de HCl y se le adicionó 3 gotas de indicador de naranja de metilo. La concentración de la solución se calculó con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{c_{HCl} \times V_{HCl}}{V_{Na_2CO_3}} \quad (6.6)$$

Donde:

M = Molaridad de la solución de Na_2CO_3 .

V_{HCl} = Volumen de la alícuota del ácido en cm^3 .

C_{HCl} = Concentración molar de la solución estándar.

$V_{Na_2CO_3}$ = Volumen en cm^3 de Na_2CO_3 gastado en la estandarización.

- ✓ Para la cuantificación de los grupos funcionales orgánicos mencionados, se colocó por separado 0,1 g del carbón en 50 cm^3 de cada una de las soluciones, luego se agitó por 24 horas, en un agitador horizontal a una temperatura de 25°C (ver Figura 9). Por último, se filtró, se tomó una alícuota y se le determinó la concentración por los métodos expuestos anteriormente. Este procedimiento se realizó por triplicado.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE



Figura 9 Montaje de las muestras del Método Böhme en el agitador. Fuente: Autor ✓ El

número de sitios ácidos se calculó asumiendo que el NaOH neutraliza a los grupos carboxílicos, lactónicos y fenólicos; el Na₂CO₃ a los grupos carboxílicos y lactónicos, y el NaHCO₃ solo a los grupos carboxílicos. Los sitios activos ácidos son expresados en mEq/g de muestra seca y se determinaron mediante la siguiente ecuación:

$$[mEq/g \text{ neutralizados}] = \frac{(C_i - C_f) \times V}{m_{CA}} \times 100 \quad (6.7)$$

Donde:

C_i y C_f = Concentraciones molares iniciales y finales respectivamente de la solución (N).

V= Volumen de solución utilizado (L).

m_{CA} = Masa de carbón activado en g (g).

100 = Factor de conversión (Eley et al., 1991)

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

6.2.2.4 *Análisis infrarrojo.*

Entre las técnicas espectroscópicas se destaca el infrarrojo. Esta técnica es aplicada generalmente de forma cualitativa, siendo muy útil para estudiar la transformación, generación o destrucción de los grupos funcionales tras distintos tratamientos en los carbones activados (Maldonado-Hódar, Morales-Torres, Perez-Cadenas, & Carrasco-Martín, 2011). El análisis del espectro y la asignación de las bandas se realizan por comparación con compuestos orgánicos puros, las bandas aparecen tabuladas, aunque existen ciertas discrepancias a la hora de asignarlas en la región por parte del investigador. Con el fin de corroborar los grupos funcionales presentes en el carbón a usar, se realizó un análisis Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) en el equipo iraffinity-1s shimadzu. Este análisis fue realizado en el laboratorio de biotecnología de la Universidad del Atlántico, como se puede apreciar en la *Figura 10*.



Figura 10 Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) . Fuente: Autor

6.2.3 **Espectro de absorción.**

Para la construcción del espectro de absorción se seleccionaron 4 marcas comerciales del tinte o matizante Azul Plata, y por confidencialidad y respeto a las marcas, serán denominadas así:

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Muestra comercial N°1, Muestra comercial N°2, Muestra comercial N°3 y Muestra comercial N°4.

El espectro de absorción se realizó utilizando 1mL de la sustancia comercial y se llevó hasta 50 mL en matraz aforado. Después de obtenida la solución, se comenzaron a tomar los datos de absorbancia de la sustancia a distintas longitudes de onda iniciando a 320 nm y finalizando casi en 1000 nm. Dicho proceso se hizo una vez por cada una de las marcas comerciales utilizadas en esta investigación. El espectrofotómetro DR3900 se puede apreciar en la *Figura 11*.



Figura 11 Espectrofotómetro DR 3900. Fuente: Autor

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

6.2.4 Curvas de calibración.

Para preparar la curva de calibración fue necesario realizar la solución stock de cada una de las marcas utilizadas en esta investigación (Muestra comercial N°1, Muestra comercial N°2, Muestra comercial N°3 y Muestra comercial N°4). La solución stock tenía una concentración de 2 mL de sustancia y se completaba hasta 100 mL con agua destilada en un matraz aforado, se puede observar en el

Anexo 3.

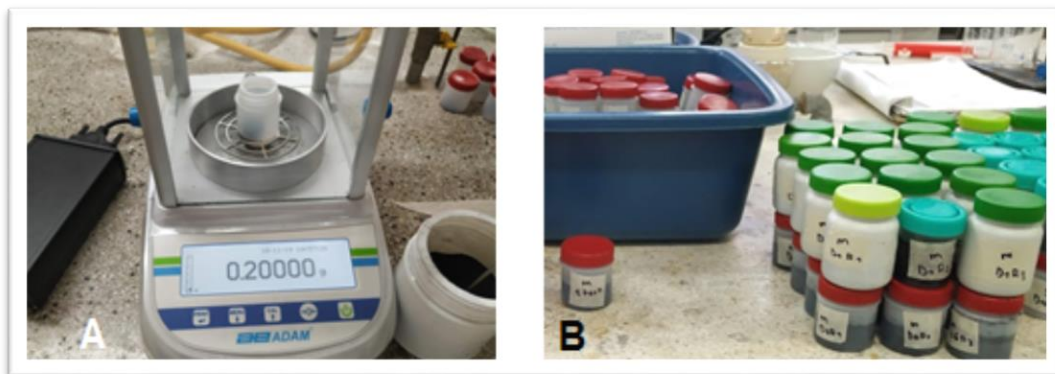
Posterior a esto se midieron las absorbancias de las diluciones a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 mL respectivamente, de cada solución stock. Con los datos de la absorbancia se construyó la curva de calibración correspondiente.

6.2.5 Ensayos de remoción.

Se hicieron mediante un estudio por lotes en recipientes plásticos de aproximadamente 50 mL, a los cuales se les agregaron (a cada uno) 0,2 g del carbón activado preparado en este estudio y se pusieron en contacto sobre un shaker ClayAdams 1213 con agitación horizontal, a 120 rpm por 8 horas, y a temperatura ambiente, con las diluciones de cada una de las muestras comerciales del matizante Azul Plata como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Peluffo & Castro, 2019). En los estudios por lotes los rangos usados del adsorbente varían entre 0,2 g y 1 g (Castellar et al., 2019, Castellar-Ortega et al., 2020). Se prepararon soluciones stock de las cuatro (4) marcas comerciales estudiadas y se diluyeron desde 1% hasta 10% v/v, y de cada dilución se realizaron 3 réplicas. Se decidió este rango para las diluciones porque en estudios preliminares para obtener la curva de calibración, se pudo

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

determinar que a mayores concentraciones el valor de lectura del equipo (Marca: HACH, Referencia: DR 3900) superaba las 2 unidades en absorbancia, arrojando error de lectura.



Posterior al tiempo de contacto, las muestras se filtraron para extraer el carbón activado y obtener las soluciones claras al final del proceso, luego del cual, se midió la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro, como se observa en la siguiente *Figura 12*. En total se procesaron 120 muestras.



Figura 12 Procesamiento de las muestras. (A) Muestras realizadas (B) Agitación en Shaker (C) Filtración de muestras. *Fuente:* Autor.

7 Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos siguiendo lo planteado desde los objetivos de este trabajo y la metodología experimental.

7.1 Caracterización fisicoquímica

7.1.1 Determinación del área superficial.

Según la metodología Brunauer, Emmett y Teller (B.E.T) se obtuvieron los resultados expresados en la *Tabla 5*.

Según Skoog et al., (2014) El efecto neto de la superficie de adsorción es, eliminar de la

Tabla 5

Resultado obtenido en la determinación del área superficial

Tipo de Carbón	Área Superficial (B.E.T) (m ² /g)
Granular 300°C (850 micras)	0.5463

Nota: Ver *Anexo I*. Resultados suministrados por el laboratorio Quintal S.A.

Fuente: Laboratorio quintal S.A.

disolución a un compuesto soluble que se une como contaminante a la superficie. Este carbón solo recibió tratamiento térmico, combustión incompleta, a temperatura baja de 300°C, en comparación con otros carbones activados cuyas temperaturas de activación son de 500°-1000°C (Kaouah, Boumaza, Berrama, Trari, & Bendjama, 2013, Castellar et al., 2019, Danish et al., 2018, Castellar-Ortega et al., 2020). Con el resultado obtenido del análisis BET, se puede decir que este carbón es mesoporoso, debido a que las cáscaras de bananas poseen agua en su interior y cuando estas moléculas se someten a combustión se evaporan y generan espacios vacíos. Entonces, los mesoporos son los poros más comunes por la naturaleza misma de las cáscaras y el tipo de activación. Si se quisiera cambiar el tamaño de los poros es menester realizar una

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

activación química o en su defecto aumentar el tiempo de activación para favorecer la creación de superficie específica y en consecuencia estrechar o cerrar algunos poros (Mohan & Pittman, 2006, Feijoo, De La Torre, & Uribe, 2019). Por ejemplo, como sucedió con el aprovechamiento de los residuos de cuescos de palmera en un estudio publicado, donde sometieron al cuesco a un tiempo de pirólisis de 10 días a 380°C, y al final obtuvieron un carbón activado con características microporosas (Mejia, Patiño, Alvarez, & Abreu 2007).

7.1.2 Análisis próximo.

El análisis próximo del carbón entrega información relacionada con características generales del carbón mediante la estimación del contenido de humedad, material volátil y cenizas. En la *Tabla 6* se pueden observar los diferentes porcentajes obtenidos en la realización de cada una de las pruebas del análisis próximo.

Tabla 6

Resultados del análisis próximo en %

Carbón 300°C granular	% Humedad	% Material volátil	% Cenizas
	8,04	1,29	23,8

Fuente: Autor

El contenido de humedad, material volátil y cenizas depende la constitución química de la especie vegetal. La humedad contenida en el interior del carbón se conoce como humedad inherente y es objeto de análisis, la medida cuantitativa del agua es un poco compleja debido a la presencia de esta en más de una forma dentro de la matriz del carbón (Karr, 2013, Speight, 2013). El material volátil hace referencia a los componentes del carbón (exceptuando la

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

humedad), que son liberados a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, el carbón granular 300°C presenta un porcentaje bajo de material volátil esto se le atribuye al bajo tratamiento térmico dado, cuando se elimina el material volátil aumenta el contenido de carbono (Coloma, 1996). El contenido de cenizas es el residuo no combustible que permanece después de la quema del carbón (Karr, 2013).

