



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN DE HIDROCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE
COCO (*Cocos nucifera* L.) EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE
AZUL 19 EN AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS**

AUTORAS:

**JOSELYN AMARILYS LÓPEZ MORA
DANIELA ANGELINA ZAMBRANO GRACIA**

TUTOR:

ING. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA, M.Sc.

CALCETA, JULIO DE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

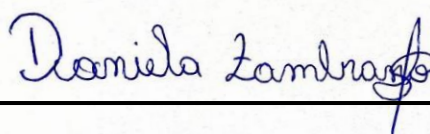
Yo, Josselyn Amarilys López Mora, con cédula de ciudadanía 131654897-1 y Daniela Angelina Zambrano Gracia, con cédula de ciudadanía 131620308-0 declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **Evaluación de hidrocarbón a partir de residuos de coco (*Cocos nucifera* L.) en la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



Josselyn Amarilys López Mora

CC: 131657897-1



Daniela Angelina Zambrano Gracia

CC: 131620308-0

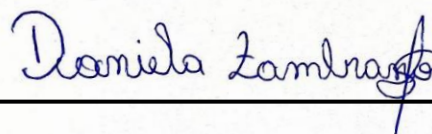
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Josselyn Amarilys López Mora, con cédula de ciudadanía 131654897-1 y Daniela Angelina Zambrano Gracia, con cédula de ciudadanía 131620308-0 autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **Evaluación de hidrocarbón a partir de residuos de coco (*Cocos nucifera L.*) en la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



Josselyn Amarilys López Mora

CC: 131657897-1



Daniela Angelina Zambrano Gracia

CC: 131620308-0

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

M. Sc., José Miguel Giler Molina, certifico haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **Evaluación de hidrocarbón a partir de residuos de coco (*Cocos nucifera* L.) en la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas**, que ha sido desarrollado por Josselyn Amarilys López Mora y Daniela Angelina Zambrano Gracia, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. José Miguel Giler Molina, M.Sc.
CC: 1310656762
TUTOR

CERTIFICACIÓN DEL COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Yo, José Miguel Giler Molina, Coordinador del Grupo de investigación Grupo de Investigación de Recursos Naturales, Biodiversidad y Desarrollo Sostenible (GIRBDS). certifico que las estudiantes, **JOSSELYN AMARILYS LÓPEZ MORA** y **DANIELA ANGELINA ZAMBRANO GRACIA**, realizaron su Trabajo de Integración Curricular titulado: **“EVALUACIÓN DE HIDROCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE COCO (*Cocos nucifera* L.) EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL 19 EN AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS”**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL**. Este trabajo se ejecutó como parte de una actividad del programa de investigación titulado **“PROGRAMA DE MANEJO INTEGRAL AGROPECUARIO, AGROINDUSTRIAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 4-PACÍFICO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE”**, registrado en la Secretaría Nacional de Planificación con CUP 91880000.0000.386887.

Ing. José Miguel Giler Molina, M. Sc.
COORDINADOR DEL GRUPO DE
INVESTIGACIÓN GIRBDS
CC: 1310656762

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO el trabajo de Integración Curricular titulado **Evaluación de hidrocarbón a partir de residuos de coco (*Cocos nucifera* L.) en la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas**, que ha sido desarrollado por Josselyn Amarilys López Mora y Daniela Angelina Zambrano Gracia, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Blga. María Fernanda Pincay, M. Sc.

CC: 0921757282

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Jonathan G. Chicaiza, M. Sc.

CC: 1312111923

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Sergio Alcívar Pinargote, Mg.

CC: 1308973799

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por su presencia permanente.

De forma especial a nuestro tutor M.Sc. José Miguel Giler que desde el inicio de nuestra carrera universitaria ha estado presente impartiendo sus conocimientos y a su vez guiándonos para culminar nuestra investigación.

Al Dr. Luis Zambrano Intriago por su ayuda incondicional durante la realización de nuestra investigación y por sus conocimientos brindados.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día.

AUTORAS

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con mucho amor a Dios y a mis padres.

A Dios porque ha estado conmigo en todo momento, guiándome, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes, a lo largo de mi vida, han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento.

Depositando su entera confianza, en cada reto que se me ha presentado, sin dudar ni un solo momento en mi capacidad e inteligencia. Es por ellos que he podido seguir avanzando y realizando cada uno de mis sueños.

A mi compañera porque con su ayuda hemos logrado culminar este trabajo y así cumplir la meta anhelada.

Josselyn A. López Mora.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios por haberme permitido llegar hasta el final de mi carrera universitaria.

A mi abuela, tía y a mi hermana por su apoyo constante tanto en mi desarrollo personal y académico.

Y por último a todas las personas que estuvieron presentes en el proceso, especialmente a mi compañera Josselyn porque juntas logramos cumplir esta meta anhelada y a nuestro tutor que estuvo para ayudarnos cuando lo necesitábamos.

Daniela A. Zambrano Gracia.

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
CERTIFICACIÓN DEL COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN ...	v
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
CONTENIDO GENERAL.....	x
CONTENIDO DE FIGURAS.....	xiv
CONTENIDO DE ECUACIONES	xiv
RESUMEN	xv
PALABRAS CLAVE	xv
ABSTRACT.....	xvi
KEY WORDS	xvi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. HIPÓTESIS.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. INDUSTRIA TEXTIL.....	4
2.1.1. AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL	4
2.2. COLORANTES SINTÉTICOS	4

2.2.1. TIPOS DE COLORANTES	5
2.2.2. COLORANTE REACTIVO AZUL 19	5
2.3. TOXICIDAD DE COLORANTES	6
2.3.1. TOXICIDAD EN SERES HUMANOS	6
2.3.2. TOXICIDAD EN EL MEDIO AMBIENTE	7
2.4. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE COLORANTES.....	8
2.4.1. PROCESOS FÍSICOS	8
2.4.2. PROCESOS QUÍMICOS	9
2.4.3. PROCESOS BIOLÓGICOS	9
2.5. PROCESOS DE ADSORCIÓN EN AGUAS RESIDUALES.....	9
2.5.1. RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO MATERIAL ADSORBENTE	10
2.5.2. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO DE COCO COMO MATERIAL ADSORBENTE.....	11
2.6. CARBONIZACIÓN HIDROTERMAL	11
2.7. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA DE TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR).....	12
2.8. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN.....	12
2.8.1. ESTUDIO DE ISOTERMAS POR MONOCOMPONENTES (MODELO DE LANGMUIR)	13
2.8.2. ESTUDIO DE ISOTERMAS POR BICOMPONENTES (MODELO DE FREUNDLICH)	14
2.9. CINÉTICA DE ADSORCIÓN.....	15
2.9.1. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO PRIMER ORDEN	15
2.9.2. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN.....	16
2.9.3. MODELO DE BANGHAN.....	16
2.9.4. MODELO DE ELOVICH.....	17
CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO	18
3.2. UBICACIÓN.....	18
3.2. DURACIÓN.....	18
3.3. MÉTODOS.....	19
3.3.1. MÉTODO DEDUCTIVO	19
3.3.2. MÉTODO ESTADÍSTICO	19
3.3.3. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO	19

3.4. DELINEAMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	20
3.4.1. FACTORES DE ESTUDIO	20
3.4.2. UNIDAD EXPERIMENTAL	20
3.4.3. TRATAMIENTOS.....	21
3.5. VARIABLES A MEDIR	22
3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	22
3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	22
3.6. MANEJO DEL EXPERIMENTO	22
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1. CONCLUSIONES	48
5.2. RECOMENDACIÓN.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	66

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Tipos de colorantes.....	5
Tabla 2.2. Características del colorante reactivo azul 19.	6
Tabla 2.3. Caracterización del residuo del coco.....	11
Tabla 3.1. Fuentes de variación del análisis de varianza.	21
Tabla 3.2. Constitución de los tratamientos.	21
Tabla 3.3. Tamices normalizados por Humboldt U.S.A. Standard.....	24
Tabla 4.1. Análisis granulométrico del hidrocarbón.....	30
Tabla 4.2. Grupos funcionales presentes en el hidrocarbón.	32
Tabla 4.3. Parámetros de validación del método analítico (Media de las Adsorbancia, desvío padrón y test de Grubb's).	35
Tabla 4.4. Intervalo de trabajo para el colorante, ecuación de la línea recta y coeficiente (R^2).	36
Tabla 4.5. Valores obtenidos para el CV en el intervalo de 20 a 140 mg·L ⁻¹ . .	37
Tabla 4.6. Límites de detección y cuantificación del método analítico	38
Tabla 4.7. Análisis de la Varianza.....	38
Tabla 4.8. Prueba de Tukey para el factor pH.....	39
Tabla 4.9. Prueba de Tukey para el factor Dosis.	39
Tabla 4.10. Interacción entre los factores.	40
Tabla 4.11. Efecto del tiempo de contacto con el adsorbente.	42
Tabla 4.12. Modelación de la cinética de adsorción.....	44
Tabla 4.13. Parámetros cinéticos de adsorción del colorante sobre el hidrocarbón de cáscara de coco.	46

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura. 3.1. Campus Politécnico de la ESPAM MFL.....	18
Figura. 3.2. Diagrama de flujo del proceso de obtención del hidrocarbón.....	23
Figura. 4.1. Determinación del punto de carga cero (pHzpc).....	31
Figura. 4.2. Espectro de transmitancia del hidrocarbón de cáscara de coco. .	32
Figura. 4.3. Espectro del colorante azul 19.	34
Figura. 4.4. Gráfica de la linealidad para el colorante azul 19 para el rango de 20 a 140 mg.L ⁻¹	36
Figura. 4.5. Test Tukey interacción dosis*pH y remoción de los tratamientos.	41
Figura. 4.6. Efecto del tiempo de contacto del adsorbente.	43
Figura. 4.7. Ajuste de modelos cinéticos del colorante azul 19 en hidrocarbón de cáscara de coco a diferentes: a): 20 mg.L ⁻¹ ; b):60 mg.L ⁻¹ ; c):100 mg.L ⁻¹ ; d):140 mg.L ⁻¹ ; e):180 mg.L ⁻¹ ; f):220 mg.L ⁻¹ ; g):260 mg.L ⁻¹ ; pH: 2; m _{ads} : 1.6 g; T: 298 K; t: 3-180 min.	45
Figura. 4.8. Isotherma de adsorción.	46

CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación. 2.1	13
Ecuación. 2.2	13
Ecuación. 2.3	14
Ecuación. 2.4	14
Ecuación. 2.5	14
Ecuación. 2.6	15
Ecuación. 2.7	15
Ecuación. 2.8	16
Ecuación. 2.9	16
Ecuación. 2.10	17
Ecuación. 3.1	26
Ecuación. 3.2	26
Ecuación. 3.3	26

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el uso del hidrocarbón a partir de residuos de coco (*Cocos nucifera* L.) en la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas. El estudio es de tipo experimental, con diseño completamente al azar (DCA) factorial asimétrica A x B, teniendo dos factores en estudio, donde el factor A dosis del adsorbente tiene cinco niveles (A1: 1,0 g; A2: 1,2 g; A3: 1,4 g; A4: 1,6 g; A5: 1,8 g) y el B con cuatro niveles de pH (B1:2 B2: 4; B3: 7; B4: 10), con veinte tratamientos y tres repeticiones cada uno. Los resultados permitieron identificar las condiciones óptimas para el estudio, hubo diferencia significativa entre la interacción de los factores para cada uno de los tratamientos, en donde el T4 (pH 2, dosis de adsorbente 1,6 g) obtuvo la mejor categoría en el análisis de varianza. La adsorción ocurre entre los 3 y 60 minutos y el tiempo de equilibrio entre 90 y 120 minutos. En la cinética de adsorción se aplicaron modelos cinéticos de los cuales Bangham y Pseudo segundo orden fueron los que mejor se ajustaron; mientras que, para la modelación de equilibrio el que mayor relevancia tuvo fue el modelo de Sips, ya que su índice de heterogeneidad (n) obtuvo un valor inferior a 1 (0,663629) el cual es un indicador de la intensidad de la adsorción. Se demostró que el hidrocarbón a partir de cáscara de coco, tuvo una remoción del colorante azul 19 de 86,88 %.

PALABRAS CLAVE

Industria textil, contaminación, material adsorbente, salud humana.

ABSTRACT

The aim of the research was to evaluate the use of hydrocarbon from coconut (*Cocos nucifera* L.) residues in the removal of blue dye 19 in synthetic wastewater. The study is of the experimental type, with a completely randomized design (DCA) asymmetrical factorial A x B, with two factors under study, where the factor A adsorbent dose has five levels (A1: 1,0 g; A2: 1,2 g; A3: 1,4 g; A4: 1,6 g; A5: 1,8 g) and B with four pH levels (B1:2 B2: 4; B3: 7; B4: 10), with twenty treatments and three replicates each. The results allowed the identification of the optimal conditions for the study, there was a significant difference between the interaction of the factors for each of the treatments, where T4 (pH 2, adsorbent dose 1,6 g) obtained the best category in the analysis of variance. Adsorption occurs between 3 and 60 minutes and the equilibrium time between 90 and 120 minutes. For the adsorption kinetics, kinetic models were applied, of which Bangham and Pseudo second order were the best fit, while for the equilibrium modeling, the most relevant was the Sips model, since its heterogeneity index (n) obtained a value lower than 1 (0,663629), which is an indicator of the adsorption intensity. It was demonstrated that the hydrocarbon from coconut shell had a removal of blue dye 19 of 86,88 %.

KEY WORDS

Textile industry, contamination, adsorbent material, human health.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los problemas más graves a nivel mundial es la contaminación del agua por diversas fuentes, ya sean artificiales o naturales (Hernández et al., 2018). La industria textil usa colorantes artificiales, los mismos que generan aguas residuales con colores, que al ser arrojadas a los lechos de los ríos producen consecuencias para el medio ambiente y la salud de los organismos en general (Hernández, 2020).

Uno de estos colorantes es el azul 19, el cual tiene consecuencias negativas en el medio ambiente que afectan el agua y a los organismos vivos; ya que estos contaminantes recalcitrantes interfieren en la penetración de la luz, perjudicando el proceso de la fotosíntesis y la eliminación de impurezas biológicas en el agua; además, tiene efectos carcinógenos, mutágenos, teratogénicos y tóxicos para seres humanos (Zaruma et al., 2018; Arias y Auz, 2021).

En Ecuador, la mayor parte de las industrias textiles no dan un tratamiento previo o adecuado a las aguas residuales resultantes del proceso de producción antes de ser descargadas hacia cuencas hidrográficas o sistemas de alcantarillado, lo cual resulta perjudicial para el ambiente (Zapata, 2016). Las provincias con mayor número de industrias y actividades textiles son: Pichincha (27%), Guayas (17%), Tungurahua (8,1%), Azuay (7,5%) e Imbabura (4,5%); asimismo, las pequeñas y medianas empresas textiles se las encuentran en Pichincha (43,29%) y Guayas (40,46%) (Estupiñán, 2020).

Estadísticas realizadas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, revelan que en el año 2021 solo el 46,3 % de empresas que se dedican a las actividades textilerías, presentaron los registros de la descarga de los desechos líquidos a las fuentes de agua, mientras que, el 53,7 % restante no presentaron dichos registros, es decir que la mayoría de las empresas textilerías en el Ecuador no dan un tratamiento adecuado a las aguas residuales generadas (Buitrón, 2024).

En la provincia de Manabí la producción de coco es de aproximadamente 1,8 toneladas por año; siendo los cantones de Rocafuerte y Portoviejo los que tienen

una mayor producción, de la cual, los productores utilizan los residuos de la palma y las fibras del tronco como fertilizante de cultivos, mientras que el residuo del fruto una vez comercializado es incinerado (San Andrés y Aguilar, 2022).

Por lo expuesto, se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál es la capacidad de adsorción del hidrocarbón obtenido a partir de los residuos de coco para el tratamiento de aguas residuales sintéticas con colorante textil azul 19?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se estima que entre el 10 y 15% de los colorantes sintéticos que son utilizados por las industrias, se descargan a las fuentes hídricas, es por esto que las metodologías de adsorción son las más recomendadas para su remediación; en este caso se cuenta con el residuo de coco, que está compuesta por una capa gruesa la cual tiene capacidades de retención y adsorción (Rincón et al., 2016; Pérez et al., 2019).

La utilización de hidrocarbón a partir de biomasa residual de coco como material adsorbente, resulta ser una alternativa eco amigable para poder minimizar la problemática causada por el vertido del colorante azul 19 en las fuentes de agua, ya que posee un gran potencial para ser aplicado como adsorbente en la remoción de colorantes; debido a que su estructura está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina; siendo esta una forma de reutilizar el residuo como materia prima para solucionar y reducir problemas ambientales (Landin et al., 2020; Zambrano, 2020; Ramírez et al., 2017).