7.1.3 Método Böehm.

En la Tabla 7 se muestran los resultados del volumen gastado de las soluciones “Stock” de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃, y el valor de la concentración inicial para el carbón activado térmicamente a 300°C.

Tabla 7

Resultados de la estandarización de las soluciones “Stock”

7.1.3.1 Estandarización de las soluciones stock.

Solución	Volumen gastado (mL)	Concentración (M)
NaOH	3,5	0,045
Na₂CO₃	29,5	0,025
NaHCO₃	28,3	0,053

Fuente: Autor

7.1.3.2 Estandarización de las soluciones finales.

La Tabla 8 muestra los resultados de los volúmenes gastados de las soluciones de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃ después de estar en contacto con las muestras del carbón obtenido por calcinación de cáscaras de bananas maduras a 300°C con tamaño de partículas 850 micras (Granular).

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Tabla 8*Resultados de la estandarización de las soluciones finales*

Tipo de carbón	Solución	Concentración inicial (M)	Concentración final (M)	Mol/g neutralizados	mEq/g neutralizados
Carbón 300°C granular	NaOH	0,045	0,039	3,25 x10 ³	3,25
	Na ₂ CO ₃	0,050	0,0484	1,2 x10 ³	1,2
	NaHCO ₃	0,053	0,0494	1,8 x10 ³	1,8

Fuente: Autor

Volumen gastado (mL)						
	Solución	Muestra 1 (mL)	Muestra 2 (mL)	Muestra 3 (mL)	Promedio (mL)	Concentración (M)
	NaOH	3,8	3,7	3,7	3,73	0,0394
Carbón 300°C granular	Na ₂ CO ₃	31,5	30,5	30,8	30,9	0,0242
	NaHCO ₃	30,4	30,3	30,6	30,4	0,0492

*Fuente: Autor***7.1.3.3 Cuantificación de los grupos funcionales ácidos superficiales.**

La cantidad de solución de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃ neutralizada se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (7.1)$$

Teniendo en cuenta la ecuación anterior se realizaron las titulaciones, cuyos resultados están plasmados en la Tabla 9.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Tabla 9

Cantidad de solución neutralizada en mEq/g del carbón

Para la determinación de grupos funcionales por valoración o titulación es necesaria la neutralización selectiva de cada grupo funcional mediante el uso de disoluciones básicas; un grupo funcional con un determinado valor de pKa solo puede ser neutralizado por una base con un mayor valor de pKa, haciendo el análisis selectivo para el grupo funcional de interés.

Para esta técnica se usan comúnmente compuestos básicos o ácidos dependiendo del grupo a determinar: Hidróxido de sodio (NaOH, pKa= 15,74) que sirve para determinar grupos

	Acidez total	Ácidos Carboxílicos	Lactonas	Fenoles
Granular 300°C	3,25	1,8	0,0	1,9

Fuente: Autor

carboxílicos, fenólicos (con un pKa entre 8-11) y lactonas; Carbonato de sodio (Na₂CO₃, pKa= 10,25) para ácidos carboxílicos y fenólicos; Bicarbonato de sodio (NaHCO₃, pKa=6,37) para neutralizar ácidos carboxílicos o grupos fenólicos; Ácido clorhídrico (HCl) para determinar el importe de los grupos hidroxilo (OH)(González, 2015). No obstante, una de las grandes desventajas es que estas titulaciones, solo pueden cuantificar los grupos funcionales próticos (por ejemplo, COOH, OH), y por lo tanto, no se puede aplicar a grupos funcionales apróticos (González, 2015). Asumiendo que el NaOH neutraliza a los grupos carboxílicos, lactónicos y fenólicos; el Na₂CO₃ a los grupos carboxílicos y lactónicos, y el NaHCO₃ sólo a los grupos carboxílicos, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la cantidad en mEq/g de grupos funcionales ácidos. La

Tabla 10 muestra los resultados de la cantidad de los diferentes grupos funcionales ácidos orgánicos.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

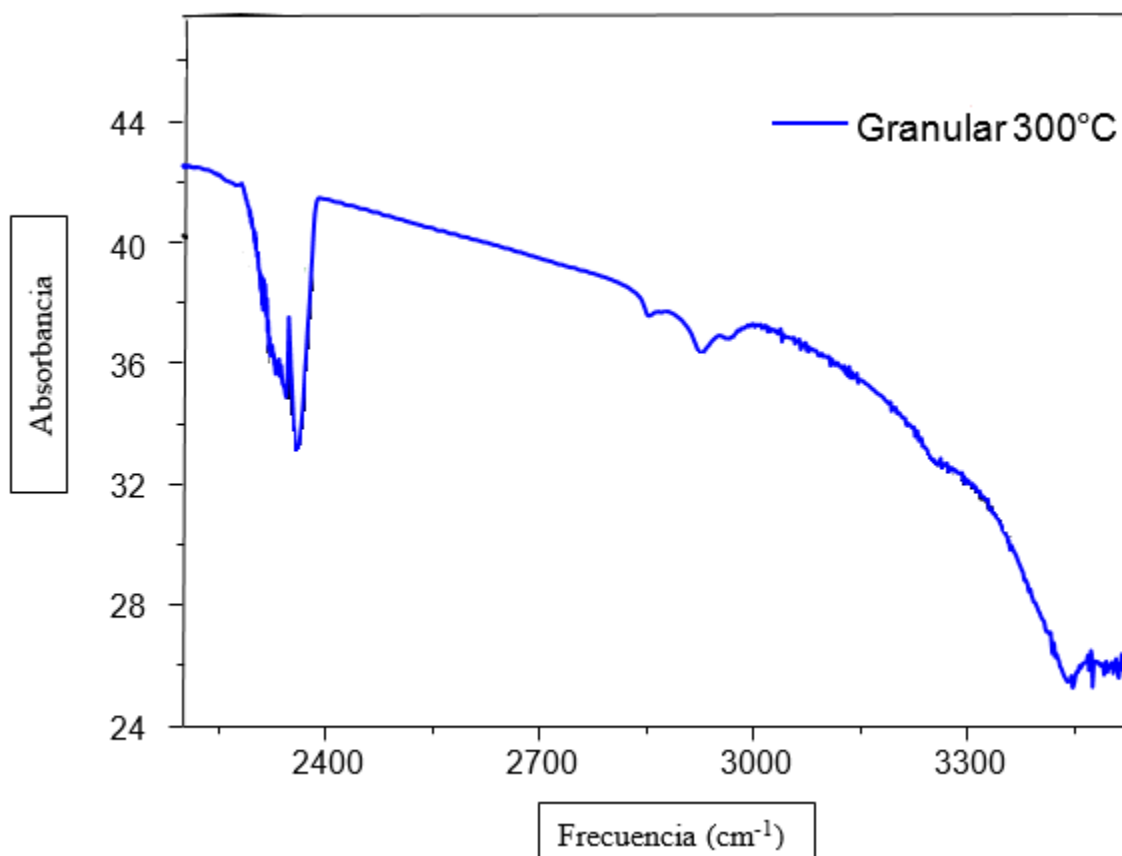
7.1.1 Análisis infrarrojo.

Tabla 10

Cuantificación de los grupos funcionales superficiales orgánicos del carbón

	Acidez total	Ácidos Carboxílicos	Lactonas	Fenoles
Granular 300°C	3,25	1,8	0,0	1,9

Fuente: Autor



REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Figura 13 Análisis Infrarrojo. *Fuente:* Autor

El espectro Infrarrojo del carbón trabajado durante esta investigación muestra una adsorción intensamente marcada en los valores de 2400 cm^{-1} , que se podría relacionar con las cetonas ($\text{C}=\text{C}=\text{O}$). También se nota una banda entre 2800 y 3000 cm^{-1} , se considera que corresponde a estiramiento y deformación del grupo C-H (Maldonado-Hódar et al., 2011). Aunque podría ser contaminación por dióxido de carbono en las muestras a bajo tratamiento térmico.

Otro estiramiento se muestra desde los valores de 3300 cm^{-1} hasta 3600 cm^{-1} , esto característico del grupo OH en alcoholes, fenoles y ácido carboxílicos. Lo que se podría atribuir a una superficie muy heterogénea con grupos ácidos en mayor cantidad (Maldonado-Hódar et al., 2011). Este resultado cualitativo, se relaciona con el proceso cuantitativo de determinación de los grupos funcionales ácidos siguiendo el método cuantitativo de Böehm, donde se puede inferir por los resultados obtenidos que predominan grupos ácidos en todos los carbones independientes del tratamiento térmico. Sin embargo, al utilizar este método cabe la posibilidad de cuantificar como funciones oxigenadas a grupos funcionales de otros heteroátomos.

7.2 Espectro de absorción

Los resultados de los espectros de absorción de las cuatro marcas comerciales se muestran desde la *Figura 14* hasta la *Figura 17*.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

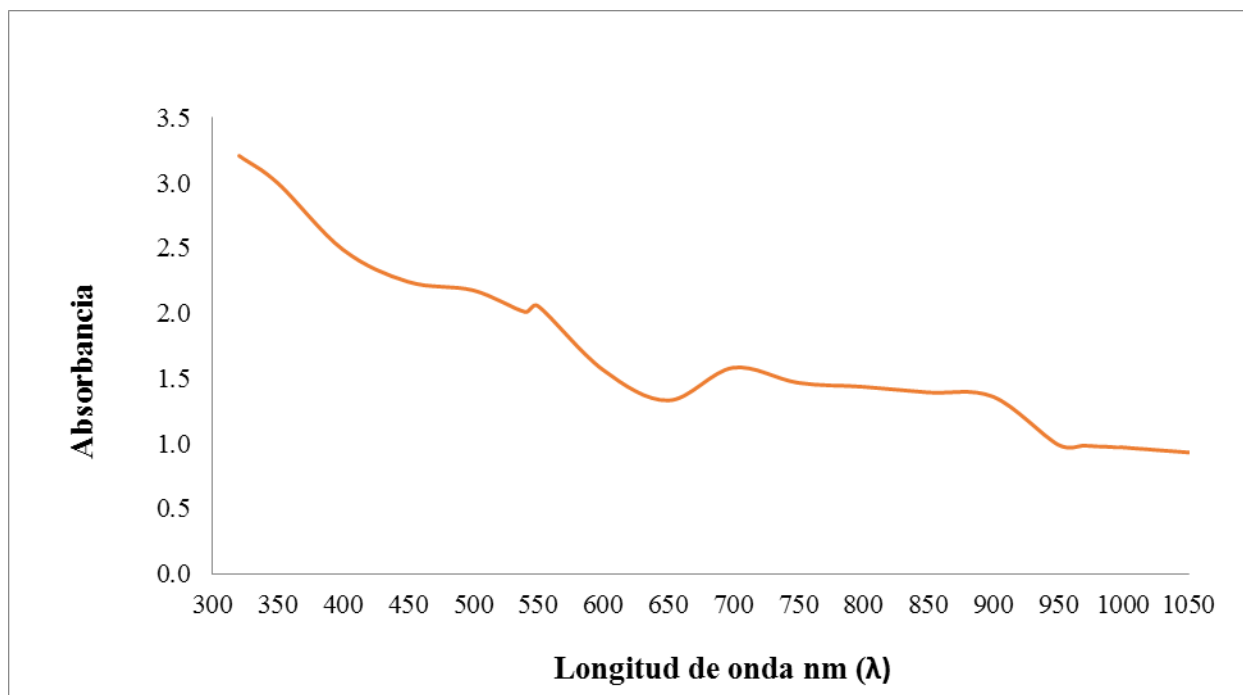


Figura 14 Espectro de absorción Muestra comercial N°1. Fuente: Autor

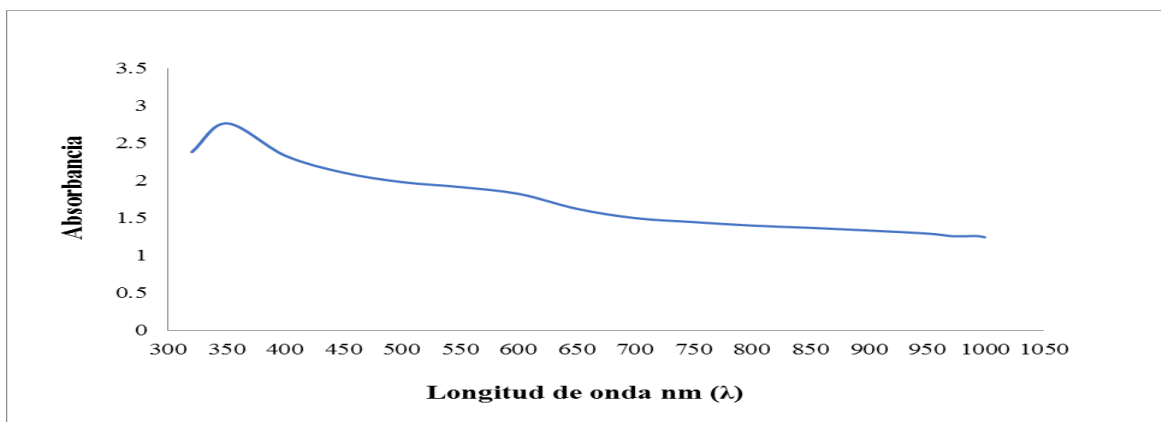


Figura 15 Espectro de absorción Muestra comercial N°2. Fuente: Autor.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

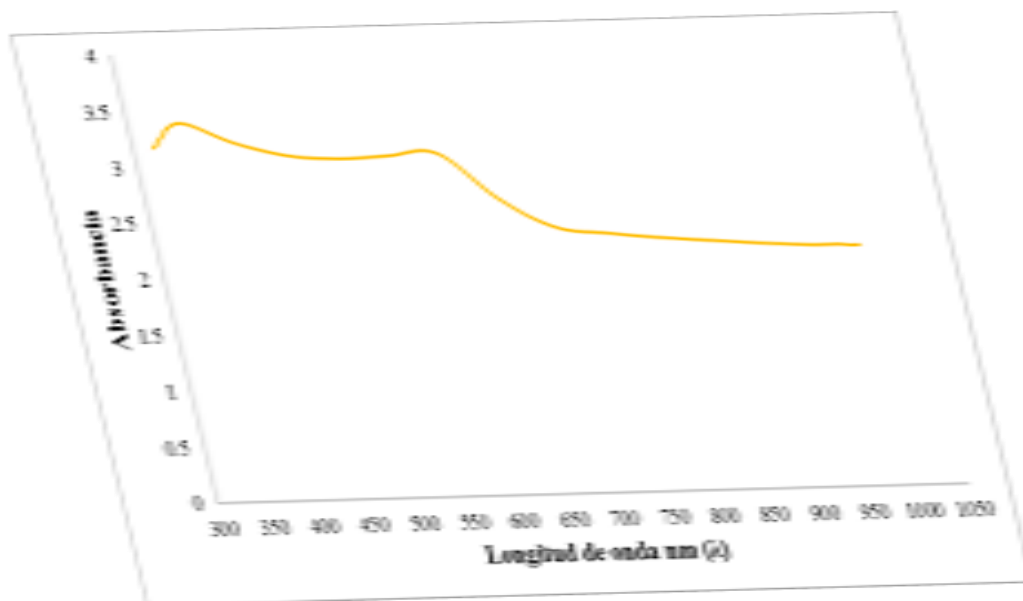


Figura 16 Espectro de absorción Muestra comercial N°3. Fuente: Autor.



Figura 17 Espectro de absorción Muestras Comercial N°4. Fuente: Autor

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

El estudio de estos compuestos se hizo en el espectro UV/Vis, con rango medido en el espectrofotómetro desde 300nm hasta 1000nm, gracias a este rango de medición fue hallada la absorción máxima.

En consulta de las bases de datos Scielo, Science Direct, Web of Sciences y Scopus , no se encontraron artículos, ni tesis o informes científicos, referentes al espectro de absorción del colorante comercial Azul Plata en particular, ni su clasificación como contaminante emergente, siendo este un producto de belleza bastante consumido en peluquerías o centros de estética y en hogares de personas que se tinturan el cabello; tampoco se encontró información referente a la remoción de este tinte de aguas residuales. Así que los hallazgos son algo totalmente nuevo y que apuntan hacia nuevos interrogantes.

Las mediciones realizadas en esta investigación fueron hechas a $\lambda=540\text{nm}$ debido a que este punto se encuentra un comportamiento similar en las cuatro marcas comerciales estudiadas, se logra identificar una especie de “meseta” en las gráficas, al ser un punto “estable”, se decide realizar aquí las medidas de absorbancia para estudiar los comportamientos de equilibrio y remoción del contaminante emergente estudiado.

El tinte azul plata en sus diferentes presentaciones (las 4 marcas comerciales estudiadas) tiende a tener distintas tonalidades en su color, desde un violeta medio hasta un azul oscuro; y la viscosidad en los productos también era distinta.

7.3 Curvas de calibración

Las *Figura 18*, *Figura 19*, *Figura 20* y *Figura 21* presentan las curvas de calibración del tinte Azul Plata de las marcas comerciales estudiadas. El comportamiento de las cuatro curvas es muy similar para las diferentes marcas comerciales del tinte. La línea recta que resulta del ajuste

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

de los datos experimentales de la concentración y absorbancia arroja un valor del factor de correlación satisfactorio, entre 0,92 - 0,99. Esta ecuación permitió obtener la concentración de las muestras una vez leída su absorbancia.

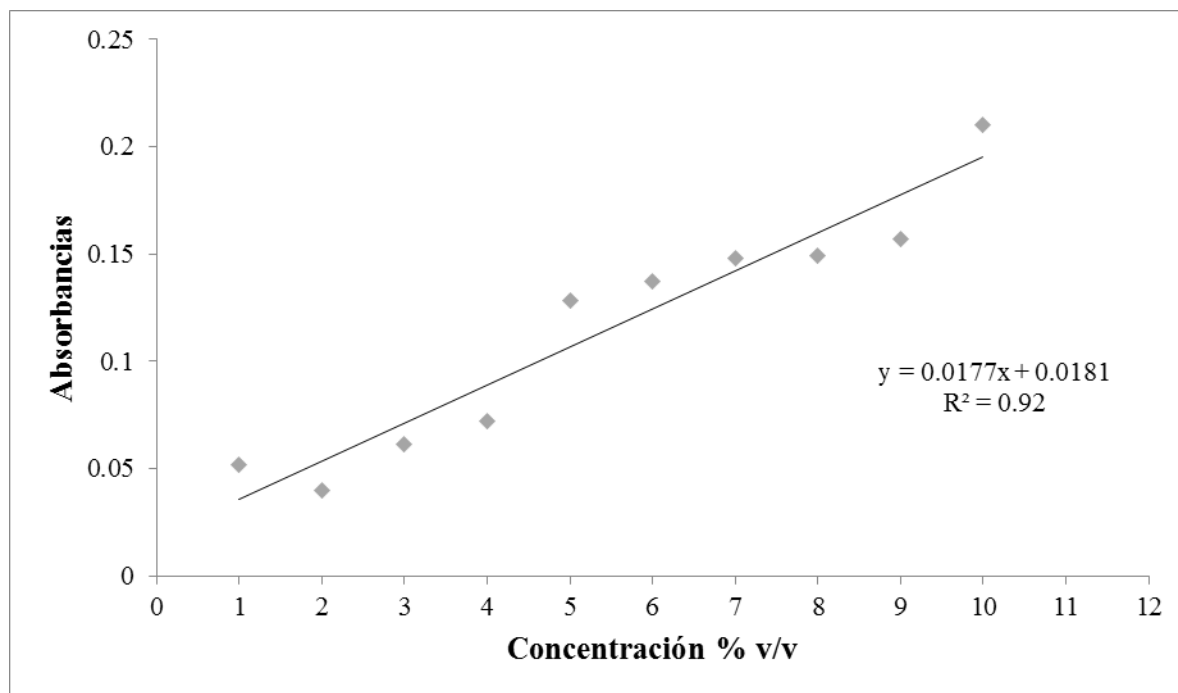


Figura 18 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°1. Fuente: Autor.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