El Código Orgánico del Ambiente (COA) en el artículo 245 del título VI sobre producción y consumo sustentable, establece en el numeral 2 y 9 que las personas naturales o jurídicas se ven obligadas a optimizar el aprovechamiento sustentable de las materias primas y minimizar y aprovechar los desechos (Ministerio de Ambiente [MAE], 2017), siendo estos los fundamentos para darle un valor agregado al residuo de coco en el aprovechamiento del hidrocarbón para la remoción de dichos contaminantes, valorando eficientemente los recursos y fomentando un estilo de vida sostenible.

Por otro lado, uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) sobre agua limpia y saneamiento (objetivo 6) en su meta 6,3 se plantea mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso del hidrocarbón a partir de residuos de coco (*Cocos nucifera L.*) en la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los componentes físicos y químicos del hidrocarbón obtenido a partir de residuos de coco como material adsorbente.
- Determinar el mejor tratamiento para el proceso de adsorción del colorante en aguas residuales sintéticas.
- Establecer un modelo matemático para el estudio cinético de la remoción del colorante Azul 19 a partir del hidrocarbón de residuos de coco.

1.4. HIPÓTESIS

H_a: Al menos uno de los tratamientos en función del pH del colorante y dosis del hidrocarbón a partir de residuos de coco permitirá la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas.

H₀: Ninguno de los tratamientos en función del pH del colorante y dosis del hidrocarbón a partir de residuos de coco permitirá la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. INDUSTRIA TEXTIL

Es una de las industrias manufactureras que cumplen un papel importante en la sociedad, sin embargo, generan mayor impacto ambiental ya que la producción de textiles conlleva diferentes procesos que necesitan grandes cantidades de agua y diferentes compuestos químicos como colorantes, los cuales son arrojados mediante aguas residuales provocando la contaminación de los recursos naturales (Arroyo y Cárcamo, 2010; Cerón et al., 2022).

2.1.1. AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL

Las aguas residuales contienen contaminantes sin tratamiento previo, creando un conjunto de sustancias que actúan como portadores de contaminación. Por ende, estas aguas son perjudiciales para el medio ambiente en general, ya que alteran la calidad y el desarrollo de los ecosistemas (Segovia y Zambrano, 2021).

Las aguas residuales de la industria textil son caracterizadas porque contienen altas cantidades de reactivos y colorantes (aproximadamente más de 1500 mg.L) que son utilizados en los procesos de producción, de los cuales la mayor parte son no biodegradables y permanecen en el medio al que son arrojadas, especialmente en el medio acuoso; dicha industria consume por cada proceso de teñido aproximadamente 60 litros de agua y descargándolas como efluentes llenos de color y productos químicos de las sales de tintura, siendo adecuado un tratamiento y este dependerá de las características del agua residual (Lavado et al., 2020; Urrutia, 2020; Vera y Zambrano, 2022).

2.2. COLORANTES SINTÉTICOS

Cuesta (2018) manifiesta que los colorantes sintéticos son complejos de iones de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y metales que no se dan en la naturaleza. Los colorantes sintéticos son aquellos que se obtienen por el ser humano, es decir, que no provienen de la naturaleza en sí mismos, sino que estos son producidos mediante procesos industriales de síntesis química, aunque no todos los colorantes sintéticos están admitidos para su uso debido al

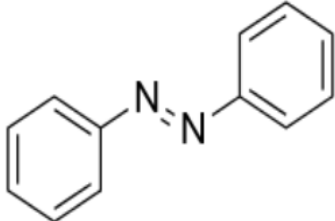
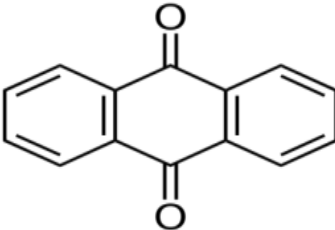
nivel de toxicidad; estos colorantes se utilizan tanto en las industrias textiles como en las industrias alimentarias (López, 2014; Arias y Auz, 2021).

2.2.1. TIPOS DE COLORANTES

De acuerdo a lo planteado por Tenesaca y Tito (2021); Vallejo (2021) los colorantes sintéticos se los clasifican en:

- Colorantes Antraquinonas.
- Colorantes Azoicos y otros.

Tabla 2.1. Tipos de colorantes.

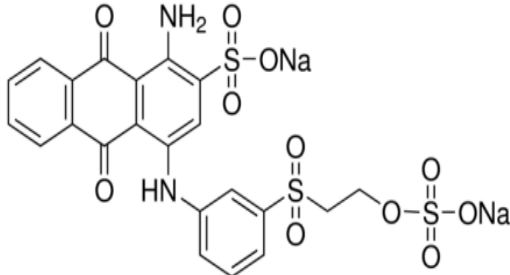
FAMILIA	GRUPO CROMÓFORO	DESCRIPCIÓN
Antraquinona		Estos son resistentes a la degradación por fusión de estructuras aromáticas, lo que da como resultado una larga persistencia en los efluentes y son quinonas tricíclicas derivadas del antraceno y suelen contener uno o más grupos hidroxilo.
Azoicos		Los colorantes azoicos son uno de los principales colorantes sintéticos a base de derivados de hidrocarburos y se los utilizan ampliamente en la industria textil, estos tintes cuentan con una diversidad de colores y se los utilizan en diferentes bienes de consumo, tales como cuero, ropa, alimentos, juguetes, plásticos y cosméticos.

Fuente: Tenesaca y Tito (2021); Vallejo (2021).

2.2.2. COLORANTE REACTIVO AZUL 19

Este tipo de colorante pertenece al grupo de reactivos antraquinona, siendo uno de los grupos más difíciles de tratar, ya que tienen una alta solubilidad en agua y poca adhesión a las fibras textiles; el azul reactivo 19 puede tener un tiempo de vida de hasta 46 años en condiciones de 25 °C y pH de 7 (tabla 2.2) (Arenas et al., 2020; Gallego y Rubio, 2021).

Tabla 2.2. Características del colorante reactivo azul 19.

Características	Reactivo azul 19
Clasificación	Antraquinona
Composición	Sulfato de 2-(3-(4-amino-9,10-dihidro-3-sulfo-9,10-dioxoantracen-4-il) (aminobencenosulfonyl)vinilo) y disodio
Fórmula empírica	$C_{12}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$
Peso molecular	626.54 g/mol
Número CAS	2580-78-1
λ (nm)	594
C.I. No.	61200
Estructura química	

Fuente: Zambrano et al. (2020).

2.3. TOXICIDAD DE COLORANTES

A menudo, la toxicidad del colorante está relacionada con su adsorción y absorción, el nivel de seguridad requerido depende del campo de aplicación y la frecuencia de uso. La toxicidad de los colorantes utilizados en jabones, cremas y otras superficies corporales no es la misma que puede ocurrir cuando los tintes se ingieren con fines medicinales o a través de los alimentos (Ramírez y Clemente, 2022).

2.3.1. TOXICIDAD EN SERES HUMANOS

Bojalil et al. (2021) manifiestan que la mayoría de los colorantes azoicos no son tóxicos, mientras que sus compuestos de degradación sí lo son. Por lo tanto, se han identificado compuestos potencialmente tóxicos, cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos asociados con estos colorantes. De hecho, se ha informado que los colorantes azoicos están asociados con cánceres de vejiga, bazo e hígado, así como con anomalías cromosómicas en mamíferos.

Baena (2020) destaca también efectos nocivos en la salud humana como la disfunción de los riñones, el sistema reproductivo, hígado, cerebro y el sistema nervioso central, irritación del tracto respiratorio, ojos, piel, asma, dolor de garganta y dermatitis alérgica de contacto.

Para Orellana (2020) los problemas de salud relacionados a estos tintes se clasifican tanto en Azoicos, Quinolina, Bisfenoles, Benzotiazoles y Benzotriazoles.

- **Azoicos:** la exposición humana más directa a los colorantes azoicos es a través de la ropa. Los colorantes azo utilizados para teñir la ropa pueden adsorberse en la piel al sudar en ciertas condiciones de temperatura corporal alta y abrir los poros de la piel cuando están en contacto directo con la piel durante varias horas al día (Brüschweiler et al., 2014).
- **Quinolina:** la quinolina es un compuesto heterocíclico aromático orgánico y sus derivados se los utilizan en grandes cantidades en la industria textil para la producción de colorantes, colorantes dispersos y colorantes en cuba (Luongo et al., 2014).
- **Bisfenoles:** son compuestos aromáticos que se constituyen por 2 anillos fenólicos, unidos a través de un grupo puente que puede tener variación de acuerdo a los compuestos considerados (García et al., 2015).
- **Benzotiazoles y Benzotriazoles:** Son compuestos de alto rendimiento y se consideran nuevos contaminantes ambientales. El uso generalizado de benzotriazoles y benzotiazoles en diversos entornos ambientales indica una posible exposición humana a estos productos químicos, así como su presencia en el aire, el agua potable, las piscinas, los textiles y la ropa. La toxicidad de estos compuestos ha sido determinada en diferentes estudios como in vitro e in vivo (Orellana, 2020).

2.3.2. TOXICIDAD EN EL MEDIO AMBIENTE

La existencia de colorantes en los cuerpos de agua puede generar diversos efectos, que van desde la perturbación de los equilibrios ecológicos del entorno hasta el deterioro de la calidad del agua; por ejemplo, el colorante azul 19 afecta directamente al medio ambiente ya que puede permanecer en él durante un largo

periodo de tiempo debido a que su lapso de vida es de 46 años aproximadamente; por lo tanto, esto afecta la vida acuática, en especial a las plantas marinas, ya que, interrumpe la fotosíntesis por la interferencia en la transmisión de la luz en el agua, generando así el fenómeno de eutrofización (Orellana, 2020; Ramírez, 2021; Gallego y Rubio, 2021).

2.3.2.1. LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Mediante el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA, 2015) Libro VI, establecen las siguientes obligaciones para la descarga de efluentes:

- a) Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

De acuerdo con Orellana (2020) establece que es indispensable considerar que cada industria textil debe llevar un registro de los desechos que produce, incluyendo su volumen, las frecuencias de descarga y los resultados de los análisis de laboratorio, entre otros aspectos.

2.4. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE COLORANTES

Existen diferentes metodologías para remoción de colorantes sintéticos en aguas residuales, entre ellas se encuentran tecnologías avanzadas de oxidación, procesos biológicos secuenciales, procesos de filtración y procesos de adsorción; este último tratamiento es uno de los más utilizados como opción de remediación debido a su efectividad, baja densidad, alta resistencia química, relativamente alta resistencia mecánica y sus bajos costos de operación (Torres y Zamudio, 2018; Pila, 2020; Carrillo et al., 2021).

2.4.1. PROCESOS FÍSICOS

Entre las principales tecnologías para el tratamiento físico de aguas residuales contaminadas por la presencia de colorantes y pigmentos en medios acuosos, se citan como las más importantes los procesos de adsorción, los sistemas de

filtración y las resinas de intercambio iónico. Los adsorbentes con altas tasas de decoloración reportadas en la literatura incluyen aceite de palma, virutas, aserrín, bambú, algas, agujas de pino, tallos de colza, residuos agroindustriales de bajo costo como el quitosano y minerales como el lignito, magnetita, carbón activado, bentonita, etc (Jojoa et al., 2015; Fernández, 2020).

2.4.2. PROCESOS QUÍMICOS

En este grupo de procesos químicos efectuados para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorantes, se describen algunos métodos químicos de oxidación, tales como: proceso de ozonización, fenton, ultrasonido, fotocátalisis (ultravioleta), oxidantes tradicionales (peróxido de hidrógeno), tecnologías como coagulación/ floculación y electrocoagulación. Sin embargo, como ya se mencionó, estos procesos tienen varios inconvenientes, como el costo de los productos químicos involucrados, la necesidad de pre acondicionar los medios, las altas concentraciones de productos residuales o la eliminación de los lodos producidos (Barios et al., 2015; Urbina y Solano, 2020).

2.4.3. PROCESOS BIOLÓGICOS

Bermeo (2016) y Ferrer et al. (2018) mencionan que el proceso biológico puede proporcionar un porcentaje significativo de rechazo de color y carbono orgánico total, pero funciona a una velocidad más lenta, lo que resulta en tiempos de procesamiento significativamente más largos. Por ende, el tratamiento de colorantes en aguas residuales industriales presenta importantes ventajas frente a los métodos físico-químicos, ya que son respetuosos con el medio ambiente, económicos, producen menos lodos y, además, permiten obtener productos finales no tóxicos y mineralizados.

2.5. PROCESOS DE ADSORCIÓN EN AGUAS RESIDUALES

La adsorción es un proceso en el cual intervienen generalmente un adsorbente y un adsorbato, es una de las técnicas con mayor aceptación en comparación con otros métodos para tratar aguas residuales, ya que es un método avanzado o terciario que cumple un papel importante como tecnología idónea para el mejoramiento de dichas aguas; por otro lado, cuenta con ventajas como: su costo

y simplicidad de diseño, efectividad, es de fácil operación e insensible a sustancias tóxicas. Su proceso se ve afectado por diversas condiciones del medio como el pH y la temperatura, característica molecular del colorante y por el tiempo de contacto (Aranda et al., 2019; Garduño, 2019; Torres et al., 2020).

De acuerdo con Santos (2021), existen dos tipos de materiales utilizados en procesos de adsorción:

- **Convencionales:** son materiales sintéticos o naturales que deben tener tratamiento de activación para su uso; y una vez usados pueden ser regenerados, dentro de ellos se encuentran el carbono, arcillas, entre otros.
- **No convencionales:** los adsorbentes no convencionales, también denominados verdes o bioadsorbentes, son el resultado de aprovechar los materiales de desechos de las industrias agrícolas y de alimentos.

2.5.1. RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO MATERIAL ADSORBENTE

Existen diversos tipos de materiales que son utilizados como adsorbentes, uno de ellos son los residuos agrícolas, que son denominados materiales lignocelulósicos, debido a que su estructura está compuesta por celulosa, lignina y hemicelulosa; y pueden ser utilizados sin tratamientos o con un mínimo de ellos como: lavado, secado y triturado, haciendo que sus costos de producción sean menores (Gutiérrez y Romero, 2019; Santos, 2021).

El uso de residuos agrícolas o sus derivados han logrado ser una de las alternativas con mayor acogida para el tratamiento de aguas contaminadas; actualmente se utiliza un gran número de biomasa ya sea esta de forma carbonizada o natural. Dentro de algunos residuos utilizados como material adsorbente se encuentran: residuos de café, cáscara de naranja, bagazo de agave, plátano, arroz, yuca, papa, trigo, moringa y residuos de coco (Pantoja, 2019; Gutiérrez y Cerón, 2020). Siendo la última en mención el tema central de esta investigación.

2.5.2. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO DE COCO COMO MATERIAL ADSORBENTE

El coco (*Cocos nucifera L.*) es una de las palmeras que más se cultiva a nivel mundial en países que cuentan con un clima tropical, es por esto que sus residuos pueden ser utilizados para la obtención de carbón activado, ya que su cáscara posee una excelente estructura natural y bajo contenido de cenizas (Cabrera et al., 2020).

El coco se compone generalmente por una capa externa (exocarpio), la cual consiste en tejidos fibrosos duros; a continuación lo compone una capa gruesa de fibras duras (mesocarpio) el cual compone un 35% del total del fruto, el mesocarpio se compone de un tejido llamado parénquima que al principio es translucido pero luego se torna de color café con la maduración y secado del fruto y por último se encuentra la capa más dura que rodea la pulpa (endocarpio); la cáscara del coco está compuesta por celulosa que varía entre un 35 a 43% y por lignina que varía entre 23 a 43%; ambos componente mencionados tiene un eficacia para remover iones y moléculas, por lo cual es considerado como material adsorbente (Balladares, 2019; Landin et al., 2020; Prieto et al., 2021).

De acuerdo a la investigación de Soto et al. (2022) se presenta la caracterización de los residuos de coco (tabla 2.2)

Tabla 2.3. Caracterización del residuo del coco.

Parámetro	Residuo de Coco
Humedad %	75.3
CE (dS·m ⁻¹) 1:10	0.7
pH 1:10	5.7
Carbono Total (%)	42.2
Relación C/N	42.3

Fuente: Soto et al. (2022).

2.6. CARBONIZACIÓN HIDROTHERMAL

La carbonización hidrotérmica (HTC) es una tecnología prometedora para el tratamiento de diferentes tipos de biomasa húmeda, como lodos de depuradora y residuos de alimentos (Mesa, 2021).

La HTC es un procedimiento termoquímico en el que se transforma la materia orgánica en una sustancia sólida con alto contenido de carbono; este proceso ocurre dentro de un rango de temperaturas que va de 180 a 260 °C, y consiste en sumergir la biomasa en agua y calentarla mediante un sistema que genera presión de forma autónoma (Guachi, 2019). El hidrocarbón resultante estará suspendido en agua, por lo que se necesitan procesos mecánicos y térmicos para secarlo con la finalidad de obtener gránulos o pellets de carbón, que son el producto final del proceso HTC (Cardero et al., 2020).