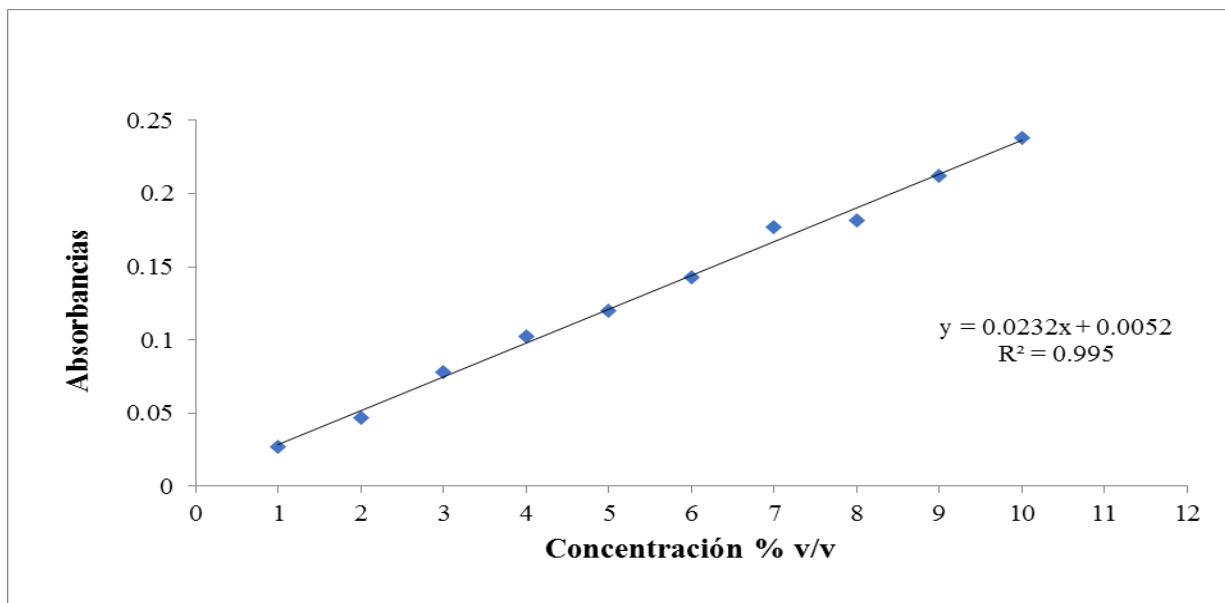


Figura 19 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°2. Fuente: Autor.

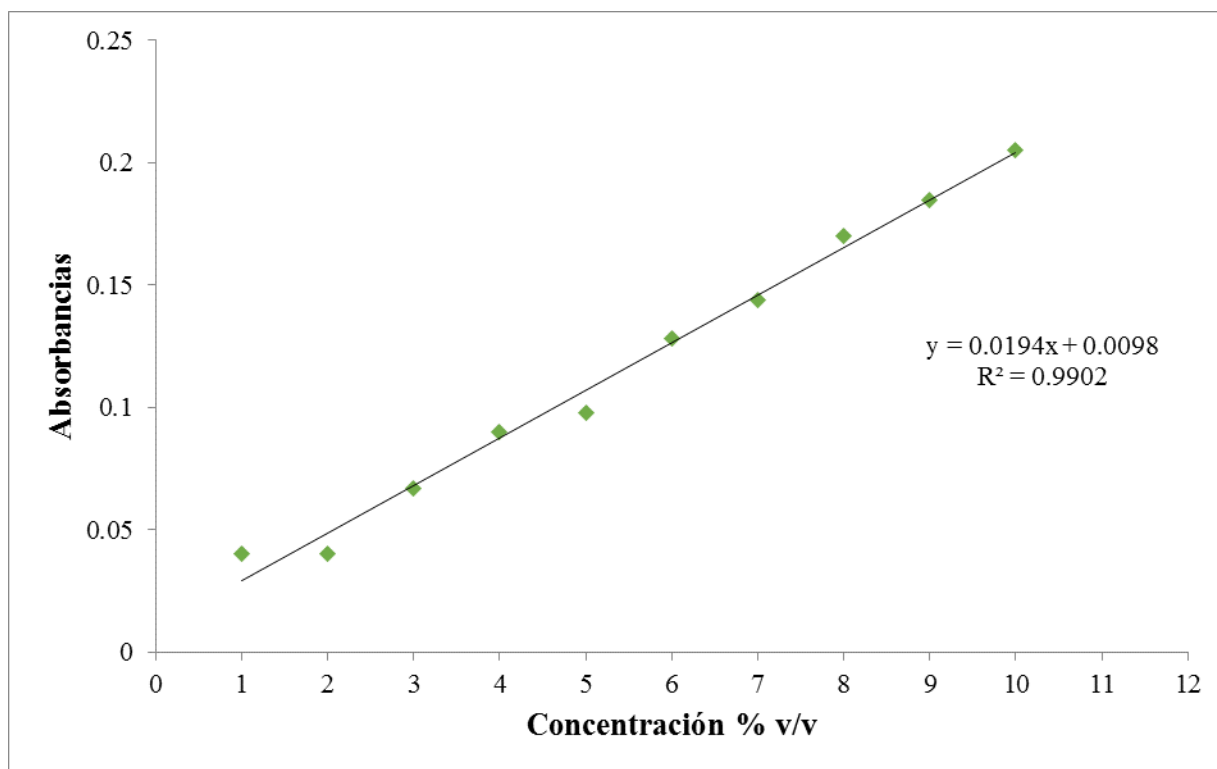


Figura 20 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°3. Fuente: Autor.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

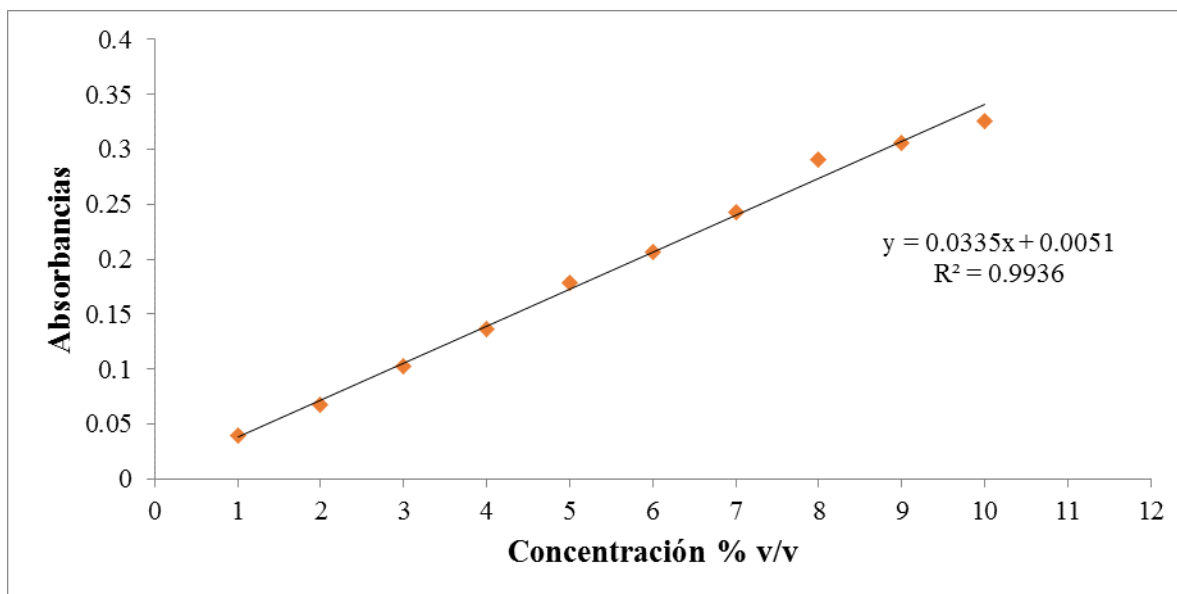


Figura 21 Curva de calibración Tinte Azul Plata Muestra comercial N°4. Fuente: Autor.

7.4 Efecto de la concentración inicial

El efecto de la concentración inicial del AP en un rango de 5,4% v/v a 9,2% v/v sobre la capacidad de adsorción se muestra en la *Figura 22* hasta la *Figura 25*.

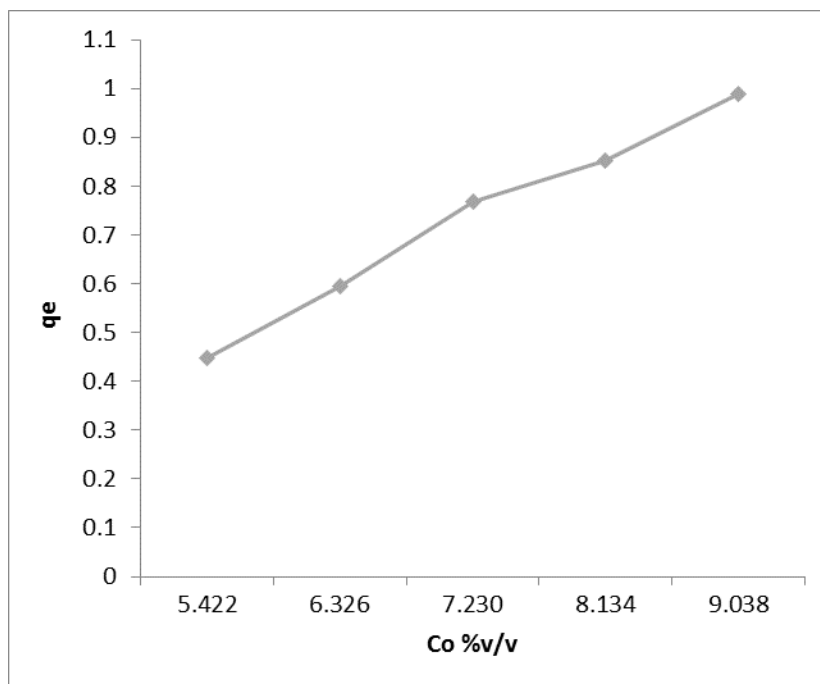


Figura 22 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de adsorción Muestra comercial N°1. Fuente: Autor

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

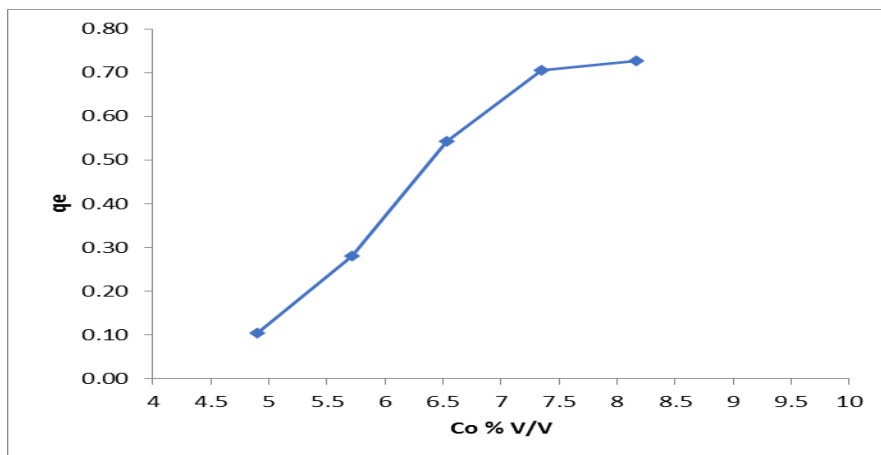


Figura 23 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de absorción Muestra comercial N°2.