Este proceso se puede utilizar para producir una amplia variedad de carbonos nanoestructurados, producción simple de sustituto del lignito, gas de síntesis y combustibles líquidos y sólidos; la HTC es capaz de transformar la materia en tres fracciones: sólida, líquida y gaseosa; La fracción sólida se llama hidrocarbón, que tiene un poder calorífico similar al del lignito y algunos carbonos sub-bituminosos, la fracción líquida se puede utilizar como fuente de productos químicos, mientras que la fracción gaseosa se puede utilizar como combustible (Chen et al., 2017; Valladares, 2020).

2.7. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA DE TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

La técnica de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) posibilita el análisis de la química superficial y de los grupos funcionales presentes en el adsorbente, proporcionando información detallada sobre las interacciones a nivel molecular entre el adsorbato y el adsorbente. Este método implica la transmisión de un rayo monocromático de luz infrarroja a través de la muestra y la medición de la energía adsorbida, la cual está directamente relacionada con las energías de vibración específicas de los enlaces químicos presentes en la muestra (Andrade, 2018).

2.8. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN

El equilibrio de adsorción se da luego de un determinado tiempo de contacto entre el adsorbente y el adsorbato, se genera una distribución del soluto en las fases sólida y líquida. Para el estudio de dicho equilibrio se necesita emplear modelos matemáticos; la aplicación de isotermas de adsorción es un método que

proporciona información valiosa del rendimiento de un proceso, ya que permite la determinación de un posible alcance de alto nivel de pureza de un adsorbente dado y el cálculo de la cantidad de sustancias que fueron adsorbidas en el equilibrio (Lemus, 2020; Gutiérrez, 2022).

De acuerdo a investigaciones realizadas por Lemus (2020); Gutiérrez (2022) y varias revisiones bibliográficas, se apunta a que los modelos más utilizados son los de Langmuir y Freundlich.

2.8.1. ESTUDIO DE ISOTERMAS POR MONOCOMPONENTES (MODELO DE LANGMUIR)

El modelo de Langmuir plantea que la adsorción se da en una sola capa conforme a diversas consideraciones como: temperatura constante, adsorción localizada solo en sitios activos de la superficie, se asume que cada sitio de adsorción puede adherir una sola molécula de adsorbato; es decir que se forma una monocapa debido a que la superficie es homogénea, la energía de adsorción es la misma en todos los sitios y no existe relación interactiva entre moléculas adsorbidas; y se ve regido por la siguiente ecuación (Peluffo y Castro, 2019):

$$q_{eq} = \frac{q_{max} * b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad [2.1]$$

De forma lineal se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \left(\frac{1}{b q_{max}} \right) \left(\frac{1}{C_{eq}} \right) \quad [2.2]$$

Dónde:

- q_{eq} = g de adsorbato/g de adsorbente.
- q_{max} = máxima cantidad de adsorbato que puede ser adsorbido por g de adsorbente.
- b = constante de Langmuir que indica la afinidad de los sitios activos.
- C_{eq} = concentración en el punto de equilibrio.

2.8.2. ESTUDIO DE ISOTERMAS POR BICOMPONENTES (MODELO DE FREUNDLICH)

En este modelo es considerada una monocapa heterogénea, en la cual los sitios activos no son independientes o equivalentes, la siguiente ecuación expresa su capacidad específica de adsorción (Torres y Vanegas, 2018):

$$q_{eq} = k_f C_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad [2.3]$$

De forma lineal se obtiene la ecuación:

$$\log \log q_{eq} = \log \log k_f + \frac{1}{n} \log \log C_{eq} \quad [2.4]$$

Dónde:

- k_f = constante de la capacidad de adsorción.
- n = constante que indica la intensidad de adsorción.
- C_{eq} = concentración en el punto de equilibrio.

2.8.3. MODELO DE SIPS

Es un modelo combinado de las expresiones de Langmuir y Freundlich que predice la adsorción en sistemas heterogéneos. Este modelo fue formulado para aumentar el grado de ajuste de los datos experimentales que muestran los límites de la capacidad de adsorción, la cual se expresa de la siguiente ecuación (Alarcón, 2019).

$$q_e = \frac{Q_{max} (K_S C_e)^{\frac{1}{n}}}{1 + (K_S C_e)^{\frac{1}{n}}} \quad [2.5]$$

Donde:

- q_e = Capacidad de adsorción en el equilibrio ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).
- C_e = Concentración del sorbato en la solución en el equilibrio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).
- Q_{max} = Capacidad máxima de adsorción ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).
- K_s = Constante de isoterma de Sips ($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$).

- n = Parámetro de heterogeneidad.

2.9. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Uno de los aspectos más importantes para explicar la eficacia de un adsorbente es la cinética de adsorción, esta es controlada por varios procesos independientes que operan en paralelo o en serie; dichos procesos son: la difusión en masa, transferencia de masa externa, difusión entre partículas y la reacción química (Aranda, 2019).

Para determinar la cinética de adsorción se proponen los modelos cinéticos más utilizados en diversas investigaciones, entre los cuales se encuentran: modelo cinético de pseudo primer orden, pseudo segundo orden, modelo de Banghan y el modelo de Elovich (Carbonel, 2018).

2.9.1. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO PRIMER ORDEN

Este modelo supone que la velocidad de adsorción con respecto al tiempo es proporcional a la diferencia entre la capacidad de adsorción en equilibrio y la cantidad adsorbida en un tiempo determinado, y se presenta como la siguiente ecuación (Hincapié et al., 2018):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_{eq} - q_t) \quad [2.6]$$

Integrando la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$\ln(q_{eq} - q_t) = \ln q_{eq} - k_1 t \quad [2.7]$$

Dónde:

- q_t = cantidad adsorbida en un tiempo determinado ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).
- q_{eq} = capacidad de adsorción en equilibrio ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).
- k_1 = constante de velocidad, determinada a partir de la gráfica (min^{-1}).
- t = tiempo de contacto (min).

2.9.2. MODELO CINÉTICO DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN

En este modelo se describe esencialmente la interacción química entre el adsorbente y el adsorbato, considerando que la adsorción va a depender de la concentración de los sitios activos, y se representa de la siguiente manera (Torres y Vanegas, 2018):

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t \quad [2.8]$$

Dónde:

- q_{eq} = capacidad de adsorción del soluto sobre el adsorbente en el equilibrio ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).
- q_t = capacidad de adsorción del soluto sobre el adsorbente en el tiempo t ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).
- k_2 = constante de velocidad determinada a partir de la gráfica ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).
- t = tiempo de contacto (min).

2.9.3. MODELO DE BANGHAN

Esta ecuación es utilizada para determinar si la difusión de poros es la única etapa limitante durante el proceso de adsorción, y se ve expresada mediante la siguiente ecuación (Prieto et al., 2019 y Guevara, 2019):

$$\log \log \log \log \left(\frac{C_o}{C_o - q_t m} \right) - \log \log \left(\frac{k_o m}{2.303 V} \right) + \alpha \log \log (t) \quad [2.9]$$

Dónde:

- C_o = concentración inicial del adsorbato en solución.
- V = volumen de la solución.
- q_t = cantidad del material adsorbido en el tiempo t .
- m = peso del adsorbente utilizado.

- α y k_o = constantes que pueden ser calculadas con la pendiente e intercepción de $\log \log \left(\frac{C_o}{C_o - q_t m} \right)$ vs $\log \log (t)$, respectivamente.

2.9.4. MODELO DE ELOVICH

Comúnmente es utilizado para describir la adsorción de gases, sin embargo, también ha sido utilizado para describir la adsorción de contaminantes en solución acuosa, se ve expresado por la siguiente ecuación (Tejada et al., 2015):

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln \ln (\alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln \ln (t) \quad [2.10]$$

Dónde:

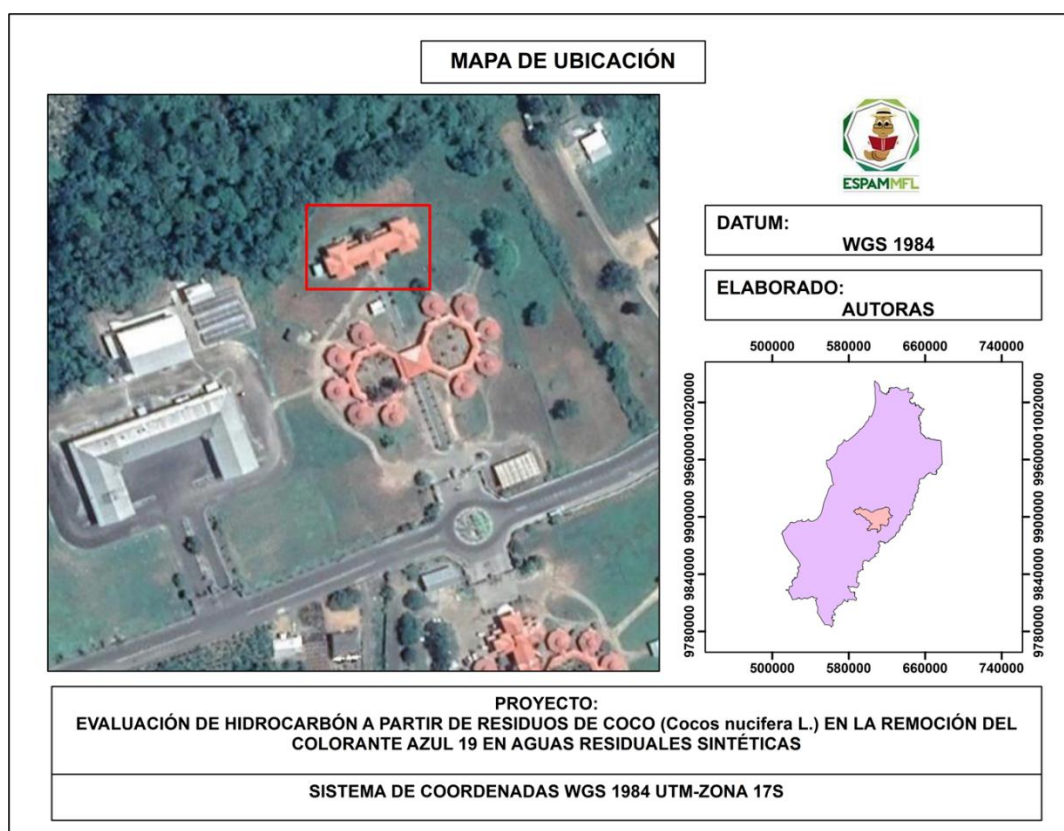
- α = velocidad inicial de adsorción.
- β = constante de desorción relacionada con el alcance de la superficie.
- q_t = capacidad de adsorción del soluto sobre el adsorbente en el tiempo t.
- t = tiempo de contacto.

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.2. UBICACIÓN

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio de Química Ambiental en el área agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), la cual está ubicada en el sitio “El Limón” de la ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí, geográficamente entre las coordenadas $0^{\circ} 49' 23''$ S; $80^{\circ} 11' 01''$ O y una Altitud de 15 m.s.n.m. La recolección de los residuos de coco fue realizada en la parroquia Canuto, cantón Chone.

Figura. 3.1. Campus Politécnico de la ESPAM MFL.



Fuente: Google Earth (2022).

3.2. DURACIÓN

La investigación fue realizada en un periodo de 9 meses de abril 2023 a diciembre 2023 una vez aprobada la planificación.

3.3. MÉTODOS

Los métodos que se utilizaron en esta investigación fue el método deductivo, estadístico y bibliográfico, cada uno de ellos permitieron cumplir los objetivos planteados en la investigación con el fin de conocer la capacidad de adsorción de los residuos de coco como carbón activado en aguas sintéticas con colorantes de la industria textil.

3.3.1. MÉTODO DEDUCTIVO

En la presente investigación se aplicó este método, con la finalidad de corroborar las hipótesis planteadas, por medio de la evaluación de la capacidad de adsorción del hidrocarbón a base de residuo de coco de colorantes sintéticos en solución acuosa, variando su dosis y pH.

3.3.2. MÉTODO ESTADÍSTICO

Se aplicó para la obtención de los resultados, con el fin de describir las características y comportamientos de este conjunto mediante medidas de resumen, tablas y gráficos; la información se trabajará con un análisis de varianza (ANOVA) para cada una de sus variables: dosis de material adsorbente y pH, en la que se utilizó las siguientes pruebas:

- ANOVA.
- Prueba de Tukey ($p < 0,05$).

3.3.3. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO

Según Landin y Sánchez (2019) los métodos bibliográficos usan información identificada por varios autores para citar ideas importantes en la investigación utilizando así herramientas como revistas académicas, libros, tesis o documentos de sitios web. Por ende, en esta investigación se utilizó este método para la elaboración del marco teórico y fundamentación de la discusión y los resultados que se obtendrán en la evaluación de Hidrocarbón a partir de residuos de coco (*Cocos nucifera L.*) en la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas.

3.4. DELINEAMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

3.4.1. FACTORES DE ESTUDIO

Factor A: Dosis del hidrocarbón

- A₁: 1,0 g
- A₂: 1,2 g
- A₃: 1,4 g
- A₄: 1,6 g
- A₅: 1,8 g

Factor B: pH

- B₁: 2
- B₂: 4
- B₃: 7
- B₄: 10

3.4.2. UNIDAD EXPERIMENTAL

Las unidades experimentales están conformadas por 20 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, donde se obtienen un total de 60 unidades experimentales, las cuales se encuentran constituidas por las diferentes dosis del hidrocarbón a partir de cáscara de coco (1,0 g; 1,2 g; 1,4 g; 1,6 g y 1,8 g) tomados de referencia en las investigaciones de Zambrano (2016) y Zambrano (2018) con sus mejores resultados, estas cantidades serán colocadas en un matraz Erlenmeyer con 100 ml de la muestra de la solución acuosa del colorante Azul 19 con una concentración de 100 mg·L⁻¹ variando adicionalmente el pH (2; 4; 7 y 10) para establecer la dosis y el pH óptimo para el proceso de adsorción.

Tabla 3.1. Fuentes de variación del análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Factor A	4
Factor B	3
Interacción AxB	12
Error experimental	40
Total	59

3.4.3. TRATAMIENTOS

Se realizaron 20 tratamientos con 3 repeticiones cada uno establecidos por el diseño completamente al azar (DCA) factorial asimétrica A x B, teniendo dos factores en estudio, donde el factor A tiene cinco niveles y el B con cuatro niveles, los cuales se evaluaron en función de las variables respuestas (tabla 3.1).

Se eligió este diseño ya que de acuerdo con Camani (2017) un DCA se realiza cuando las unidades experimentales son homogéneas y cuando se quiere evaluar el rendimiento de diferentes materiales. Por lo cual, fue utilizado en la investigación para realizar la evaluación del rendimiento del hidrocarbón, ya que el manejo del material experimental fue realizado en laboratorio, controlando las condiciones del medio (humedad, temperatura, radiación).

Tabla 3.2. Constitución de los tratamientos.

Tratamientos	Código	Dosis (g)	pH
T ₁	A ₁ B ₁	1,0	2
T ₂	A ₂ B ₁	1,2	2
T ₃	A ₃ B ₁	1,4	2
T ₄	A ₄ B ₁	1,6	2
T ₅	A ₅ B ₁	1,8	2
T ₆	A ₁ B ₂	1,0	4
T ₇	A ₂ B ₂	1,2	4
T ₈	A ₃ B ₂	1,4	4
T ₉	A ₄ B ₂	1,6	4
T ₁₀	A ₅ B ₂	1,8	4
T ₁₁	A ₁ B ₃	1,0	7
T ₁₂	A ₂ B ₃	1,2	7
T ₁₃	A ₃ B ₃	1,4	7
T ₁₄	A ₄ B ₃	1,6	7
T ₁₅	A ₅ B ₃	1,8	7
T ₁₆	A ₁ B ₄	1,0	10
T ₁₇	A ₂ B ₄	1,2	10
T ₁₈	A ₃ B ₄	1,4	10
T ₁₉	A ₄ B ₄	1,6	10
T ₂₀	A ₅ B ₄	1,8	10

3.5. VARIABLES A MEDIR

3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Dosis de material adsorbente.
- pH.

3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Remoción de colorantes sintéticos.

3.6. MANEJO DEL EXPERIMENTO

El procedimiento de la investigación se desarrolló en base en los objetivos específicos:

FASE I. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL MATERIAL ADSORBENTE

ACTIVIDAD 1. OBTENCIÓN DEL HIDROCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE COCO (*Cocos nucifera* L.)