Fuente: Autor.

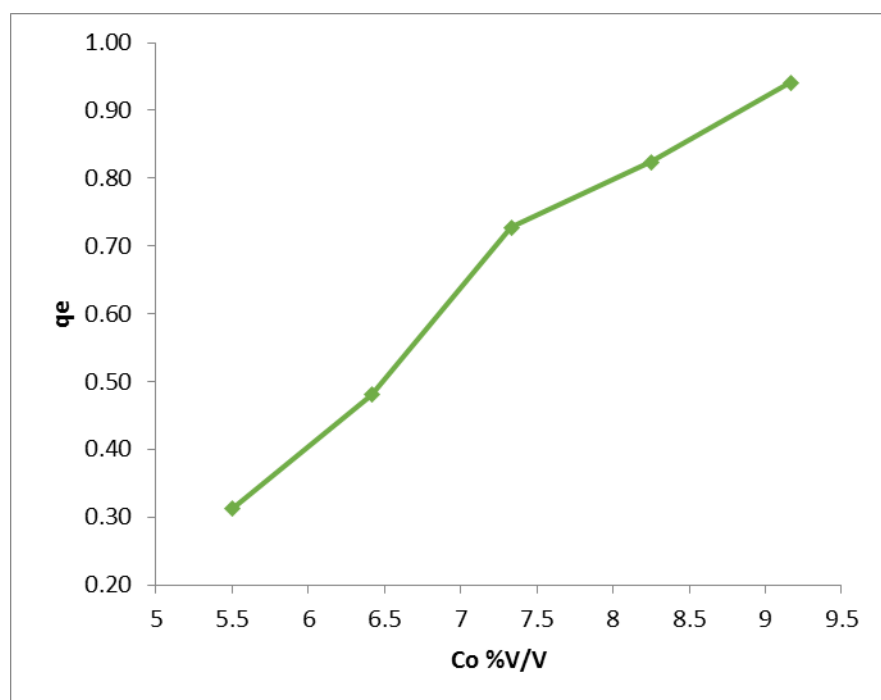


Figura 24 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de absorción Muestra comercial N°3. Fuente: Autor.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

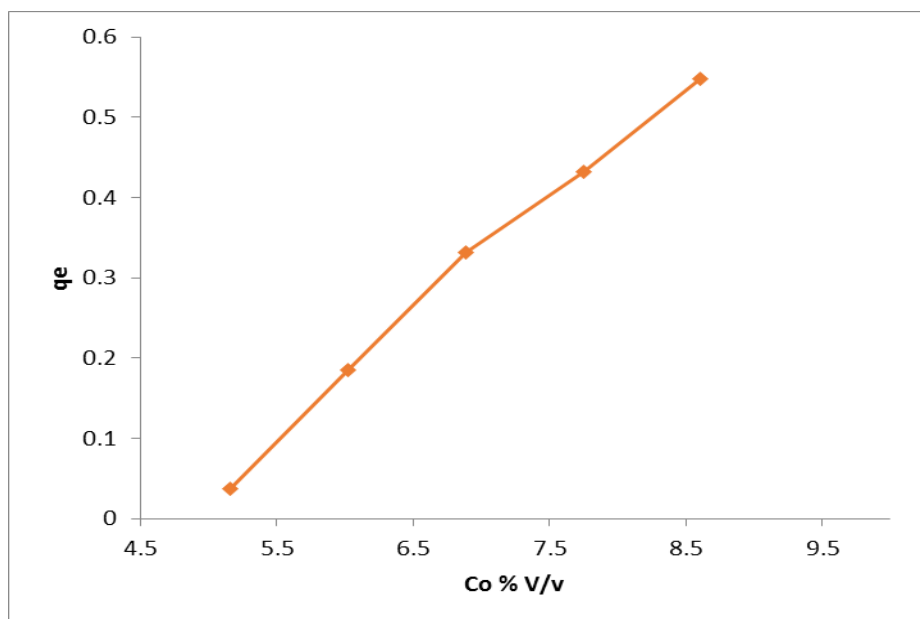


Figura 25 Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de absorción Muestra comercial N°4. Fuente: Autor.

Al aumentar la concentración inicial de las diluciones en las 4 muestras comerciales con valores aproximados de 5,4% v/v, 4,9% v/v, 5,5% v/v y 5,1% v/v (de la Marca 1 a la marca 4 respectivamente) hasta valores máximos en diluciones de 9,0 % v/v, 8,2 % v/v, 9,1% v/v y 8,6 % v/v, respectivamente (casi 10% según lo teórico), se observa en las figuras representadas para cada una de las muestras que la capacidad de adsorción se incrementa. Este es un resultado mostrado por diferentes investigadores en ensayos realizados con otros tipos de tintes como lo son los textiles; y, por ende, un comportamiento algo similar era esperado en la presente investigación, puesto que la fuerza motriz de la adsorción es la diferencia de concentración entre el soluto en el adsorbente y el soluto en la disolución (Greys Castellar, Angulo, Zambrano, & Charris, 2013). Un gradiente de concentración bajo causa un transporte lento debido a una disminución del coeficiente

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

de difusión o coeficiente de transferencia de masa, dicho gradiente mejora cuando aumenta la concentración inicial, aumentando por consecuencia la capacidad de adsorción.

7.5 Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción para cada marca comercial del tinte de cabello AP se muestra en la *Figura 27* hasta la *Figura 29*, a continuación.

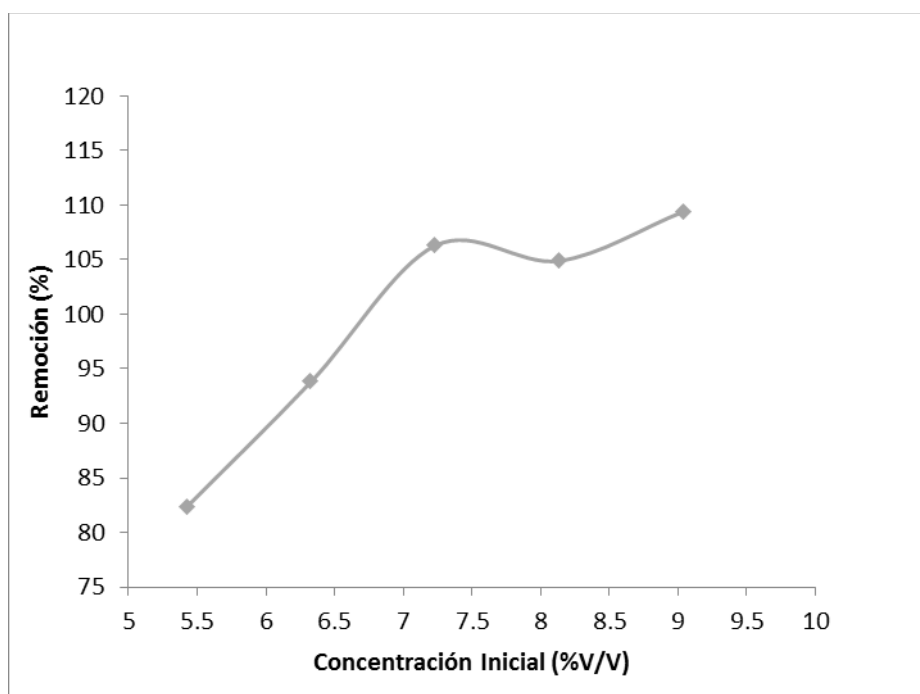


Figura 26: Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°2. *Fuente:* Autor.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

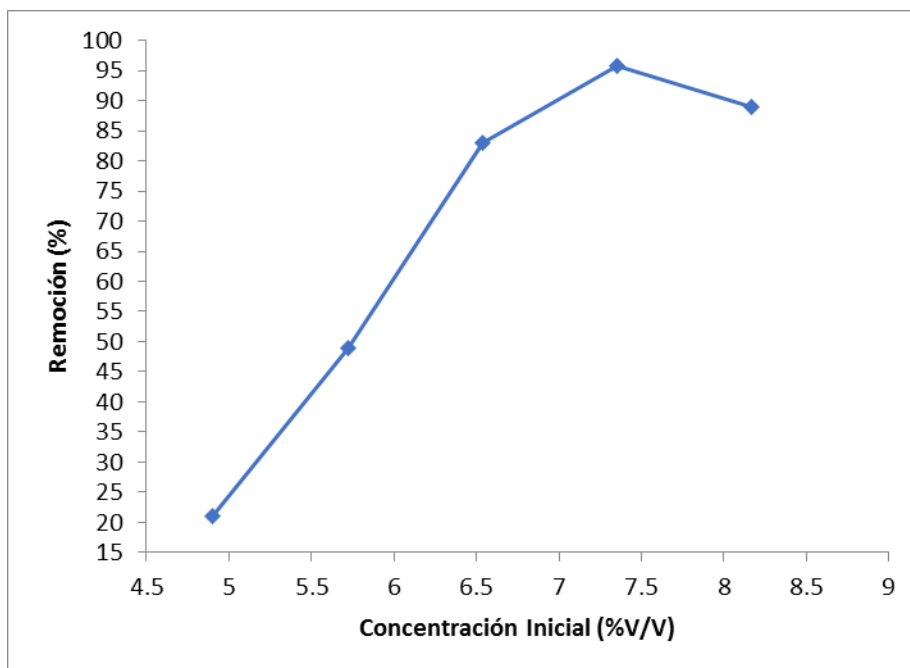


Figura 27 Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°1. Fuente: Autor.