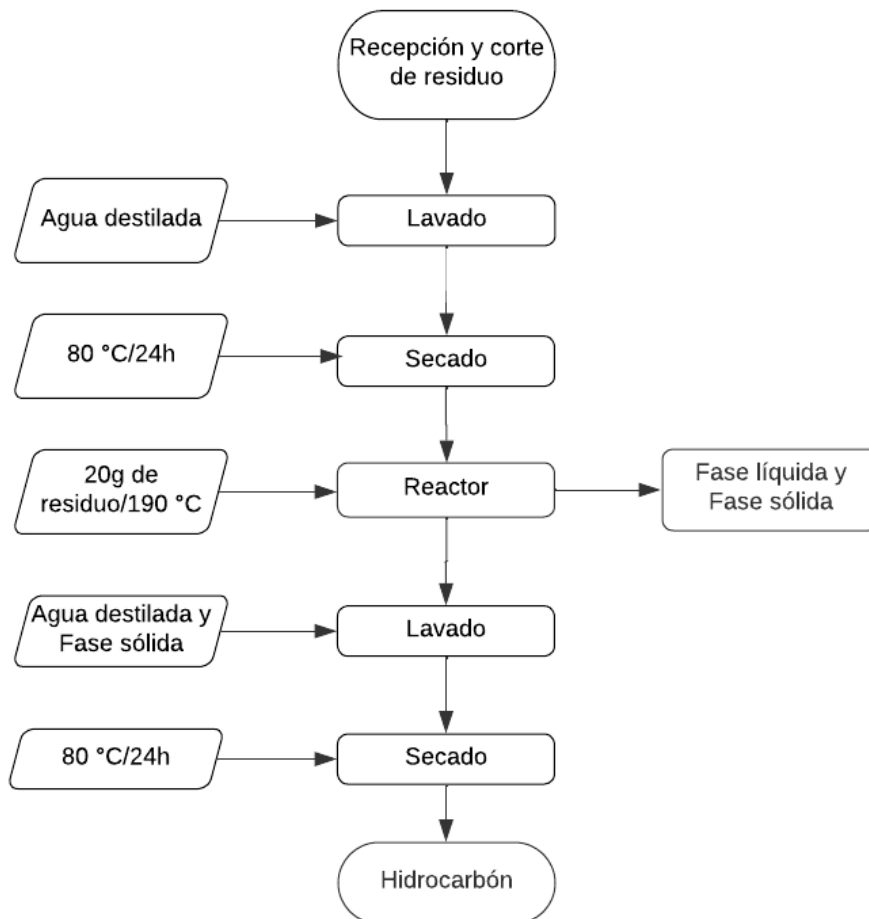
Para la obtención del hidrocarbón a partir de cáscara de coco mediante carbonización hidrotermal (HTC), se tomó como referencia la metodología planteada por Ávila (2023) para el acondicionamiento del residuo de coco el cual menciona que, para obtener el hidrocarbón primero se redujo el tamaño del residuo aproximadamente a 5 cm, luego se procederá a realizar varios lavados para eliminar impurezas y deberá ser secada en una estufa a 80 °C durante 24 horas para alcanzar una humedad <5%.

Para el proceso de obtención de hidrocarbón se utilizó la metodología propuesta por Ngoc et al. (2023) en donde se deberá pesar 20 g del material seco y colocado dentro del reactor con revestimiento de teflón junto a 190 ml de agua ultrapura, el reactor es sellado e introducido en una mufla configurada a 190 °C por 24 horas; luego se separó la fase líquida y la fase sólida (hidrocarbón), la cual fue sometida a varios lavados con agua ultrapura y secada a 80°C durante

24 horas obteniendo de esta manera el hidrocarbón a partir de la cáscara de coco.

En base a lo mencionado por los autores citados previamente se desarrollará el siguiente diagrama:

Figura.3.2. Diagrama de flujo del proceso de obtención del hidrocarbón.



ACTIVIDAD 2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Para el estudio granulométrico del hidrocarbón a partir de residuos de coco se usó 100 g de muestra de hidrocarbón, utilizando una serie de tamices (Tabla 3.3) U.S.A. Standard Testing Sieve ASTM E-11 Specification (Zambrano 2016), valorando la muestra retenida en cada tamiz, permitiendo caracterizar el diámetro de partícula del hidrocarbón empleado en el estudio, representando la fracción de tamaño en relación con el peso de la muestra total inicial tamizada.

Tabla 3.3. Tamices normalizados por Humboldt U.S.A. Standard.

N° Tamiz	Diámetro de grano (mm)
16	1,18
18	1,00
20	0,850
25	0,710
30	0,600
40	0,420

ACTIVIDAD 3. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CARGA CERO (pH_{zpc})

Para la determinación del pH_{zpc} se tomó en cuenta las metodologías utilizadas por Zambrano (2018) y Zambrano (2016) quienes realizaron investigaciones de remoción de colorantes sintéticos utilizados tanto en la industria alimentaria como en la industria textil con residuos agrícolas.

Se determinó el pH_{zpc} usando la técnica de equilibrio por lotes, donde se preparó soluciones con pH de 2 a 10 agregando agua destilada, ácido clorhídrico ($0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) e hidróxido de sodio ($0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$), estas fueron puestas en contacto con el hidrocarbón a una cantidad de 0,1 g, en 25 ml de las soluciones con pH corregido. Las soluciones fueron colocadas en matraces Erlenmeyer y agitadas a 300 rpm en 24 horas. Terminado ese tiempo de contacto, se registraron los valores de pH final y se construyó una gráfica (pH final – pH inicial) versus pH inicial, donde el pH_{zpc} corresponde a la intersección con el eje horizontal.

ACTIVIDAD 4. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA DE TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

Para la espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FT-IR) se tomó en cuenta la metodología utilizada de Zambrano (2018), para la cual los espectros infrarrojos de los residuos del coco se registraron a partir del promedio de 32 escaneos registrados entre 600 y 4000 cm^{-1} a una resolución de 4 cm^{-1} mediante esto se utilizó un espectrofotómetro THERMO SCIENTIFIC NICOLET IS20 equipado con un accesorio Quest (ATR) de Reflectancia Total Atenuada (ATR) utilizando un cristal de Ge con una profundidad de penetración de 0,65 μm . Estos espectros FT-IR confirmaron la presencia de grupos funcionales en el adsorbente.

La caracterización del hidrocarbón a partir de residuos de coco por espectroscopía infrarroja FT-IR se realizó en el Laboratorio de Análisis Químicos y Biotecnológicos del Instituto de Investigación de la Universidad Técnica de Manabí.

FASE II. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DOSIS DEL ADSORBENTE Y pH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE EN AGUAS SINTÉTICAS

ACTIVIDAD 5. MÉTODO ANALÍTICO DEL COLORANTE

El colorante que se utilizó en los ensayos experimentales de esta investigación fue el reactivo azul 19, por ser uno de los más utilizados en la industria textil, el cual se utilizó como patrón para la preparación de las soluciones acuosas y analizados a su longitud de onda característica de 594 nm según la literatura y se creó una recta de calibración para el colorante a una concentración desde 20 mg·L⁻¹ hasta 140 mg·L⁻¹ y para medir las concentraciones altas se realizaron diluciones 1:10. Una vez obtenido el colorante se procedió a preparar la solución madre con 1,25 g de colorante azul 19 en un volumen de 1000 ml de agua destilada; dicha solución sirvió para preparar posteriormente las aguas residuales sintéticas (Zambrano, 2016).

ACTIVIDAD 6. VALIDACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO

Mediante la medición de la adsorbancia final en la longitud de onda del colorante reactivo azul 19 se llevó a cabo los experimentos de adsorción, los cuales se realizaron con un espectrofotómetro Spectroquant® Move 100. El método analítico implementado en la actividad anterior bajo el establecimiento de la recta de calibración fue validado para garantizar que los resultados sean confiables y seguros en el cumplimiento del objetivo propuesto (Zambrano, 2016).

De acuerdo a la metodología utilizada por Zambrano (2018), para la validación del método analítico se tomó en cuenta parámetros que han sido establecido en Guías Oficiales, debido a que no existen normativas para dicha validación, entre ellos se presentan los siguientes:

- **Linealidad:** “este parámetro se basa en la probabilidad que existe entre la concentración del analito y su respuesta” (Cutí y Maldonado, 2020), en la presente investigación fue determinado mediante la creación de una recta de calibración. Esta linealidad fue definida por el valor del coeficiente de regresión lineal (R^2) en la curva del colorante en estudio.
- **Precisión:** para este parámetro se hizo un cálculo basado en el coeficiente de varianza, obtenido mediante la ecuación (3.1).

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad [\text{Ec 3.1}]$$

Donde:

\bar{x} = valor de la media aritmética.

s = valor estimado del desvió de padrón absoluto.

- **Límite de cuantificación:** este se define como la menor concentración que se mide, a partir de ella se puede cuantificar el analito. En la investigación se obtuvo el límite de cuantificación mediante la siguiente ecuación:

$$LQ = 10 \frac{s}{S} \quad [\text{Ec 3.2}]$$

El valor de S es correspondiente a la inclinación de la curva analítica.

- **Límite de detección:** este fue la menor concentración que se detectó en la muestra; el método se basó en la curva analítica que se describió en la ecuación anterior, y se calculó mediante la ecuación:

$$LD = 3.3 \frac{s}{S} \quad [\text{Ec 3.3}]$$

ACTIVIDAD 7. ESTUDIO REMOCIÓN DEL COLORANTE CON EL MATERIAL ADSORBENTE

Para el estudio de los parámetros de adsorción en la remoción del colorante se tomó en cuenta las metodologías utilizadas por Zambrano (2016) y Zambrano (2018), quienes realizaron investigaciones de remoción de colorantes sintéticos utilizados tanto en la industria alimentaria como en la industria textil con residuos agrícolas, acoplado dichas metodologías al presente tema de investigación.

Se aplicó cada uno de los tratamientos planteados en el diseño experimental como se muestra en el Anexo 1, para regular el pH de los tratamientos se ajustó con soluciones de HCl a una concentración $0,4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ y NaOH $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en dicho estudio se consideró un volumen de 100 ml a $100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de solución acuosa para proceder adicionar la dosis del adsorbente de los tratamientos (Zambrano, 2016).

La dosis del adsorbente para cada uno de los tratamientos fue tomada a partir de la referencia de los autores Zambrano (2016) y Zambrano (2018), evaluando en un sistema estático con una agitación de 300 rpm a temperatura aproximada de 298 K y la solución del colorante de 100 mL, con una concentración de $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a los pH respectivo de cada tratamiento, verificando el porcentaje de remoción del colorante al final del proceso.

FASE III. ESTABLECIMIENTO UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTUDIO CINÉTICO DE LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL 19 A PARTIR DEL HIDROCARBÓN DE RESIDUOS DE COCO

ACTIVIDAD 8. EFECTO DEL TIEMPO DE CONTACTO DEL ADSORBENTE

Este experimento, también llamado cinética de adsorción, se realizó usando soluciones del colorante en diversas concentraciones: 20, 60, 100, 140, 180, 220 y $260 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, en intervalos de tiempo de 3, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 y 180 minutos como los establece Zambrano (2016). Dichas soluciones fueron depositadas en matraces Erlenmeyer y agitadas a velocidad de 300 rpm con las cantidades de adsorbente conocidas a una temperatura ambiente de 298 K, hasta que se alcance un equilibrio; y para poder conocer dichas concentraciones de equilibrio alcanzadas, las soluciones fueron filtradas y analizadas por medio de espectrofotometría.

Una vez obtenidos los datos experimentales, se ajustaron en modelos cinéticos, en la presente investigación los datos de equilibrio experimental de reactivo azul 19 en residuo de coco, fueron analizados por los modelos cinético de pseudo primer orden (Ec. 2.7), pseudo segundo orden (Ec. 2.8) y Bangham (Ec. 2.9) mediante el uso del programa Statistica. Esta metodología se tomó de la

investigación realizada por Andrade (2018) y adaptada para cumplir con los objetivos de la presente investigación.

ACTIVIDAD 9. APLICACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO

En la presente investigación se ajustaron los datos experimentales a la ecuación de Langmuir (Ec. 2.2), Freundlich (Ec. 2.4) y Sips (Ec. 2.5), en función del adsorbato y adsorbente del proceso de adsorción, con el fin de obtener la influencia de la temperatura frente a la capacidad de adsorción del hidrocarbón a partir de residuos de coco; a una temperatura de 298 K para cada concentración de solución de colorante: 20, 60, 100, 140, 180, 220 y 260 mg·L⁻¹ (Zambrano, 2018).

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó un software para el análisis de la capacidad de remoción que tiene el hidrocarbón a partir de residuos de coco, se realizó un ANOVA en función de los tratamientos para ver el efecto de los factores dosis del adsorbente y pH de la solución, posteriormente a los tratamientos se le aplicó la prueba de comparaciones múltiples Tukey al 5% de probabilidad de error, con la finalidad de agrupar las medias en subconjuntos homogéneos, lo cual nos permitió establecer cuál fue el mejor tratamiento.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL MATERIAL ADSORBENTE

OBTENCIÓN DEL HIDROCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE COCO (*Cocos nucifera* L.)

Una vez obtenido el hidrocarbón se determinó que por cada 20 g de residuo introducido en el reactor se obtuvieron entre 12 y 15 g de hidrocarbón; lo cual corresponde a un rendimiento de 60 y 75 % respectivamente de hidrocarbón obtenido a partir de la materia prima; así mismo se pudo determinar que hubo una pérdida de entre 25 y 40 % del residuo de coco inicial al momento del proceso de HTC.

En el proceso de HTC la temperatura es un factor importante, el cual influye en el rendimiento del hidrocarbón; Pinto et al. (2022), plantean que el rendimiento del hidrocarbón será mayor cuando la temperatura sea inferior o igual a 200 °C, mientras que, temperaturas mayores a 200 °C afectarán el rendimiento del hidrocarbón; por lo cual, mediante los resultados del proceso de carbonización hidrotermal de la cáscara de coco se determinó que el rendimiento del mismo fue mayor al 50 % debido a que el proceso fue realizado a temperatura menor a 200 °C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Una vez realizado el análisis granulométrico con el fin de separar las partículas que constituían el hidrocarbón y conocer qué cantidad por tamaño de partícula se encuentran presentes en la muestra; se pudo determinar que el mejor diámetro de partícula de acuerdo al porcentaje de retención fue con el tamiz n° 40 (0,420 mm); ya que obtuvo un porcentaje mayor con un valor de 32,5 % (tabla 4.1).

Sin embargo, la investigación realizada por Zambrano (2018) muestran resultados diferentes, debido a que el material utilizado fue biomasa de arroz, por lo cual se destaca la importancia de considerar el tamaño de partícula en los

procesos de adsorción, señalando que las áreas superficiales más altas, como las que se encuentran en partículas de tamaño comprendido entre 0,840 y 0,420 mm, tienden a bloquear el paso de las moléculas del colorante, lo que puede afectar negativamente la eficiencia del proceso de adsorción. Por el contrario, áreas superficiales más bajas, como las asociadas con partículas de 0,074 mm, favorecen la adsorción de las moléculas del colorante. Por otro lado, Díaz et al. (2021) respaldan esta idea al sugerir que los materiales con un menor tamaño de partícula son más propicios para facilitar el proceso de adsorción.

Tabla 4.1. Análisis granulométrico del hidrocarbón.

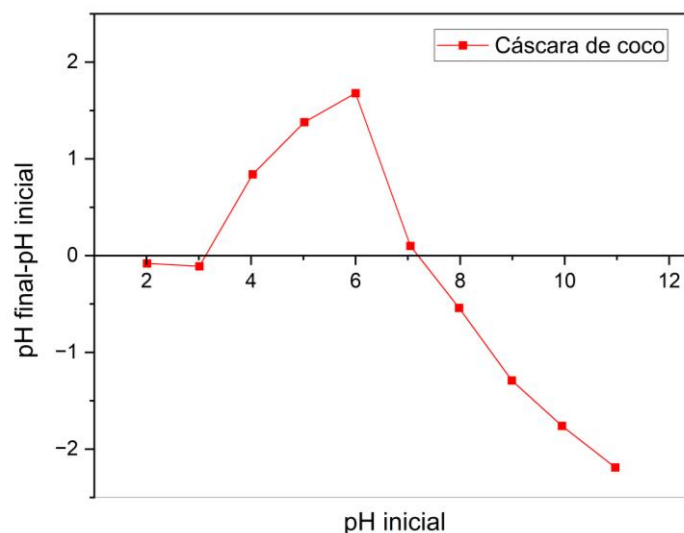
N° Tamiz	Diámetro de grano (mm)	Peso (g)	% de retención
16	1,18	4,4	22
18	1,00	2,3	11,5
20	0,850	2,4	12
25	0,710	2,7	13,5
30	0,600	1,7	8,5
40	0,420	6,5	32,5
	Total	20	100

Esta afirmación implica que el tamaño de partícula es un factor determinante en la capacidad de un material para adsorber moléculas de colorante y, por ende, en la eficacia del proceso de eliminación de contaminantes. Por tales motivos, en el presente estudio se optó por trabajar con un diámetro de partículas de 0,420 mm, esta decisión se fundamenta en la idea de que dicho tamaño de partícula proporciona un equilibrio adecuado entre una superficie suficiente para la adsorción eficiente de moléculas de colorante y una permeabilidad que permite el flujo adecuado de la solución a través del material adsorbente.

DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CARGA CERO (pH_{zpc})

Se determinó el punto de carga cero (pH_{zpc}) la cual se puede observar en la figura 4.1 que la curva interceptada en el eje X tiene un valor alrededor de 7 sugiriendo que el hidrocarbón de coco puede ser útil para adsorber sustancias tanto catiónicas como aniónicas en solución acuosa, valor que corresponde al punto de carga cero del hidrocarbón de coco.

Figura 4.1. Determinación del punto de carga cero (pH_{zpc}).