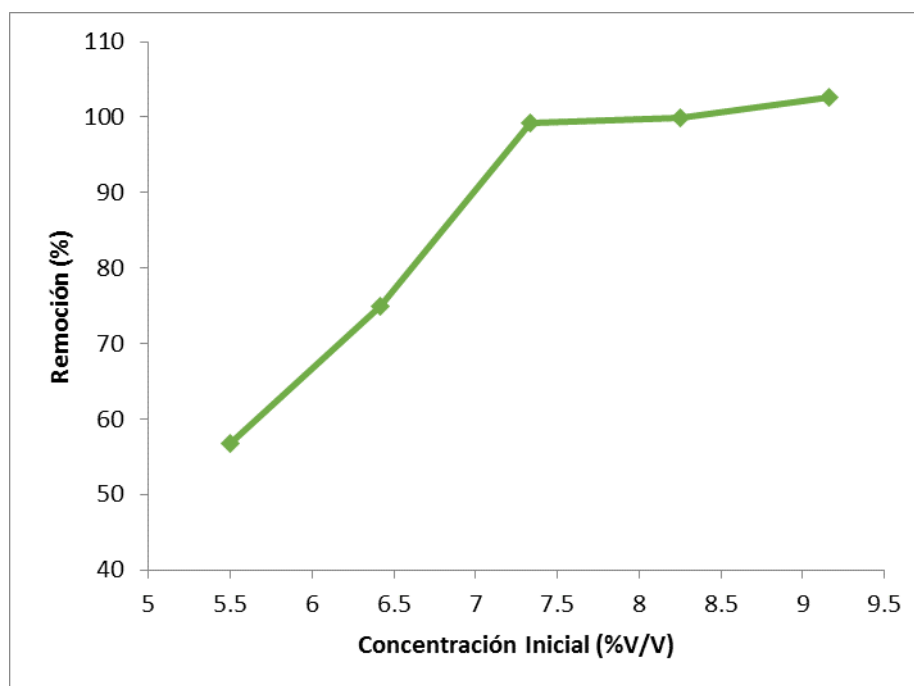


Figura 28 Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°3. Fuente: Autor

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

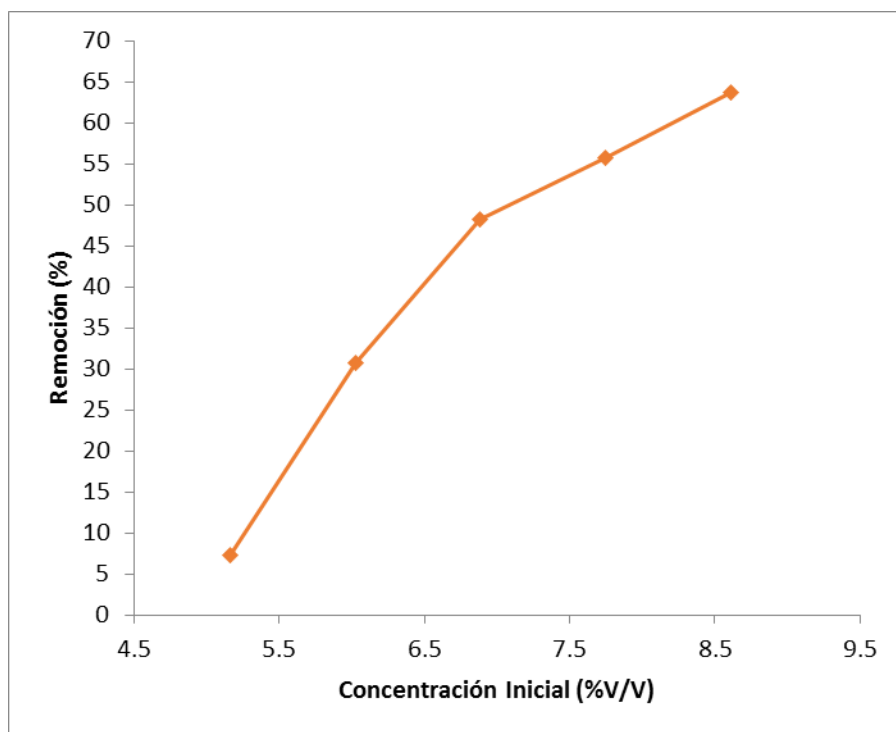


Figura 29 Porcentaje de remoción para Muestra comercial N°4. Fuente: Autor

En el comportamiento en general de los porcentajes de remoción en las diferentes muestras comerciales de soluciones con el tinte AP, en la *Figura 27* hasta la *Figura 29*, se observa que inicialmente, el porcentaje de remoción en las soluciones más diluidas (4,90% y 5,16%) es muy bajo para las muestras comerciales N°2 y N°4 con porcentaje de 21% y 7% respectivamente, esto podría guardar relación con la viscosidad de las soluciones, considerando tal vez que está impidiendo que las moléculas del tinte AP se ubiquen en los poros (mesoporos) del carbón.

Por otra parte, en las diluciones más concentradas, 9,03 % v/v para la muestra N°1 , 9,16% v/v para la muestra N°3 y 8,60 % v/v para la muestra N°4, los porcentajes de remoción alcanzan 109,43%, 102,69% y 63,63%, respectivamente. Sin embargo, en la muestra N°2 a la misma quinta dilución, es decir, 8,17 % v/v, el porcentaje muestra una disminución en la figura a un valor de 88,87%, mientras que en la dilución anterior el valor era mayor a 95,84%. Se puede explicar esto debido a que, la interacción alcanzaba el grado de saturación y estabilidad en la

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

capacidad de remoción. Es decir, a esas concentraciones, los poros del material se saturan con el tinte y en consecuencia la capacidad de remoción del material se ve afectada. De manera similar a lo observado en el estudio de Danish et al. (2018), cuando se obtuvo la dosis ideal de adsorbente se obtienen los mejores resultados de remoción. Un aumento de tiempo de contacto o de dosis de adsorbente no hace la diferencia, una vez se alcanza el grado de saturación.

Es pertinente aclarar que, en la determinación de las 5 diluciones preparadas, se podían haber considerado valores aún más altos de concentración para saber si se acercaban al máximo porcentaje de remoción, pero fue un impedimento el hecho que a concentraciones mayores el espectrofotómetro utilizado indicaba error de medida, es decir, se superaba su rango de medición y no hubo posibilidades de acceder a otro equipo.

Ahora bien, es característico en las figuras una tendencia a ir aumentando el porcentaje de remoción a medida que la solución es más concentrada, pero en las concentraciones finales se alcanza la saturación mostrando una constancia numérica en el porcentaje, indicando que se ha alcanzado la saturación de los sitios disponibles en el área superficial del carbón. De acuerdo con Baskaralingam, Pulikesi, Ramamurthi, & Sivanesan (2007), así como Azmier & Alrozi (2010), el comportamiento anterior también puede atribuirse a que la mayor disponibilidad de sitios activos de adsorción se presenta a bajas concentraciones, por lo tanto, gran parte de las moléculas de colorante AP puede removerse de la disolución; a medida que la concentración inicial aumenta, más moléculas de AP compiten por los sitios disponibles y aun después de haber alcanzado el equilibrio, quedan moléculas en la disolución, lo que reduce el porcentaje de remoción.

8 Conclusiones

La metodología experimental desarrollada consistió en un estudio por lotes para determinar la capacidad de remoción del carbón activado obtenido de la carbonización de las cáscaras de banana madura, en la remoción del colorante AP de cuatro marcas comerciales diferentes denominadas: Muestra comercial N°1, Muestra comercial N°2, Muestra comercial N°3 y Muestra comercial N°4 en disolución acuosa, bajo condiciones constantes de temperatura, velocidad de agitación y masa de adsorbente.

Al término de este trabajo de investigación los resultados obtenidos permiten enunciar las siguientes conclusiones:

- ✓ Se fabricó un material adsorbente (carbón) a base de cáscaras de banana madura, activado térmicamente, como una alternativa sostenible para la remoción de CEs, que sigue principios de la Química Verde y que estaría aprovechado un material de bajo costo, que normalmente es catalogado como residuo y que es bastante accesible en este país.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- ✓ El carbón activado utilizado y obtenido de la carbonización de cáscaras de bananas maduras, tiene una química superficial heterogénea, con un área superficial y volumen de poro aceptable en comparación con otros materiales adsorbentes. Siendo considerado un carbón mesoporoso el utilizado en esta investigación.

- ✓ Los porcentajes de remoción obtenidos son altos, se alcanzaron valores que van desde el 85% hasta el 100%, lo que se convierte en evidencia de que el carbón activado térmicamente a base de cáscaras de banana es un material absorbente eficiente, elaborado con materia prima considerada residuo, económica y sustentable, y que se puede utilizar como una alternativa para la remoción del tinte capilar Azul Plata en solución acuosa.

- ✓ Esta investigación hace un aporte a la literatura científica con relación a la longitud de onda 350nm para medir la remoción del tinte Azul Plata como CE en una muestra acuosa, a la fecha de entrega de este documento, no se encontró ninguna referencia al respecto en la literatura publicada.

Recomendaciones

- ✓ Se podrían replicar los ensayos de remoción para hacer seguimiento al proceso de adsorción en el tiempo, con el fin de evaluar la cinética del proceso con este material.

- ✓ Resulta pertinente considerar para futuras investigaciones, aumentar el número de diluciones para ver dónde se alcanza el nivel máximo de saturación o remoción para muestras comerciales con otro tipo de color ampliamente utilizado por las mujeres (tintes de tonos rojos).