El valor interceptado de 7, como se observa en la Figura 4.1, sugiere que la concentración de sitios básicos es ligeramente mayor que la de sitios ácidos. Este hallazgo concuerda con la idea planteada por Figueroa (2021), quien sugiere que, en solución, los hidrocarburos pueden adquirir cargas tanto positivas como negativas debido a las interacciones entre los iones presentes en la solución y los grupos funcionales del material. Así mismo, Balladares (2019) complementa esta idea al afirmar que la superficie del material tendrá una carga neta negativa cuando el pH supere el punto de carga cero, y una carga neta positiva cuando el pH sea inferior a este punto.

Estos resultados muestran la importancia de considerar el equilibrio de cargas en la interacción entre los materiales adsorbentes en solución, lo cual puede influir significativamente en los procesos de adsorción y en la capacidad de remoción de contaminantes.

ESPECTROSCOPIA INFRARROJA DE TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

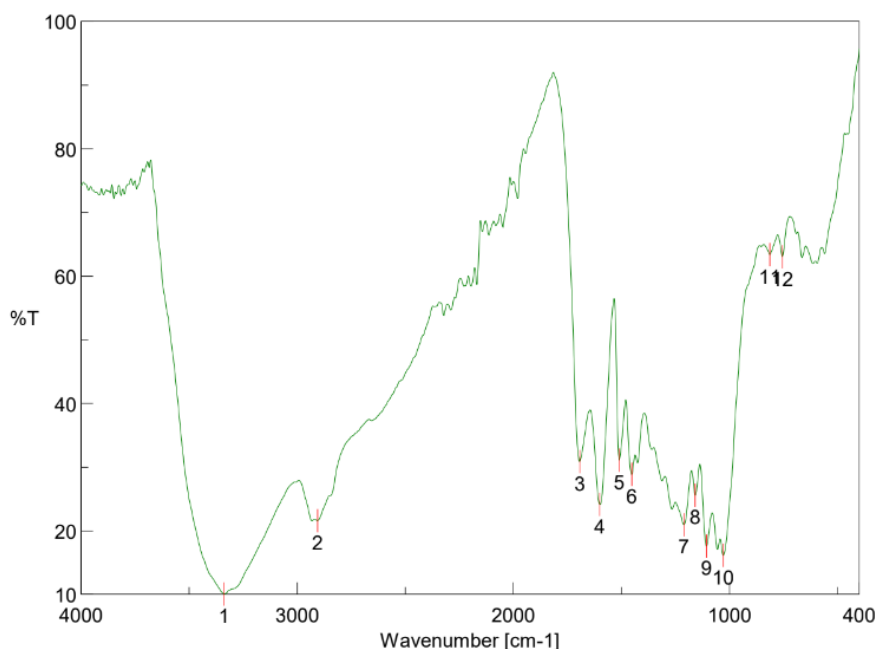
En el análisis FT-IR se tomó como referencia la norma ASTM E1252, en donde se identificaron diversos grupos funcionales mediante los mecanismos de

vibración de deformación, torsión y estiramiento, estos grupos funcionales se detallan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Grupos funcionales presentes en el hidrocarbón.

Longitud de onda (cm ⁻¹)	Enlace	Grupo de proveniencia del enlace	Rango (cm ⁻¹)	Modo de vibración	Intensidad
3338.18	OH	Alcohol (fenol)	3400-3200	Estiramiento	Variable
2906.2	C-O	Aromáticos	3079-3010	Estiramiento	Variable
1693.19	C=O	Ác. Carboxílico	1700-1680	Estiramiento	Débil
1600.63	C=O	Ác. Carboxílico	1610-1560	Estiramiento	Fuerte
	Anillo	Aromáticos	1625-1590	Estiramiento	Variable
1509.99	Anillo	Aromáticos	1525-1470	Estiramiento	Variable
1452.14	O-H	Ác. Carboxílico	1440-1395	Deformación	Débil
	Anillo	Aromáticos	1465-1430	Estiramiento	Media
1211.08	O-H	alcohol (fenol)	1350-1211	Deformación	Fuerte
	C-O	Ác. Carboxílico	1320-1211	Estiramiento	Fuerte
1159.01	C-H	Aromáticos	1170-1150	Torsión	Débil
1106.94	C-O	Alcohol	1210-1100	Estiramiento	Fuerte
1029.8	C-O	Alcohol (fenol)	1075-1000	Estiramiento	Fuerte
	C-H	Aromáticos	1050-1020	Torsión	Débil
813.81	C-H	Aromáticos	850-810	Deformación	Débil
755.96	C-H	Aromáticos	770-735	Deformación	Fuerte

Figura 4.2. Espectro de transmitancia del hidrocarbón de cáscara de coco.



En la Figura 4.2 se presenta el espectro del hidrocarbón de cáscara de coco puro, caracterizado por una banda ancha en el rango de 3400 a 3200 cm⁻¹. Esta banda de adsorción se localizó alrededor de la región de 3338,18 cm⁻¹ y puede atribuirse a las vibraciones de estiramiento de los enlaces de OH en moléculas de agua, unidas por puentes de hidrógeno, y a grupos OH presentes en celulosa, hemicelulosa y lignina. Las bandas de 3079 cm⁻¹ y 3010 cm⁻¹ se asignan a los

enlaces aromáticos C-H en las estructuras de celulosa, hemicelulosa y lignina, respectivamente.

Cerca de 1700 cm^{-1} , se observa un pequeño pico debido a las vibraciones de estiramiento de (C = O) en cetonas, aldehídos, lactonas o grupos carboxilo. La intensidad notable de este pico sugiere que la muestra de hidrocarbón de cáscara de coco contiene una cantidad significativa de grupos carboxilo.

La banda que abarca desde 1610 hasta 1560 cm^{-1} se asocia a las vibraciones de estiramiento de grupos carboxílicos, mientras que aquellas en el rango de 1625 a 1590 cm^{-1} corresponden a grupos aromáticos con una intensidad variable. La banda de mayor intensidad, registrada aproximadamente a $1029,8\text{ cm}^{-1}$, indica la presencia de tetrámeros de siloxano. Esta banda se caracteriza por las vibraciones de estiramiento de C-O en celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que respalda la naturaleza lignocelulósica de este residuo.

La notable intensidad de este pico a $1029,8\text{ cm}^{-1}$ en la región de 1075 a 1000 cm^{-1} se atribuye a los enlaces C-O y enlace Si-O en los grupos siloxano que se generan, junto con otros grupos aromáticos identificados a $813,81\text{ cm}^{-1}$ y $755,96\text{ cm}^{-1}$, los cuales presentan vibraciones de deformación.

Lo mencionado anteriormente concuerda Neves et al. (2021), que en su investigación se destacaron vibraciones infrarrojas específicas de grupos funcionales oxigenados, como ácidos carboxílicos, anhídridos, lactonas, fenoles, quinonas y carbonilos, presentes en residuos de carbón obtenidos a partir de coco mediante métodos oxidativos y térmicos. Además, la presencia de enlaces de grupos de silicio, como los enlaces Si-O-Si en el material derivado de siloxanos, juega un papel significativo en la interacción entre el adsorbente y el contaminante. Esta interacción ha sido observada por Córdoba et al. (2015), quienes señalan que estos enlaces favorecen las condiciones para el proceso de adsorción.

Esto demuestra la compleja composición química del hidrocarbón a partir de cáscara de coco analizado debido a que cada grupo funcional presenta vibraciones en diversas regiones del espectro, identificando tanto componentes lignocelulósicos como grupos siloxano, lo que es favorable en la interacción entre

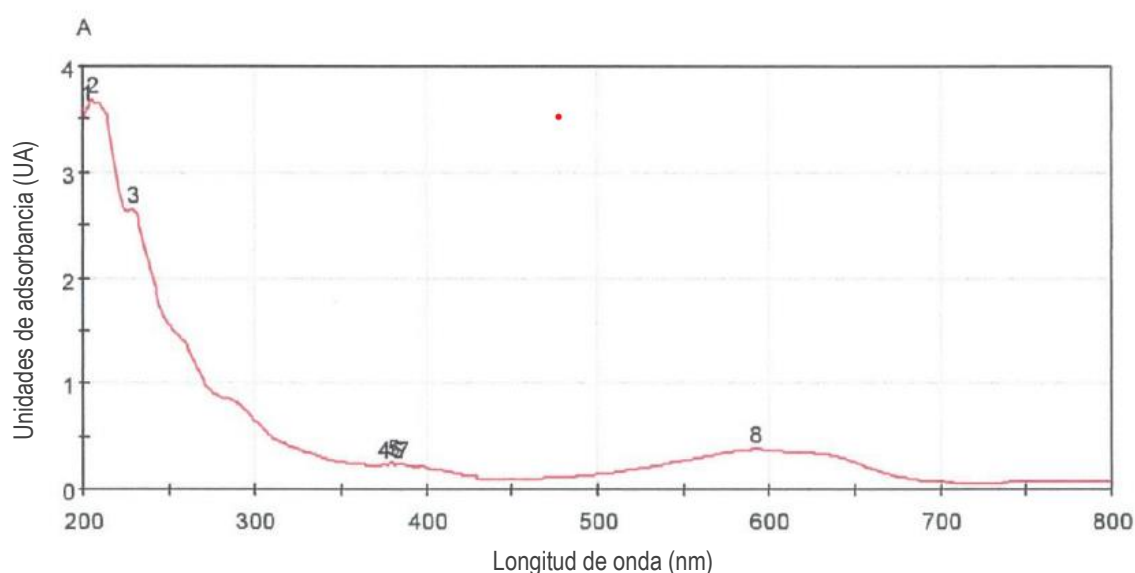
el adsorbente y el contaminante en la superficie del material, mejorando los rendimientos en el proceso de adsorción.

FASE II. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DOSIS DEL ADSORBENTE Y pH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE EN AGUAS SINTÉTICAS

MÉTODO ANALÍTICO DEL COLORANTE

El azul 19, contenido en una solución acuosa, se identificó mediante la detección de su adsorción a una longitud de onda de 594 nm, revelando los picos distintivos durante el análisis de barrido realizado con un Espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific – Evolution 60S). El espectro correspondiente al colorante azul 19 se representa en la Figura 4.3:

Figura 4.3. Espectro del colorante azul 19.



En la Figura 4.3, se presenta el espectro de adsorción UV-VIS de una muestra del colorante azul 19, la cual se pudo observar que la adsorbancia empezó en los 200 nm y esta fue disminuyendo entre el pico 1 y 7; resaltando que en el punto 3 existió una longitud de onda constante aproximadamente a los 240 nm, mientras que, en los puntos 4,5,6 y 7 se encontró una adsorción media con una longitud de onda entre 350 y 400 nm y el pico máximo de adsorción ocurrió en el punto 8, situado a una longitud de onda de 594 nm donde ocurre la mayor parte de la adsorción, siendo la longitud de onda máxima del colorante azul 19.

Coincidiendo con la investigación de Arenas et al. (2020), la adsorbancia máxima también ocurrió en la longitud de onda en los 594 nm; así mismo Lacerda (2020) señala que, en su investigación, se examinó el control de la adsorbancia del colorante azul 19 en el rango de 200 a 800 nm, en dicho estudio, se identificó una longitud de onda de máxima adsorbancia en 594 nm.

VALIDACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO

Una vez definido el espectro de adsorción del colorante, se llevó a cabo la validación del método utilizando los datos proporcionados en la Tabla 4.3. Se calculó la media de las áreas correspondientes a las seis curvas, así como la desviación estándar entre ellas. Además, se realizó una evaluación de la dispersión de los resultados mediante la aplicación de la prueba de Grubb's. Esta prueba permitió identificar valores atípicos anómalos que se presentaban como notablemente mayores o menores en comparación con las medidas del grupo.

Tabla 4.3. Parámetros de validación del método analítico (Media de las Adsorbancia, desvío padrón y test de Grubb's).

Concentración mg.L ⁻¹	Medias de las Adsorbancia	Desvío Padrón	Prueba de Grubb's 95% de confianza	
			G<	G>
20	0,473	0,0051	1,412	1,018
40	0,791	0,0115	0,781	1,649
60	1,108	0,0147	1,246	1,472
80	1,395	0,0217	1,153	1,614
100	1,757	0,0137	1,220	1,708
120	2,063	0,0350	1,523	1,332
140	2,300	0,0420	1,430	1,669

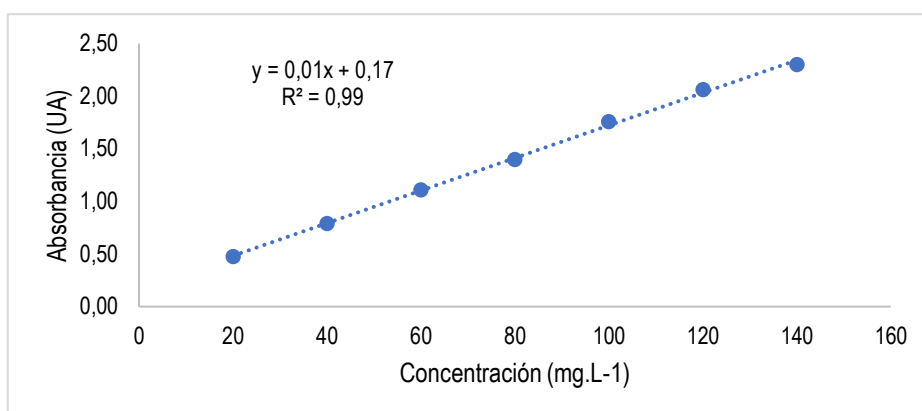
Los resultados presentados en la Tabla 4.3 indican que los datos son consistentes para los valores equivalentes de las seis medidas, con un nivel de confianza del 95 %. Este resultado respalda al observar los valores obtenidos en la prueba de Grubb's (G< y G>) son inferiores a 1,8221, de acuerdo a los criterios críticos establecidos en tablas conforme a la metodología propuesta por Taylor y Cihon (2004). Además, según lo señalado por Rico y Zapata (2023) si el valor calculado supera el crítico, se considera que el dato experimental es un valor atípico y se lo descarta. En este caso, no se detectaron valores atípicos en el conjunto de datos analizados, lo cual se considera aceptable.

La evaluación de la linealidad de una curva se realiza aplicando la regresión lineal a los datos, acompañada del cálculo del coeficiente de correlación (R^2). En la Figura 4.4 se muestra el gráfico de linealidad, mientras que la Tabla 4.4 detalla los rangos lineales identificados en el colorante, la ecuación de la recta y el coeficiente de correlación asociados obtenidos durante el análisis.

Tabla 4.4. Intervalo de trabajo para el colorante, ecuación de la línea recta y coeficiente (R^2).

Colorante	Intervalo (mg.L ⁻¹)	Ecuación de la recta	R ²
Azul 19	20 a 140	$y=0.0155x + 0.1734$	0.9984

Figura 4.4. Gráfica de la linealidad para el colorante azul 19 para el rango de 20 a 140 mg.L⁻¹.



La Tabla 4.4 presenta el valor de la correlación del método del colorante, el cual alcanzó un valor de 0,99 presentando un ajuste lineal casi perfecto cercano a la unidad, siendo el modelo determinado fiable para las evaluaciones a medir en los tratamientos. Según los estándares establecidos por entidades reguladoras como la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA) y el Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología (INMETRO) en Brasil, se consideran aceptables los coeficientes de correlación que superan 0,90 y 0,99 (Napoleão, 2015). En este contexto, las curvas de calibración se consideran apropiadas para la determinación del colorante azul 19, ya que reflejan un ajuste significativo y preciso de los datos correlacionados. Al verificar la Figura 4.4, se confirma que los puntos utilizados en la construcción de la curva analítica se encuentran dentro

del rango lineal. Por lo tanto, se puede afirmar que el método analítico es lineal en el intervalo analizado.

Después de confirmar la linealidad del método, se llevó a cabo la evaluación de la precisión mediante el análisis del coeficiente de variación (CV). Los resultados detallados se presentan en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5. Valores obtenidos para el CV en el intervalo de 20 a 140 mg · L⁻¹.

Concentración mg.L⁻¹	Coefficiente de variación (%)
20	1,0728
40	1,4569
60	1,3281
80	1,5541
100	0,7778
120	1,6974
140	1,8240

Los resultados del coeficiente de variación, detallados en la Tabla 4.5 y que varían entre 0,77 % y 1,82 %, indican una precisión satisfactoria, ya que estos valores se encuentran por debajo del umbral del 2 %, establecido como criterio de aceptación según Volonté y Quiroga (2013).

Según Huerta y Suárez (2017), la farmacopea de Estados Unidos establece un límite de 2,7 % de coeficiente de variación (CV) para considerar un método como preciso y aceptable. Esta recomendación coincide con lo establecido por Camones y Vidal (2022), quienes indican que los criterios de aceptación para el coeficiente de variación en un método deben ser inferiores al 2 %. En este contexto, los resultados obtenidos respaldan la precisión del método analítico evaluado.