- ✓ En una futura investigación se puede comparar la remoción del AP con otros materiales adsorbentes a partir de biomasa, para probar cuál tiene mejor eficiencia.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- ✓ Se sugiere, para futuras experimentaciones con el tinte-matizante Azul Plata, medir absorbancias a 350 nm (λ), debido a que en ese punto se observó un comportamiento casi similar de absorción máxima de las cuatro marcas comerciales estudiadas.

Referencias

- ABC. (2012). No hay tintes de pelo y esmaltes de uñas ecológicos. Recuperado de https://www.abc.es/natural/vivirenverde/abci-ecoestetica-201210190000_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F.
- Abril, N., Antonio, B., Jorrín, J., Peinado, J., Toribio, F., & Túnez, I. (2009). 8. Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Córdoba. <https://doi.org/10.4271/841496>
- AGQ Labs Chile S.A. (2017). Análisis químico, medir es comparar. Recuperado el 23 de agosto de 2020, de <https://agqlabs.cl/wp-content/uploads/Analisis-quimico-medir-es-comparar.pdf>
- Ames, B. N., Kammen, H. O., & Yamasaki, E. (1975). Hair dyes are mutagenic: identification of a variety of mutagenic ingredients. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 72(6), 2423–2427. <https://doi.org/10.1073/pnas.72.6.2423>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=SrO8QgAACAAJ>
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon*. West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/D2866-11>

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- Azmier, M., & Alrozi, R. (2010). Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of Remazol Brilliant Blue R using response surface methodology. *Chemical Engineering Journal*, 165, 883–890.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.10.049>
- Baken, K. A., Sjerps, R. M. A., Schriks, M., & van Wezel, A. P. (2018). Toxicological risk assessment and prioritization of drinking water relevant contaminants of emerging concern. *Environment International*, 118(May), 293–303.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.05.006>
- Barrios-Ziolo, L. F., Gaviria-Restrepo, L. F., Agudelo, E. A., & Cardona Gallo, S. A. (2015). Tecnologías Para La Remoción De Colorantes Y Pigmentos Presentes En Aguas Residuales. *Dyna*, 82(191), 118–126. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.42924>
- Baskaralingam, P., Pulikesi, M., Ramamurthi, V., & Sivanesan, S. (2007). Modified hectorites and adsorption studies of a reactive dye. *Applied Clay Science*, 37, 207–214.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.01.014>
- Bellatin, L., Herrera, O., Navarro, A., Sun-Kou, R., & Llanos, B. (2014). Estudio de la biosorción de rojo ácido 18, azul básico 99 y amarillo básico 57 presentes en los tintes de cabellos con residuos de hojas de té verde. *Sociedad Química Perú*, 80(1), 9–23.
- Benaiges, A. (2007). Tintes capilares: evolución histórica y situación actual. *Offarm: farmacia y sociedad*, 26(10), 68–72.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. (PEARSON EDUCACIÓN, Ed.) (Tercera ed). Bogotá D.C.
- Bernal, V., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2018). Adsorción de acetaminofén sobre carbones activados a diferente pH . Entalpía y entropía del proceso Acetaminophen adsorption on activated carbons at different pH . Change of enthalpy and entropy of the process Adsorção de acetam, 47(45), 54–62.
- Boehm, H. P. (1966). Chemical Identification of Surface Groups. En D. D. Eley, H. Pines, & P. B. B. T.-A. in C. Weisz (Eds.) (Vol. 16, pp. 179–274). Academic Press.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-0564\(08\)60354-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-0564(08)60354-5)

- Borges, R. M., Minillo, A., Lemos, E. G. de M., do Prado, H. F. A., & Tangerino, E. P. (2016). Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(4), 709–720. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016118787>
- Bundy, M. M., Doucette, W. J., McNeill, L., & Ericson, J. F. (2007). Removal of pharmaceuticals and related compounds by a bench-scale drinking water treatment system. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 56(2), 105–115. <https://doi.org/10.2166/aqua.2007.091>
- Castellar-Ortega, G. C., Cely-Bautista, M. M., Cardozo-Arrieta, B. M., Angulo-Mercado, E. R., Mendoza-Colina, E. de J., Zambrano-Arevalo, A. M., ... Rosales-Díaz, C. L. (2020). Remoción del colorante azul marino directo sobre borra de café modificada. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(4), 1–27. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-04-01>
- Castellar, Grey, Mendoza, E., Angulo, E., Paula, Z., Rosso, M., & Jaramillo, J. (2019). Equilibrio , cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB-86 sobre carbón activado de la cáscara de yuca. *Revista MVS Córdoba*, 24(2), 7231–7238.
- Castellar, Greys, Angulo, E., Zambrano, A., & Charris, D. (2013). *Equilibrio de adsorción del colorante azul de metileno sobre carbón activado*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* (Vol. 16). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100030&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Castro, R. S. D., Ferreira, G., Padilha, P. M., Saeki, M. J., Zara, L. F., Martines, M. A. U., & Castro, G. R. (2011). Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water : Preconcentration of Metal Ions with a Fruit Waste. *I&EC Research*, 50, 3446–3451.
- Coloma, F. (1996). *Preparación de catalizadores Pt/C para la hidrogenación selectiva de Crotonaldehido*. Universidad de Alicante.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- Corapcioglu, M. O., & Huang, C. P. (1987). The adsorption of heavy metals onto hydrous activated carbon. *Water Research*, 21(9), 1031–1044. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354\(87\)90024-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354(87)90024-8)
- Cosmetica capilar. (s/f). Recuperado el 10 de junio de 2020, de https://cdn.edf.global/public-demos/cosmetica_capilar/index.html
- Danish, M., Ahmad, T., Majeed, S., Ahmad, M., Ziyang, L., Pin, Z., & Shakeel Iqbal, S. M. (2018). Use of banana trunk waste as activated carbon in scavenging methylene blue dye: Kinetic, thermodynamic, and isotherm studies. *Bioresource Technology Reports*, 3(June), 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.07.007>
- de la Iglesia, J. (2012). *Bloque 02. Operaciones Unitarias Importantes*. Santander.
- Demirbas, A. (2009). Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1–3), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.114>
- Eley, D. D., Pines, H., & Weisz, P. B. (1991). *Advances in Catalysis*. Elsevier Science. Recuperado de <https://books.google.co.cr/books?id=EEZ0lsSdCZ0C>
- EPA. (2020). Green Chemistry. Recuperado el 4 de julio de 2020, de <https://www.epa.gov/greenchemistry>
- Esquivel, M. D. (2011). *SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIONES DE MATERIALES PERIÓDICOS MESOPOROSOS ORGANOSILÍCICOS*. Universidad de Córdoba. Recuperado de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/5222/9788469447673.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Feijoo, C., De La Torre, E., & Uribe, R. (2019). Determinacion de la capacidad de adsorción del complejo oro-cianuro en compósitos de carbón activado-vidrio. *Rev. Afinidad*, 588(December), 299–306.
- Foo, K. Y., Lee, L. K., & Hameed, B. H. (2013). Preparation of banana frond activated carbon by microwave induced activation for the removal of boron and total iron from landfill leachate.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Chemical Engineering Journal, 223, 604–610. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.03.009>

- Foucault, M., & Sossa, A. (2011). Análisis desde Michel Foucault referentes al cuerpo, la belleza física y el consumo. *Polis Revista Latinoamericana*, 28. Recuperado de <http://journals.openedition.org/polis/1417>
- García, A. (2016). *Elaboración de una biorresina intercambiadora de cationes a partir de cáscara de plátano o guineo para eliminar metales pesados en agua contaminada*.
- García, C., Gortares, P., & Drogui, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva*, 10(2), 96–105.
- Ghani, Z. A., Yusoff, M. S., Zaman, N. Q., Zamri, M. F. M. A., & Andas, J. (2017). Optimization of preparation conditions for activated carbon from banana pseudo-stem using response surface methodology on removal of color and COD from landfill leachate. *Waste Management*, 62, 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.026>
- González, J. V. (2015). *Nanomateriales de Carbono, Síntesis, Funcionalización y Aplicaciones*.
- Grčić, I., Vrsaljko, D., Katančić, Z., & Papić, S. (2015). Purification of household greywater loaded with hair colorants by solar photocatalysis using TiO₂-coated textile fibers coupled flocculation with chitosan. *Journal of Water Process Engineering*, 5, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.12.008>
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. (I. Editores, Ed.) (McGraw-Hil). México D.F.
- Herráez, A. (2015). Espectrofotómetro UV-VIS. Recuperado el 4 de septiembre de 2020, de <http://biomodel.uah.es/lab/abs/espectro.htm>
- Hurtado, S. (2018). Obsesión por la belleza femenina en Venezuela. *Espacio Abierto. Cuaderno Venezolano de Sociología*, 27(2), 191–208.
- Infante, M. (2016). Parabenos en cosmética: ¿son realmente malos para piel? *Harper's Bazaar*. Recuperado de <https://www.harpersbazaar.com/es/belleza/piel-belleza/g221511/parabenos-cosmetica-malos-piel/>

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- Jaén, M., Esteve, P., & Banos-González, I. (2019). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1–17.
<https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2019.v16.i1.1501>
- Jesudoss, N. R., Kumar, J. S., Kamyab, H., Jennifa, J. A., Al-khashman, O. A., Kuslu, Y., ... Kumar, B. S. (2020). Modern enabling techniques and adsorbents based dye removal with sustainability concerns in textile industrial sector -A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122636. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122636>
- Jiménez, C. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: Productos farmacéuticos. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 143–153.
- Kaouah, F., Boumaza, S., Berrama, T., Trari, M., & Bendjama, Z. (2013). Preparation and characterization of activated carbon from wild olive cores (oleaster) by H₃PO₄ for the removal of Basic Red 46. *Journal of Cleaner Production*, 54, 296–306.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.038>
- Karr, C. (2013). *Analytical Methods for Coal and Coal Products: Volume II*. Elsevier Science.
 Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=U7EaAwAAQBAJ>
- Koumanova, B., & Allen, S. J. (2005). Decolourisation of Water / Wastewater Using Adsorption (Review). *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40, 175–192.
- Kyzas, G. Z., & Kostoglou, M. (2014). Green adsorbents for wastewaters: A critical review. *Materials*, 7(1), 333–364. <https://doi.org/10.3390/ma7010333>
- La Razón. (2009). Un tinte de pelo que no daña el medio ambiente. Recuperado de https://www.larazon.es/historico/un-tinte-de-pelo-que-no-dana-el-medio-ambiente-PLLA_RAZON_111150/
- Lellis, B., Fávoro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., & Polonio, J. C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Ley 711. Por la cual se reglamenta el ejercicio de la ocupación de la cosmetología y se dictan otras

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

disposiciones en materia de salud estética (2001). Colombia: Congreso de Colombia.