Los límites de detección (LD) y cuantificación (LQ) se determinaron mediante el método basado en la relación entre la desviación estándar y la pendiente de la curva. En la Tabla 4.6 se detallan los resultados del LD y LQ del método analítico para la determinación del colorante en solución acuosa, abarcando un rango de concentración de trabajo de 20 a 140 mg.L⁻¹.

Tabla 4.6. Límites de detección y cuantificación del método analítico

Azul 19 (mg.L⁻¹)	Límite de detección (mg.L⁻¹)	Límite de cuantificación (mg.L⁻¹)
20 - 140	1,081	3,275

Como se observa en la Tabla 4.6, la curva analítica resultante de la validación del método, se han registrado los valores asociados al límite de cuantificación, el cual se ha establecido en 3,275 mg.L⁻¹, correspondiendo a la concentración mínima del colorante que puede ser establecida con precisión y exactitud. Al establecer un límite de detección de 1,081 mg.L⁻¹, se indica la concentración mínima del colorante que puede ser identificada por el método analítico. De acuerdo con las recomendaciones de Rocha et al. (2020), es aconsejable que tanto el límite de detección como el límite de cuantificación se encuentren por debajo del nivel inferior de la curva de calibración para la validación efectiva de un método analítico por espectrofotometría UV-Visible.

ESTUDIO REMOCIÓN DEL COLORANTE CON EL MATERIAL ADSORBENTE

En la tabla 4.7 se detalla la remoción del colorante con el material adsorbente mediante la interacción de la dosis de hidrocarbón y pH de la solución que se realizó mediante el análisis de varianza, el cual determinó que tanto el factor A como el B y la interacción entre los dos tuvieron diferencias significativas ($P < 0,05$); por lo cual se realizó la prueba de Tukey.

Tabla 4.7. Análisis de la Varianza.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
pH	14132,15	3	4710,72	746745,24	<0,0001
Dosis (g)	1986,71	4	496,68	78733,74	<0,0001
pH*dosis (g)	2679,53	12	223,29	35396,7	<0,0001
Error	0,25	40	0,01		
Total	18798,65	59			

Mediante la prueba de Tukey (tabla 4.8) se evidenció que el rendimiento del hidrocarbón es influenciado por el pH 2 debido a que obtuvo la mayor media, teniendo una adsorbancia de 79,71 mg.L⁻¹, a diferencia de los otros pH; siendo el pH 7 de menor adsorbancia con un valor de 41,37 mg.L⁻¹. Lo cual indica que el hidrocarbón tiene mayor adsorción sobre las sustancias ácidas y alcalinas, mientras que, en las sustancias neutras tiene menor adsorción; es decir, que los tratamientos de adsorción se ven influenciados por el pH de las soluciones.

Tabla 4.8. Prueba de Tukey para el factor pH.

ERROR: 0,0063		gl: 40		
pH	Medias	n	E.E.	
2	79,71	15	0,02	A
4	77,82	15	0,02	B
10	69,62	15	0,02	C
7	41,37	15	0,02	D

Por otro lado, para el factor dosis se demostró que la cantidad de 1,6 g de hidrocarbón presentó una mayor adsorción del colorante, por lo cual, tuvo una media de 74,29 mg.L⁻¹. indicando que es la mejor para el proceso de remoción (tabla 4.9).

Tabla 4.9. Prueba de Tukey para el factor Dosis.

ERROR: 0,0063		gl: 40		
Dosis (g)	Medias	n	E.E.	
1,6	74,29	12	0,02	A
1,8	74	12	0,02	B
1,4	63,5	12	0,02	C
1,2	62,11	12	0,02	D
1	61,76	12	0,02	E

De acuerdo con Andrade (2018) los procesos de adsorción que se realizan en pH ácidos (2,4 y 6) obtienen una mayor capacidad de adsorción, lo cual indica una alta eficiencia del proceso; mientras que, la capacidad de adsorción dependerá de la dosis implementada ya que, un exceso del uso del material adsorbente puede influir negativamente en el proceso de adsorción, debido que a partir de 1,6 g de material la capacidad de adsorción tiende a ser constante. Lo cual concuerda con la presente investigación ya que el pH 2 tuvo una capacidad de adsorción con una dosis de 1,6 g de hidrocarbón.

En la figura 4.5 se muestra que hubo diferencia entre la interacción de dos factores para cada uno de los tratamientos, en la cual el T4 (pH 2, m_{ads}1,6 g) obtuvo la mejor categoría para ser utilizados en los procesos de adsorción del colorante azul 19 ya que su porcentaje de remoción fue 86,88% (Anexo 5).

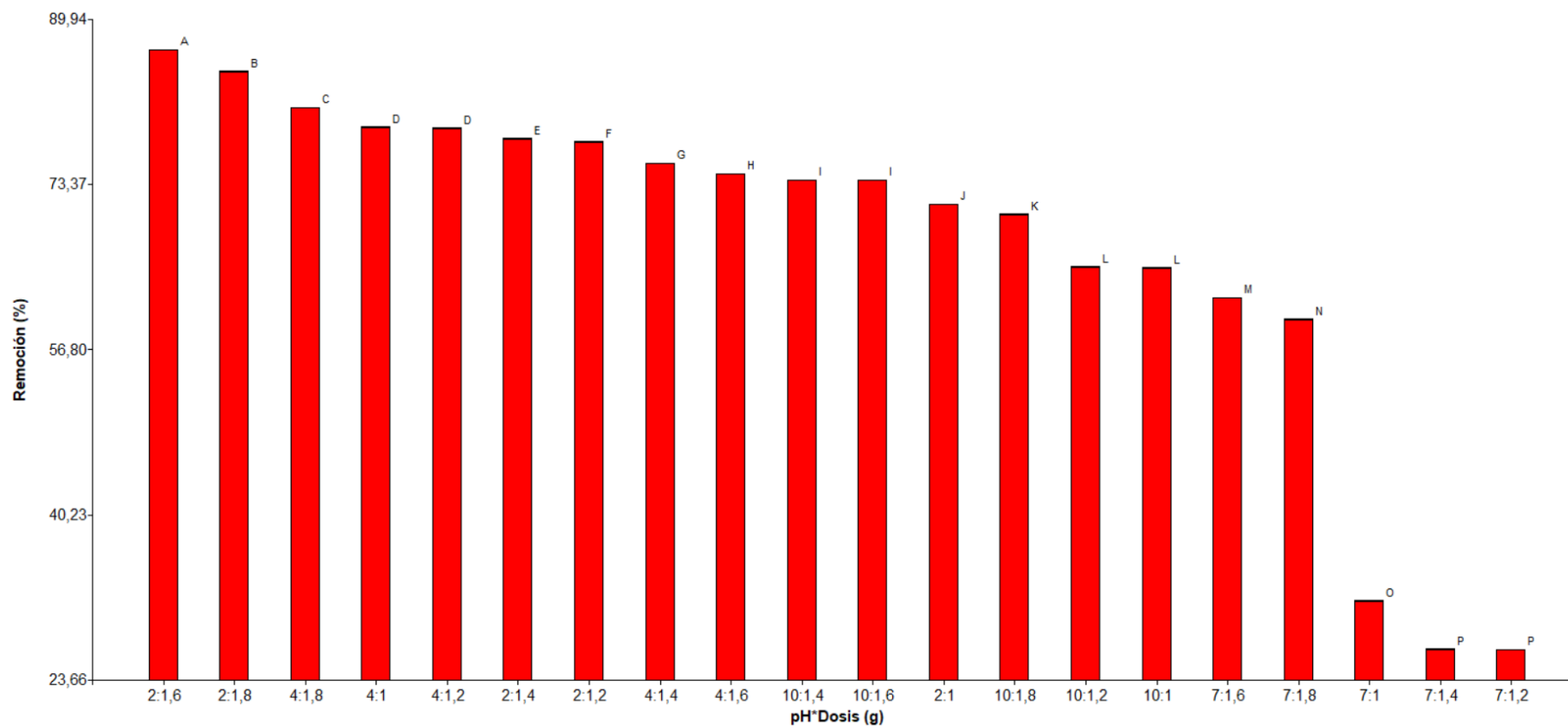
Tabla 4.10. Interacción entre los factores.

Error: 0,0063		gl: 40			
pH	Dosis (g)	Medias	n	E.E	
2	1,6	86,88	3	0,05	A
2	1,8	84,72	3	0,05	B
4	1,8	81,05	3	0,05	C
4	1	79,11	3	0,05	D
4	1,2	79,02	3	0,05	D
2	1,4	77,94	3	0,05	E
2	1,2	77,65	3	0,05	F
4	1,4	75,5	3	0,05	G
4	1,6	74,44	3	0,05	H
10	1,4	73,82	3	0,05	I
10	1,6	73,82	3	0,05	I
2	1	71,36	3	0,05	J
10	1,8	70,36	3	0,05	K
10	1,2	65,11	3	0,05	L
10	1	65,00	3	0,05	L
7	1,6	62,02	3	0,05	M
7	1,8	59,85	3	0,05	N
7	1	31,58	3	0,05	O
7	1,4	26,75	3	0,05	P
7	1,2	26,67	3	0,05	P

Lo cual concuerda con la investigación de Zambrano (2018), ya que el porcentaje de remoción del colorante fue entre 60 y 80%; esto se debe a que la dosis de material adsorbente fue entre 1,4 y 1,6 g y se plantea que si existe un aumento de material adsorbente puede haber una disminución de la absorción del colorante por la interacción entre las partículas; mientras que la adsorción también se ve afectada por el pH, debido a que la adsorción del colorante es efectiva cuando se da en soluciones acidas; por ende, en la presente investigación trabajo con el T4 por presentar las condiciones favorables para la adsorción del colorante azul 19.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa ya que el T4 permitió la remoción del colorante azul 19 en aguas residuales sintéticas, demostrando que el pH de la solución y dosis de hidrocarbón influyeron en el tratamiento de adsorción.

Figura 4.5. Test Tukey interacción dosis*pH y remoción de los tratamientos.



FASE III. ESTABLECIMIENTO UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTUDIO CINÉTICO DE LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL 19 A PARTIR DEL HIDROCARBÓN DE RESIDUOS DE COCO

EFFECTO DEL TIEMPO DE CONTACTO DEL ADSORBENTE

Se realizó el efecto del tiempo de contacto del adsorbente, en el cual se determinó que la adsorción del colorante azul 19 para las concentraciones de 100, 140, 180, 220 y 260 mg.L⁻¹ en el tiempo transcurrido entre 3 y 60 minutos se redujeron de forma rápida (20,29; 33,74; 57,86; 71,58 y 84,93 mg.L⁻¹); mientras que para las concentraciones de 20 y 60 mg.L⁻¹ el tiempo de reducción fue entre 3 y 40 minutos obteniendo una concentración final de 2,47 mg.L⁻¹ y 15,25 mg.L⁻¹ respectivamente.

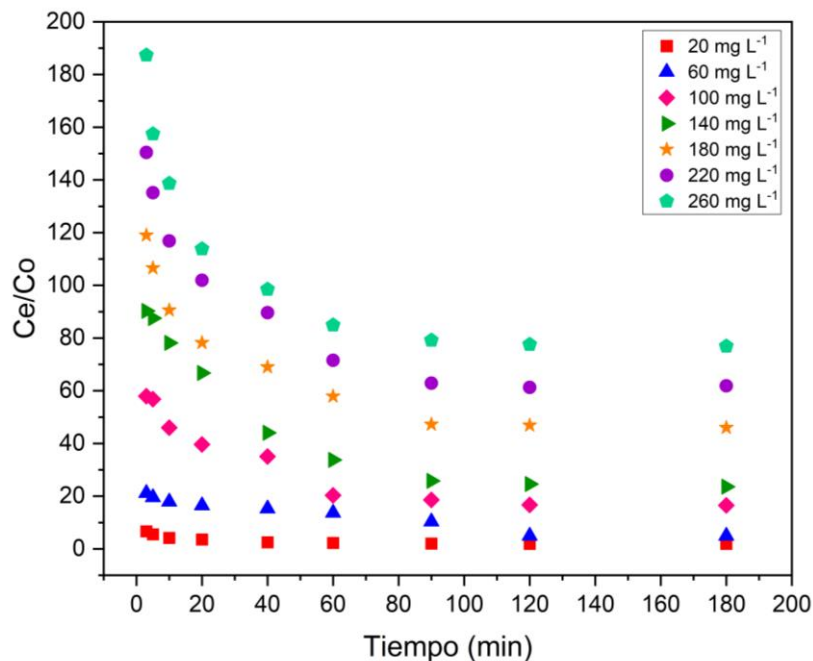
Tabla 4.11. Efecto del tiempo de contacto con el adsorbente.

TIEMPO	CONCENTRACIÓN													
	20	%	60	%	100	%	140	%	180	%	220	%	260	%
3	6,63	33	21,14	35	57,92	58	90,25	64	118,97	66	150,41	68	187,36	85
5	5,5	28	19,53	33	56,83	57	87,52	63	106,54	59	135,15	61	157,42	72
10	4,16	21	17,9	30	45,99	46	78,14	56	90,56	50	116,87	53	138,66	63
20	3,55	18	16,45	27	39,61	40	66,74	48	78,18	43	101,92	46	113,84	52
40	2,47	12	15,25	25	35,08	35	44,06	31	68,99	38	89,64	41	98,46	45
60	2,26	11	13,68	23	20,29	20	33,74	24	57,86	32	71,58	33	84,93	39
90	2,01	10	10,35	17	18,62	19	25,79	18	47,23	26	62,87	29	79,15	36
120	1,91	10	4,94	8	16,7	17	24,62	18	46,87	26	61,25	28	77,54	35
180	1,89	9	4,92	8	16,5	17	23,59	17	45,97	26	61,87	28	76,89	35

Una vez que transcurre la adsorción entre los tiempos de 3 y 60 minutos de las concentraciones, se pudo observar que en los tiempos posteriores la capacidad de adsorción se vuelve constante, ya que pasando el tiempo se torna más lenta, debido a que se produce la saturación del adsorbente por lo cual se logra alcanzar el equilibrio. Estos resultados coinciden con los de Zambrano (2018) y Guevara (2019) ya que demostraron que la adsorción ocurre rápidamente en los primeros 60 minutos a comparación de otros adsorbentes, los cuales tardan horas o días; y posteriormente la adsorción se vuelve más lenta hasta los 120 minutos; seguido a esto el proceso de adsorción alcanza el equilibrio.

Cabe destacar que la concentración de 20 mg.L^{-1} alcanzó una disminución de la concentración del colorante a los 120 y 180 minutos, teniendo un valor de 1,91 (10 %) y 1,89 (9 %) mg.L^{-1} ; mientras que la concentración que tuvo menor adsorción fue la de 260 mg.L^{-1} , ya que a los 120 y 180 minutos obtuvieron un valor de 77,54 (35 %) y 76,89 (35 %) mg.L^{-1} . Lo cual representa que a concentraciones menores de colorante la adsorción será mayor y a mayores concentraciones menor va a ser la adsorción (figura 4.6).

Figura 4.6. Efecto del tiempo de contacto del adsorbente.



Con respecto a la modelación cinética se evaluaron tres modelos para cada una de las concentraciones con el fin de comprender el comportamiento del proceso de adsorción con relación a los valores de los coeficientes de determinación (R^2) Tabla 4.12.

Tabla 4.12. Modelación de la cinética de adsorción.

Parámetros	Colorante Azul 19						
	20 mg.L-1	60 mg.L-1	100 mg.L-1	140 mg.L-1	180 mg.L-1	220 mg.L-1	260 mg.L-1
Pseudo Primer Orden							
q cal (mg.g-1)	0,508726	1,499057	2,286807	3,491207	3,646969	4,183547	5,151112
K ₁ (min-1)	0,401531	0,466917	0,150192	0,107979	0,147938	0,122203	0,134222
R ²	0,88582	0,59832	0,85823	0,87734	0,91875	0,92946	0,96245
Pseudo Segundo Orden							
q cal (mg.g-1)	0,527791	1,563309	2,480927	3,801604	3,955384	4,571236	5,585200
K ₂ (min-1)	1,492085	0,548158	0,083177	0,040657	0,051164	0,036000	0,033220
R ²	0,98556	0,77870	0,94443	0,95128	0,97924	0,98158	0,99496
Bangham							
K (min-1)	0,002734	0,002521	0,001398	0,001238	0,001201	0,001021	0,001061
A (mg.g-1 min-1)	0,078416	0,082983	0,197928	0,225188	0,207142	0,233274	0,228102
R ²	0,96005	0,95165	0,98267	0,98598	0,97834	0,97635	0,94650

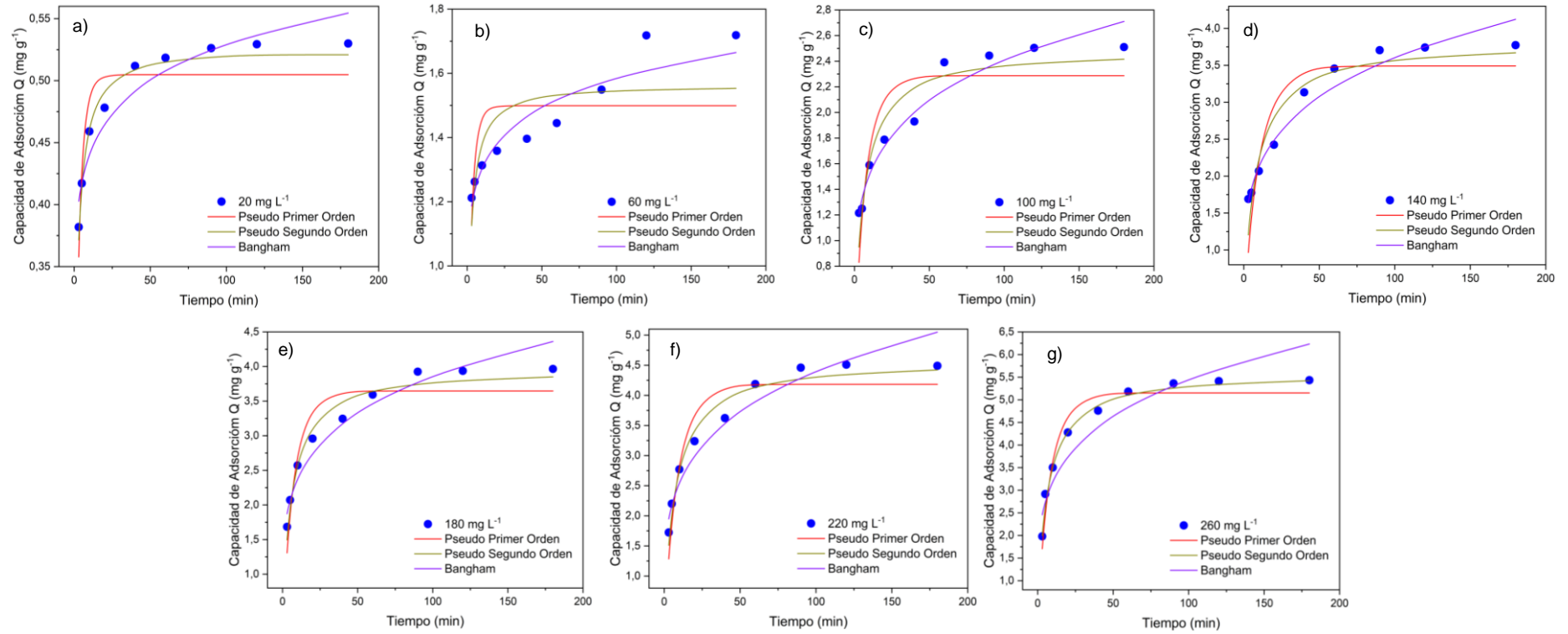
Como se visualiza en tabla 4.12 el modelo de Pseudo segundo orden fue el que mejor ajuste tuvo para las concentraciones de 20, 180, 220 y 260 mg.L⁻¹ en la adsorción cinética del colorante obteniendo un valor del R² entre 0,97 y 0,99. Guevara (2019) menciona que en estos casos los procesos de adsorción son provocados por el intercambio de electrones de los grupos funcionales del material adsorbente y las moléculas del adsorbato.

Por otro lado, para las concentraciones de 60, 100 y 140 mg.L⁻¹ se determinó que los mejores R² corresponden al modelo de Bangham, ya que los datos experimentales se ajustaron mejor a este modelo, siendo el coeficiente de determinación más cercano a 1 a diferencia de los otros modelos utilizados que obtuvieron menores R² debido a que no presentaron un ajuste adecuado.

Mediante lo mencionado anteriormente se pudo determinar que los datos experimentales ajustados a este modelo demuestran que la cinética de adsorción está limitada por la adsorción en los poros. Así mismo, Andrade (2018) menciona que el modelo de Bangham presentó un mejor ajuste para los datos experimentales de su investigación lo cual establece que la adsorción se da por el mecanismo de difusión en los poros.

En la figura 4.7 se muestran gráficamente el comportamiento de los datos experimentales ajustados a cada uno de los modelos cinéticos, para cada concentración del colorante azul 19.

Figura 4.7. Ajuste de modelos cinéticos del colorante azul 19 en hidrocarbón de cáscara de coco a diferentes: a): 20 mg.L⁻¹; b):60 mg.L⁻¹; c):100 mg.L⁻¹; d):140 mg.L⁻¹; e):180 mg.L⁻¹; f):220 mg.L⁻¹; g):260 mg.L⁻¹; pH: 2; m_{ads}: 1.6 g; T: 298 K; t: 3-180 min.



APLICACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO

Los modelos de isoterma que se representan en la figura 4.8 se puede observar que los datos experimentales se ajustaron a los tres modelos de equilibrio aplicados al proceso de adsorción del colorante azul 19 de acuerdo a las ecuaciones 2,2; 2,4 y 2,5.

Figura 4.8. Isotherma de adsorción.

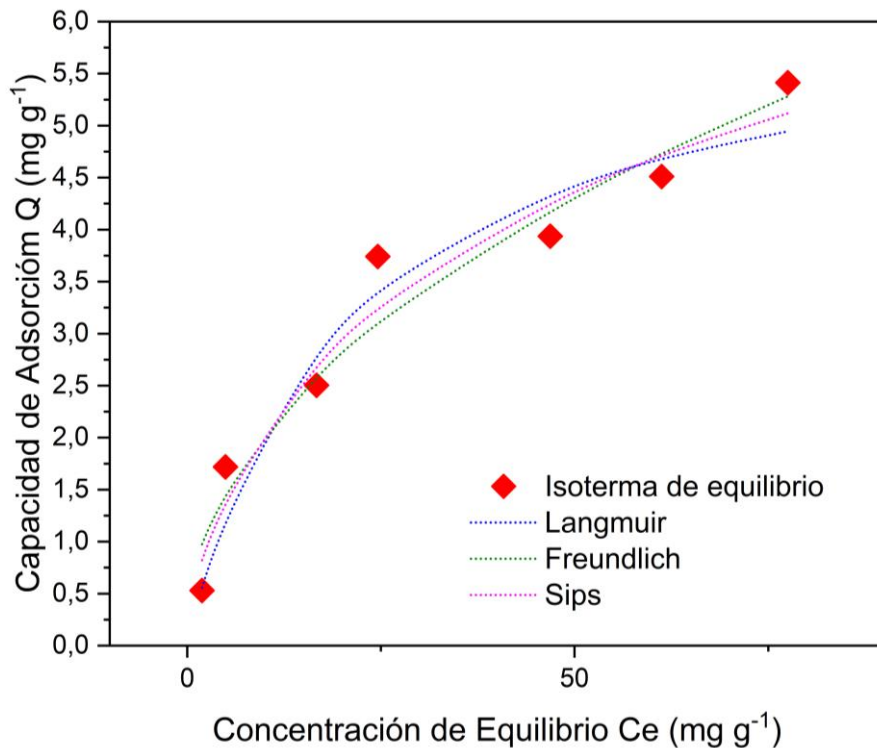


Tabla 4.13. Parámetros cinéticos de adsorción del colorante sobre el hidrocarbón de cáscara de coco.

Modelo	Hidrocarbón/Azul 19				
Langmuir	Q_0	K	R^2		
	6,17156	0,051971	0,9746		
Freundlich	K	n	R^2		
	0,725839	2,192346	0,97737		
Sips	Q_0	K	n	$1/n$	R^2
	10,02858	0,058086	1,506865	0,663629	0,97997

En la Tabla 4.13 se pudo determinar que no existió mucha variabilidad en el ajuste es decir que los tres modelos representan de manera eficiente los procesos de equilibrio entre el material adsorbente y el adsorbato, corroborado por los valores del R^2 (Langmuir: 0,974; Freundlich: 0,977 y Sips: 0,979), se tomó

de referencia el modelo de Sips, ya que los procesos de equilibrio entre material adsorbente y adsorbato alcanzaron un mayor R^2 siendo superior a los otros modelos planteados, analizando su índice de heterogeneidad (n), el cual es un indicador de la intensidad de la adsorción, este índice alcanzó un valor de 0,663629 en su relación $1/n$ y al ser inferior a 1, destaca que el proceso es favorable y posee un alto grado de heterogeneidad, lo cual al aumentar la temperatura, incrementarían la heterogeneidad energética del proceso de adsorción, y por ende la capacidad de adsorción del sistema (K) como lo destaca el modelo de Sips.

Los resultados planteados anteriormente concuerdan con los de Andrade (2018), ya que informó en su estudio sobre la adsorción utilizando residuos de cáscara de arroz como adsorbente que, al aplicar el modelo de Sips, se obtuvo un valor de $1/n$ menor a 1, este hallazgo sugiere que el proceso es favorable y exhibe una alta heterogeneidad, a una temperatura de 298 K, el valor de $1/n$ fue de 0,4193, lo que indica que aproximadamente el 42% de los sitios de adsorción tienen una energía similar. Además, observó que, al aumentar la temperatura, la heterogeneidad energética de los sitios de adsorción del material también aumentaría.

Así mismo, Azogue y Cedeño (2019) señalan que los modelos que mejor ajuste tuvieron en su investigación fueron las isothermas de Sips, Toth y Langmuir las cuales fueron eficientes para el proceso de equilibrio. Al contrario, Guevara (2019) plantea que los modelos que más se ajustaron en su investigación fueron Dubinin-Radushkevich y Langmuir para la adsorción de un fármaco mediante ceniza de cáscara de arroz.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La cáscara de coco es un material con características favorables para poder obtener hidrocarbón mediante un proceso de HTC, dicho material resultó con capacidades para adsorber soluciones catiónicas o aniónicas ya que su punto de carga cero tuvo un valor de 7, así mismo, mediante la espectroscopia infrarroja se identificó que el hidrocarbón cuenta con componentes lignocelulósicos como grupos siloxano, lo que es favorable en la interacción entre el adsorbente y el adsorbato.
- Los estudios para la determinación del mejor tratamiento, demostraron que el T4 favorecía la adsorción del colorante azul 19 ya que, cuando se combinan los dos factores (pH y dosis de material adsorbente), se obtiene una mayor remoción del colorante (86,88 %).
- La cinética de adsorción demostró que la remoción del colorante azul 19 ocurre de forma rápida en los primeros minutos de contacto del hidrocarbón con el colorante, posteriormente ocurre una disminución de la adsorción por la saturación del material adsorbente. Una vez ajustado los datos se determinó que los modelos cinéticos de Bangham y pseudo segundo orden fueron los que más se ajustaron a los datos experimentales; mientras que los modelos matemáticos tuvieron un comportamiento similar, por lo cual, estos describen de manera eficiente los procesos de equilibrio entre el hidrocarbón y el colorante.

5.2. RECOMENDACIÓN

- Se recomienda aplicar procesos de desorción al material para recuperar el colorante adsorbido por el hidrocarbón.
- Realizar un estudio económico del tratamiento para que sea aplicado en escala piloto.
- Comprobar la eficiencia del hidrocarbón con otros tipos de contaminantes emergentes en una mezcla de solución acuosa.

- Aplicar un estudio termodinámico a los modelos de equilibrios para la evaluación de la incidencia de la temperatura en los procesos de adsorción
- Realizar ensayos directamente en aguas residuales de la industria para así ver las características del adsorbente del material.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcon, B. (2019). *Efecto del plasma de descarga luminiscente en la capacidad de adsorción del colorante amarillo no. 5 mediante perlas de quitosano-tripolifosfato de sodio*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Toluca]. <http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/4027/1/Tesis%20maestr%c3%ada%20Miriam%20%20Alarc%c3%b3n.pdf>
- Andrade, C. (2018). Remoción de oxitetraciclina presente en soluciones acuosas usando cenizas de cáscara de arroz. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico de Leiria]. https://iconline.iplleiria.pt/bitstream/10400.8/3555/1/Trabalho%2bfinal%2bde%2bcurso_Christhel%2bD%c3%adaz.pdf
- Aranda, M. (2019). *Estudio termodinámico de la remoción amigable de azul índigo en solución empleando Coriandrum sativum*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2368/AAFGGD04T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aranda, M.; Valladares, M. y Romero, R. (2019). Aplicación de adsorbentes de origen vegetal en la remoción de colorantes en agua. *Inventio, La génesis de la cultura universitaria en Morelos, núm. 37. ISSN: 2448-9026*. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1210/720-5055-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arenas, L.; Espinoza, M.; Hernández, J. y Haro, C. (2020). Evaluación de la eficiencia fotocatalítica de nanopartículas de TiO₂, TiO₂-Au y TiO₂-Ag frente a dos colorantes reactivos. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 6(6), pág. 232. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/7723>
- Arias, A., y Auz, A. (2021). *Análisis bibliográfico del uso de colorantes de cáscara de pitahaya roja (Hylocereus undatus) frente a colorantes sintéticos* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas).

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/58872/1/BCIEQ-T-%200695%20Arias%20Rodr%c3%adguez%20Angeline%20Beatriz%3b%20Auz%20Gal%c3%a1n%20Anggie%20Sarai.pdf>

Arroyo, M. y Cárcamo, M. (2010). La evolución histórica e importancia económica del sector textil y del vestido en México. *Economía y Sociedad*, XIV (25),51-68. ISSN: 1870-414X. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=51015546004>

Ávila, J. (2023). Aplicación de hidrocarbón funcionalizado con hidróxidos de doble capa para la adsorción de metales pesados en sistema acuoso. Universidad Técnica de Manabí

Azogue, L. y Cedeño, W. (2019). *Eliminación del contaminante de interés emergente: ketorolaco a partir de disoluciones acuosas, mediante procesos de biosorción y oxidación avanzada*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/487/T.A.MB.B.UEA.3172?sequence=1&isAllowed=y>

Baena, D. (2020). *Degradación catalítica y toxicidad de los colorantes rojo ponceau y naranja de metilo empleando la cepa bacteriana 1ms*. [Universidad de Cartagena]. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/11659>

Balladares, J. (2019). *Efecto del tamaño del grano del carozo de Cocus nucífera (coco) y el tiempo de contacto en el poder adsorbente*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/15263/Balladares%20Gonzales%2c%20Jimmy%20Roy.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Barrios, L.; Gaviria, L.; Agudelo, E. y Cardona, S. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. *Dyna*, 82(191), 118-126. https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/42924/pdf_191-15

- Bermeo, M. (2016). Reducción de colorantes de efluente sintético de industria textil mediante electrocoagulación. *Investigación, Tecnología E Innovación*, 8(EE), 113–122.
<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iti/article/view/143>
- Bojalil, J.; Hernández, M. y Segura, L. (2021). Tecnologías microbianas de remoción de colorantes azoicos en la industria textil. *RD-ICUAP*, 7(20), 186-201. ISSN: 2448-5829. <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/608/574>
- Brüschweiler, B.; Küng, S.; Bürgi, D.; Muralt, L. & Nyfeler, E. (2014). Identification of nonregulated aromatic amines of toxicological concern which can be cleaved from azo dyes used in clothing textiles. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 69(2), 263–272.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.04.011>
- Buitrón, M. (2024). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes en efluentes secundarios de industrias textiles y de curtiembre de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Puerto Arturo (EP-EMAPA-A)*. [Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/40588/1/CBT%20104.pdf>
- Cabrera, O.; Bautista, C.; Ortega, Y.; Cabrera, D. y Cuello, M. (2020). Obtención de carbón activado a partir de la cascara del cono (Cocos nucífera L) y su evaluación en la remoción de residuos líquidos coloreados. *Revista UTCiencia*, 7(3), pág. 148-159.
<http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/view/321/275>
- Camani, C. (2017). Diseño completamente al azar. [Tesis de grado, Universidad José Carlos Mariátegui].
https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/305/Cesar_TrabajoDeSuficienciaProfesional_titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Camones, F., y Vidal, K. (2022). Validación de la técnica analítica para la identificación y cuantificación por cromatografía líquida de alta resolución de ambroxol clorhidrato 7, 5mg+ clenbuterol clorhidrato 0,005 mg/5ml en jarabe.
<https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/1055/TESIS%20CAMONES-VIDAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carbonel, D. (2018). Adsorción de cadmio, cobre y plomo en bentonita, caolín y zeolita naturales y modificadas: Una revisión de los parámetros de operación, isoterms y cinéticos. *Ingeniería*, 23(3), pág. 252-273, ISSN: 2344-8393.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/13418>
- Cardero, A.; Pagés, J. y Llanes, J. (2020). Recuperación energética de los residuos sólidos urbanos de La Habana mediante tratamientos termoquímicos, biológicos y reciclaje. 4–49.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31260.51846>
- Carrillo, J.; Flores, M. y López, L. (2021). Tecnologías microbianas de remoción de colorantes azoicos en la industria textil. *RD-ICUAP*, 7(20), 186-201.
<http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/608/574>
- Cerón, B.; Valera, G.; Hernández, J. y Osorio, G. (2022). Biodegradación De Colorantes Textiles Por Escherichia Coli. *International Multilingual Journal of Science and Technology*, 7(7). ISSN: 2528-9810.
<http://www.imjst.org/wp-content/uploads/2022/07/IMJSTP29120723.pdf>
- Chen, X.; Lin, Q.; He, R.; Zhao, X. & Li, G. (2017). Hydrochar production from watermelon peel by hydrothermal carbonization. *Bioresource Technology*, 241(May 2019), 236–243.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417304935?via%3Dihub>
- Córdoba, A., Hoyos, M., Rodríguez, L., y Uribe, R. (2015) Remoción de cadmio (II) y níquel (II) sobre cascarilla de arroz tratada química y térmicamente, como alternativa de descontaminación.