Recuperado de [http://www.saludcapital.gov.co/sitios/SectorBelleza/Galera de descargas/Normatividad/Leyes/Ley 711 de 2001- Reglamenta ejercicio de la cosmetologia .pdf](http://www.saludcapital.gov.co/sitios/SectorBelleza/Galera%20de%20descargas/Normatividad/Leyes/Ley%20711%20de%202001-Reglamenta%20ejercicio%20de%20la%20cosmetologia.pdf)

Li, W. C. (2014). Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil. *Environmental Pollution*, 187, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.01.015>

López-Ortiz, C. M., Sentana-Gadea, I., Varó-Galvañ, P., Maestre-Pérez, S. E., & Prats-Rico, D. (2018). The use of combined treatments for reducing parabens in surface waters: Ion-exchange resin and nanofiltration. *Science of the Total Environment*, 639, 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.150>

López, R. (2004). *Caracterización de Medios Porosos y Procesos Percolativos y de Transporte*. Universidad Nacional de San Luis.

Maldonado-Hódar, F. J., Morales-Torres, S., Perez-Cadenas, A., & Carrasco-Martín, F. (2011). Química superficial de los materiales de carbón. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, 20, 10–15.

Maldonado, C. (2018). Belleza En Ecuador Se Vende Bien, 3. Recuperado de <https://revistagestion.ec>

Martínez-Costa, J. I., Maldonado Rubio, M. I., & Leyva-Ramos, R. (2020). Degradation of emerging contaminants diclofenac, sulfamethoxazole, trimethoprim and carbamazepine by bentonite and vermiculite at a pilot solar compound parabolic collector. *Catalysis Today*, 341(July), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.07.021>

Mattson, J. S., & Mark, H. B. (1971). *Activated Carbon: Surface Chemistry and Adsorption from Solution*. M. Dekker. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=QArQxcRVXd0C>

Meador, J. P., Yeh, A., & Gallagher, E. P. (2018). Adverse metabolic effects in fish exposed to contaminants of emerging concern in the field and laboratory. *Environmental Pollution*, 236, 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.007>

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- Mejia, O., Patiño, S., Alvarez, M., & Abreu, L. (2007). Aprovechamiento de los residuos de la industria palmera mediante la obtención de carbón activado a escala de laboratorio. *Revista ION*, 20(1), 1–5.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). MinAgricultura resalta aumento del PIB agropecuario del 2.6% en el tercer trimestre. Recuperado el 10 de mayo de 2020, de <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/MinAgricultura-resalta-aumento-del-PIB-agropecuario-del-2-6-en-el-tercer-trimestre.aspx>
- Mohan, D., & Pittman, C. U. (2006). Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water, *137*, 762–811. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.060>
- Mora, S. Q. (2007). *Manual de experimentos de laboratorio para bioquímica* (Primera Ed). San José, Costa Rica: Euned. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=8SAtkthrFEkC>
- Naciones Unidas. (2019). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Naidu, R., Arias Espana, V. A., Liu, Y., & Jit, J. (2016). Emerging contaminants in the environment: Risk-based analysis for better management. *Chemosphere*, 154, 350–357. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.068>
- NIH. (2016). Tintes para el cabello y el riesgo de cáncer ¿ Por qué existe la preocupación de que los tintes para el cabello.
- Pájaro Castro, N. P., & Olivero Verbel, J. T. (2011). Química verde: Un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 169–182. <https://doi.org/10.18359/rcin.265>
- Peluffo, G., & Castro, S. (2019). *Evaluación de la capacidad de adsorción del colorante azul plata marino directo (AMD) en solución acuosa con carbón obtenido de cáscaras de bananas*. Universidad de la Costa.
- Perfetti, J. J., Hernández, A., Balcázar, Á., & Leibovich, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Bogotá D.C.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

PerkinElmer Informatics. (2020). ChemDraw Professional.

Philip, J. M., Aravind, U. K., & Aravindakumar, C. T. (2018). Emerging contaminants in Indian environmental matrices – A review. *Chemosphere*, *190*, 307–326.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.120>

Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials*, *177*(1–3), 70–80.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>

Ramirez, Y. (2015). *Frecuencia de micronúcleos en mucosa oral de mujeres expuestas a tintes de cabello*. Universidad de Guadalajara.

Reinoso, J., Serrano, C., & Orellana, D. F. (2017). Emerging contaminants and its impact on the health. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, *35*(2), 55–59. Recuperado de

<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/1723>

Resolución 2263. Por la cual se establecen los requisitos para la apertura y funcionamiento de los centros de estética y similares y se se dictan otras disposiciones. (2004). Colombia:

Ministerio de la Protección Social. Recuperado de

[http://www.saludcapital.gov.co/sitios/SectorBelleza/Galera de descargas/Normatividad/Resoluciones/Resolución 2263 de 2004 - Requisitos Apertura y Funcionamiento Centros de Estetica.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/sitios/SectorBelleza/Galera%20de%20descargas/Normatividad/Resoluciones/Resoluci3n%202263%20de%202004%20-%20Requisitos%20Apertura%20y%20Funcionamiento%20Centros%20de%20Estetica.pdf)

Ríos, P. (2014). *Cinética de biosorción de arsénico utilizando cáscaras de banana maduro en polvo*. Universidad Técnica de Machala.

Rodríguez, J. (2007). Vigorexia: adicción, obsesión o dismorfia; un intento de aproximación.

Redalyc, *7*, 289–308.

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, and S. R. (2014). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (Ninth Edit).

Sokol, P., & Tsai, H.-C. (1971). DYEING HAIR WITH NITRO-SUBSTITUTED PHENYLENE COMPOUNDS. United States.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

- Solano, A. (2016). Química de superficies sólidas. Recuperado el 17 de junio de 2020, de http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/inorganica/profes/asp/apuntes/quim_superfic_sol.pdf
- Speight, J. G. (2013). *The chemistry and technology of coal*. (Boca Raton : CRC Press, Ed.).
- Taheran, M., Naghdi, M., Brar, S. K., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2018). Emerging contaminants: Here today, there tomorrow! *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 10(May), 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.05.010>
- Universidad EAN. (2018, septiembre 14). John C. Warner, el padre de la química verde, por primera vez en Latinoamérica, en la U. EAN. Recuperado el 23 de agosto de 2020, de <https://universidadean.edu.co/noticias/el-padre-de-la-quimica-verde-por-primera-vez-en-latinoamerica>
- Valdés, H., Tardón, R. F., & Zaror, C. A. (2009). Eliminación de colorantes catiónicos usando ozono, zeolita natural y ozono/zeolita. *Ingeniare*, 17(3), 360–364.
- Valencia, A. (2020). *INFORME DE GESTION INSTITUCIONAL Vigencia 2019*.
- Valladares-Cisneros, M. G., Valerio, C., de la Cruz, P., & Melgoza, R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55–73. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>
- Weber, W. J. (1979). *Control De La Calidad Del Agua/ Water Quality Control: Procesos Fisicoquimicos*. Barcelona: Editorial Reverte. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=TLpzh5HQYvgC>
- Wilkinson, J., Hooda, P. S., Barker, J., Barton, S., & Swinden, J. (2017). Occurrence, fate and transformation of emerging contaminants in water: An overarching review of the field. *Environmental Pollution*, 231, 954–970. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.032>
- Yang, J., Yu, M., & Chen, W. (2015). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by activated carbon prepared from longan seed: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 414–422. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.02.054>

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Zhang, Y., Sanjose, S. De, Bracci, P. M., Morton, L. M., Wang, R., Brennan, P., ... Zheng, T. (2008). Personal use of hair dye and the risk of certain subtypes of non-Hodgkin lymphoma. *American Journal of Epidemiology*, 167(11), 1321–1331.
<https://doi.org/10.1093/aje/kwn058>

Anexos

Anexo 1 RESULTADOS QUINTAL S.A.

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE



Micromeritics Instrument Corp.

Gemini VII 3.03

Gemini VII Version 3.03
Serial# 106 Unit 1

Page 1

Sample: muestra 1
 Operator: Juan
 Submitter: Quintal
 File: C:\Gemini VII\data\Res...muestra No 1 17-08-2016.SMP

Started: 17/08/2016 12:53:56 p.m.	Analysis Adsorptive: N2
Completed: 17/08/2016 01:42:34 p.m.	Equilibration Time: 5 s
Report Time: 17/08/2016 01:56:33 p.m.	Sat. Pressure: 772.736 mmHg
Sample Mass: 0.2630 g	Free Space Diff.: -0.7810 cm ³
Free Space Type: Measured	Sample Density: 1.000 g/cm ³
Evac. Rate: 500.0 mmHg/min	Gemini Model: 2390 a

Summary Report**Surface Area**Single point surface area at P/Po = 0.299101498: 0.4771 m²/gBET Surface Area: 0.5463 m²/gLangmuir Surface Area: 0.9478 m²/gt-Plot External Surface Area: 0.7002 m²/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores
 between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 0.152 m²/g

Pore Volume

Single point desorption total pore volume of pores
 less than 206.503 Å diameter at P/Po = 0.900000000: 0.000000 cm³/g

t-Plot micropore volume: -0.000095 cm³/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores
 between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 0.000074 cm³/g

Anexo 2 Tabla de resultados del análisis próximo

Resultados del análisis próximo

REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE

Carbón 300°C granular	Peso inicial crisol (g)	Peso con la muestra inicial (g)	Peso final muestra después de calentar (g)
Humedad	36,9795	37,0814	37,0732
Material volátil	36,97925	38,0005	37,0754
Cenizas	36,87445	36,9681	36,85215

Fuente: Autor

Preparación de solución stock. Fuente: Autor.

Anexo 3 Figuras de la preparación para curvas de calibración.



REMOCIÓN DE AZUL PLATA CON CARBÓN ACTIVADO TÉRMICAMENTE



Soluciones stock de las 4 marcas comerciales estudiadas. Fuente: Autor