https://cici.unillanos.edu.co/media2016/memorias/CICI_2016_paper_128.pdf

Cuesta, W. (2018). *Obtención de colorantes naturales a partir de espinaca, berro, y brócoli para uso alimenticio* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10431/1/96T00482.pdf>

Cutí, Y. y Maldonado, C. (2020). *Elaboración de carbón activado a partir de cáscaras de *Oryza sativa* para la sorción de tres colorantes industriales, Arequipa-2019. [Tesis de grado, Universidad Privada Autónoma del Sur].* <http://portal-academico.upads.edu.pe/bitstream/handle/UPADS/89/TESIS%20CUTI%20Q.%20YESELA%20MALDONADO%20C.%20MARIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, Y.; Mendiola, L.; González, A.; Rivas, L. y Romero, R. (2021). Capacidad de adsorción de materiales naturales para el tratamiento de aguas de proceso de la actividad petrolera. *Centro Azúcar*, 48(3), 41-52. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300041

Estupiñán, V. (2020). *Evaluación de la influencia de Er³⁺ y Al³⁺ como dopantes en el ZnO para la remoción fotocatalítica de colorantes en aguas residuales textiles.* <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22846/1/T-UCE-0008-CQU-302.pdf>

Fernández, K. (2020). *Propuesta de obtención de pellets de carbón-arcilla zeolita para la remediación de suelos afectados por actividades mineras* [Tesis de Grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10392/1/16018.pdf>

- Ferrer, J.; Seco, A. y Robles, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Editorial Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/113132>
- Figuerola, E. (2021). *Revalorización del nejayote a partir del proceso de síntesis hidrotermal para la producción de carbón activado* [Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <https://eprints.uanl.mx/23795/1/1080328497.pdf>
- Gallego, C. y Rubio, A. (2021). Remoción de colorantes en aguas procedentes de la industria textil mediante el uso de biocarbón. *Afinidad*, 79(596). <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/401287/496544>
- García, A.; Gallego, C. y Font, G. (2015). Toxicidad del Bisfenol A: Revisión. *Revista de Toxicología*, 32(2),144-160. ISSN: 0212-7113. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91942717014>
- Garduño, C. (2019). *Remoción del colorante azul de metileno empleando residuos de té verde*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/104539/UAEM-FaPUR-TESIS-Carolina%20Gardu%c3%b1o%20Urbina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guachi, P. (2019). *Obtención de carbón mediante Carbonización Hidrotermal utilizando bagazo de caña*. [Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17962/1/T-UCE-0017-IQU-031.pdf>
- Guevara, J. (2019). *Biosorción de carboplatino de matrices acuosas sobre cenizas de cáscaras de arroz*. [Trabajo de titulación, Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/550/1/T.AMB.B.UEA.3235>
- Gutiérrez, C. y Romero, J. (2019). *Evaluación de la tusa de maíz como bioadsorbente para la remoción de colorante rojo allura en muestras*

obtenidas de un proceso industrial simulado. [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25175/RomeroSanchezJuanDavid2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gutiérrez, E. (2022). *Remoción de colorantes en agua residual mediante adsorción con carbón activado obtenido de residuos orgánicos*. [Tesis de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/16272>

Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020). *Evaluación de la viabilidad del uso de la borra de café para la remoción de colorantes sintéticos en el agua*. [Tesis de grado, Fundación Universidad de América].
<http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/8117/1/6151477-2020-III-IQ.pdf>

Hernández, A.; Moreno, J.; & Sandoval, L. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *RINDERESU*, 2(1-2), 75-87.
<http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/27/33>

Hernández, L. (2020). *Obtención de Compósitos de Nanopartículas de Dióxido de Titanio Soportadas en Materiales Fibrosos Poliméricos Mediante la Técnica de Hilado por Centrifugación y su Aplicación en Remediación de Agua*.
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/648/1/Tesis%20MTP%20Lidi%20Astrid%20Y%20Hdz.pdf>

Hincapié, G.; Cardona, S. y Ríos, L. (2018). Estudio termodinámico de la adsorción de un colorante azóico por medio de un residuo lignocelulósico en medio acuoso. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), pág. 97-118, ISSN: 2145-9371.
<https://www.redalyc.org/journal/852/85259531007/85259531007.pdf>

Huerta, D., y Suárez, M. (2017). Detección y cuantificación del Colorante E-123" Amaranto" mediante cromatografía líquida de alta resolución en Bebidas

Carbonatadas. Arequipa 2016.
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/6060/65.1553.FB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (2021). Boletín Técnico Módulo de Información Económica Ambiental de la Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM), año 2019.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas-2019/BOLETIN_TECNICO_MOD_AM-ENESEM_2019_08.pdf

Jojoa, G.; Rodríguez, H. y Cardona, S. (2015). Tratamiento de aguas residuales textiles a partir de métodos biológicos. *Revista Cintex*, 20(1), 11-34.
<https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/28/30>

Lacerda, E. (2020). Modificação de argila bentonita com pentóxido de nióbio para remediação de efluentes têxteis.
<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/3215/1/Elenice%20Hass%20Caetano%20Lacerda.pdf>

Landín, M., y Sánchez, S. (2019). El método biográfico-narrativo: una herramienta para la investigación educativa. *Educación*, 28(54), 227-242. ISSN: 1019-9403. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1019-94032019000100011&script=sci_arttext

Landin, V.; Mendoza, D.; Reynel, H. y Bonilla, A. (2020). Remoción de colorantes utilizando biomasa obtenida a partir de cascara de coco como material adsorbente. *Miscelánea Científica en México, Temacilli EDITORIAL*. ISBN: 978-607-8358-86-1. <https://n9.cl/uk9t4>

Lavado, C.; Sun, R. y Castro, T. (2020). Biosorción del colorante azul de metilo usando los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), 231-245.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2020000300231

- Lemus, K. (2020). *Remoción de colorantes textiles AD71 y VB4 presentes en solución acuosa mediante macropartículas de semilla de guayaba (Psidium guajava L.) magnetizadas*. [Tesis de grado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_U MICH/4922/FIQ-M-2020-0256.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López, J. (2014). Síntesis de nanopartículas metálicas de Ce y Zr soportadas sobre nanotubos de carbono y su aplicación en la adsorción de colorantes sintéticos. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_U MICH/5703/FIQ-D-2014-1347.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Luongo, G.; Thorsén, G. & Östman, C. (2014). Quinolines in clothing textiles—A source of human exposure and wastewater pollution? *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 406(12), 2747–2756. <https://doi.org/10.1007/s00216-014-7688-9>
- MAE. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Ministerio de Ambiente. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Mesa, E. (2021). *Contribución al ciclo de vida del hidrochar proveniente de biomasa de papa por carbonización hidrotermal*. [Tesis de Grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia] [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/8691/Contribuci% c3 %b3n_ciclo_vida_del_hidrochar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/8691/Contribuci%c3 %b3n_ciclo_vida_del_hidrochar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Napoleão, D. (2015). Avaliação e tratamento de fármacos oriundos de diferentes estações de tratamento de efluentes empregando processos oxidativos avançado (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE). https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6065/1/arquivo116_1.pdf

- Neves, C.; Modenes, A.; Scheufele, F.; Rocha, R.; Pereira, M.; Figueiredo, J. y Borba, C. E. (2021). Dibenzothiophene adsorption onto carbon-based adsorbent produced from the coconut shell: Effect of the functional groups density and textural properties on kinetics and equilibrium. *Fuel*, 292, 120354.
- Ngoc, D.; Hieu, N.; Trung, N.; Chien, H.; Thi, N.; Hai, N. y Chao, H. (2023). Tetracycline Removal from Water by Adsorption on Hydrochar and Hydrochar-Derived Activated Carbon: Performance, Mechanism, and Cost Calculation. *Sustainability*, 15(5), 4412. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4412>
- ONU. (2015). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. *Organización de la Naciones Unidas*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Orellana, J. (2020). *Estado del arte sobre la ocurrencia y riesgos de los colorantes en efluentes de fábricas textiles y su remoción a través de fotocatalisis heterogénea*. [Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35640/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Pantoja, I. (2019). *Tratamiento de agua residual sintética contaminada con colorante negro 601 mariposa mediante moringa oleífera*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico superior del sur de Guanajuato]. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/3656/1/007152DOC1.pdf>
- Peluffo, G. y Castro, S. (2019). *Evaluación de la capacidad de adsorción del colorante azul marino directo (AMD) en solución acuosa con carbón obtenido de cascaras de bananas*. [Trabajo de grado, Universidad de la Costa, CUC]. <https://n9.cl/h24wo>
- Pérez, J.; Scian, A.; Ducos, M.; Santos, V. y Zaritzky, N. (2019). Estudio de la remoción de colorantes sintéticos usando una matriz bio-compuesta con

materiales cerámicos y quitosano reticulado iónicamente. *In V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75618/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pila, M. (2020). Remediación de aguas contaminadas con plaguicidas mediante adsorción sobre partículas de sílice funcionalizadas y materiales carbonosos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/110911/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pinto, S.; Aristizábal, J.; González, M.; Gutiérrez, O. y Barrera, C. (2022). Influencia de los parámetros operacionales de carbonización hidrotermal asistida por microondas en la obtención de productos de valor energético: una revisión. *Tecnológicas*, 25(54). <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v25n54/2256-5337-teclo-25-54-e300.pdf>

Prieto, J.; Aguilera, D.; Curbelo, A.; Broche, M. y Mollineda, A. (2019). Estudio cinético y termodinámico de la adsorción de plomo (II) en ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Revista Centro Azúcar*, 46(3), pág. 1-10, ISSN: 2213-4861. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n3/2223-4861-caz-46-03-1.pdf>

Prieto, J.; Quero, P.; Enriquez, M. y Ribalta, J. (2021). Adsorción del colorante rojo congo con polvo de cascara de coco. *Revista Centro Azúcar*, 48(1), pág. 81-92, ISSN: 2223-4861. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n1/2223-4861-caz-48-01-81.pdf>

Ramírez, A, Giraldo, S., Flórez, E., y Acelas, N. (2017). Preparación de carbón activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de colorantes. *Revista Colombiana de Química*, 46(1), 33-41. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v46n1/0120-2804-rcq-46-01-00033.pdf>

Ramírez, C. y Clemente, A. (2022). Remoción de colorantes en aguas procedentes de la industria textil mediante el uso de

biocarbón. *Afinidad*, 79(596).

<https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/401287/496544>

Ramírez, R. (2021). *Preparación de composito basado en oxido de grafeno y zeolita aplicado como material adsorbente en colorantes textiles*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/4425/roci-o%20ramirez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rico, S., y Zapata, C. (2023). Evaluación de la Influencia de la curva de calibración analítica en la confiabilidad metrológica de un ciclo Otto. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8811>

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

Rocha, A.; Galindo, S.; Pérez, L. y Álvarez, R. (2020). Remoción del colorante Rojo 40 con nanopartículas poliméricas: Desarrollo y validación de un método analítico por espectrofotometría UV-Visible para su cuantificación. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina* (ISSN: 2448-8380), 75-75. <https://rcfb.uanl.mx/index.php/rcfb/article/view/337>

San Andrés, G. y Aguilar, S. (2022). Estado actual del ciclo de vida del coco en Manabí, Ecuador. *Revista Medica Revisada Por Pares*. <https://www.medwave.cl/resumenescongreso/ci2022/cienciasdelosrecursosnaturales/8564.html>

Santos, R. (2021). *Análisis de la capacidad adsorbente de residuos agroindustriales en la remoción de colorantes*. [Tesis de maestría, Universidad Internacional Iberoamericana]. <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/4417/1/Tesis%20final%20para%20publicaciones%20-%20Roberto%20Santos.pdf>

- Segovia, A. y Zambrano, V. (2021). *Eficiencia del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides) en la remoción de la carga contaminante de las aguas residuales de la industria de almidón* (Bachelor's thesis, Calcuta: ESPAM MFL).
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1453/1/TTMA38D.pdf>
- Soto, M.; García, F. y España, L. (2022). Residuos de coco. Arte y vermicompostado para su reutilización. In *El gusto en el museo 2021: actas III Congreso internacional sobre patrimonio alimentario y museos* (pp. 281-285). Editorial Universitat Politècnica de València.
<http://ocs.editorial.upv.es/index.php/EGEM/EGEM2021/paper/viewFile/14900/6764>
- Taylor, J. y Cihon, C. (2004). *Statistical techniques for data analysis*. CRC Press.
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yw6JwuAclCUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Taylor,+J.+y+Cihon,+C.+\(2004\).+Statistical+techniques+for+data+analysis.+CRC+Press.&ots=ZRPZD4vZgm&sig=oMZA1gb7zAh-CDRMrhSWpH6IIXw](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yw6JwuAclCUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Taylor,+J.+y+Cihon,+C.+(2004).+Statistical+techniques+for+data+analysis.+CRC+Press.&ots=ZRPZD4vZgm&sig=oMZA1gb7zAh-CDRMrhSWpH6IIXw)
- Tejada, C.; Villabona, A. y Ruiz, E. (2015). Cinética de adsorción de Cr (VI) usando biomásas residuales modificadas químicamente en sistemas por lotes y continuo. *Revista ION*, 28(1), pág. 29-41.
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4952/5123>
- Tenesaca, A. y Tito, P. (2021). *Potenciales aplicaciones terapéuticas de antraquinonas naturales y sintéticas*. [Tesis de revisión, Universidad Católica de Cuenca]
https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/10026/1/TESIS%20DE%20REVISI%c3%93N%20BIBLIOGR%c3%81FICA-AQ-TENESACA_TITO.pdf
- Torres, A. y Vanegas, G. (2018). *Evaluación de la capacidad de adsorción de la corteza de naranja (Citrus Sinensis), bagazo de caña de azúcar (Saccharum Officinarum) y borra de café (Coffea Arabica) para a remoción del colorante azul brillante FCF*. [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco de José de Caldas].

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14019/TorresGalindoAnyelLiseth2018%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Torres, J.; López, P.; Corral, A.; Carrasco, K. y Delgado, M. (2020). Preparación de carbón activado a partir de residuos de Zea mays para eliminar tartrazina. *Cultura Científica y Tecnológica*, 17(1), pág. 1-10, ISSN: 2007-0411. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7349879>
- Torres, L. y Zamudio, A. (2018). Evaluación de adsorción de Pb (II) en biocarbones obtenidos a partir de cuesco de la palma de aceite y su aplicación para remediación de aguas contaminadas. [UTADEO, Tesis de grado]. <https://acortar.link/yiGtEj>
- TULSMA. (2015). *Anexo 1 norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*. Ministerio del Ambiente. <https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Libro-VI-Calidad-Ambiental.pdf>
- Urbina, J., y Solano, J. (2020). Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. *Informador técnico*, 84(2), 249-263. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7590764>
- Urrutia, J. (2020). *Evaluación del carbón activado obtenido de la cáscara de piña "ananas comosus" para remover color en agua residual de una industria textil* [Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/URRUTIA%20VISCARRA%20JENNY%20PAOLA.pdf>
- Valladares, J. (2020). *Obtención de carbón activado mediante carbonización hidrotermal a partir de biomasa residual* [Tesis de Grado, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22290/1/T-UCE-0017-IQU-101.pdf>
- Vallejo, M. (2021). *Utilización de la casa de Pleurotus ostreatus y su biomasa residual para la degradación de colorantes azoicos y la remoción de metales en aguas residuales*. [Tesis de grado, Benemérita Universidad

Autónoma de Puebla].
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/12695>

Vera, E., y Zambrano, M. (2022). *Evaluación del carbón activado de residuos agrícolas para remoción de sólidos en aguas residuales en industrias de almidón en Bejuquillo-Canuto, Manabí* (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1940/1/TIC_IA30D.pdf

Volonté, M., y Quiroga, P. (2013). Análisis farmacéutico. *Series: Libros de Cátedra*.
<https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/download/85/67/221-1>

Zambrano, L. (2016). *EVALUACIÓN DEL USO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO MATERIAL ADSORBENTE DE COLORANTES SINTÉTICOS EN MEDIO ACUOSO*. [Doctoral dissertation].
<http://repositorio.utm.edu.ec:3000/server/api/core/bitstreams/8d36b21c-db5e-4780-be74-52fc4020c167/content>

Zambrano, L. (2018). Remoción de colorantes sintéticos de las aguas residuales de la industria alimentaria usando como material adsorbente biomasa de arroz. [*Tesis de maestría, Instituto Politécnico de Leiria*].
<https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3473/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20IPL%20ESTM.pdf>

Zambrano, L. (2020). Remoción de colorantes sintéticos de las aguas residuales de la industria alimentaria usando como material adsorbente biomasa de arroz. IPL.
<https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3473/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20IPL%20ESTM.pdf>

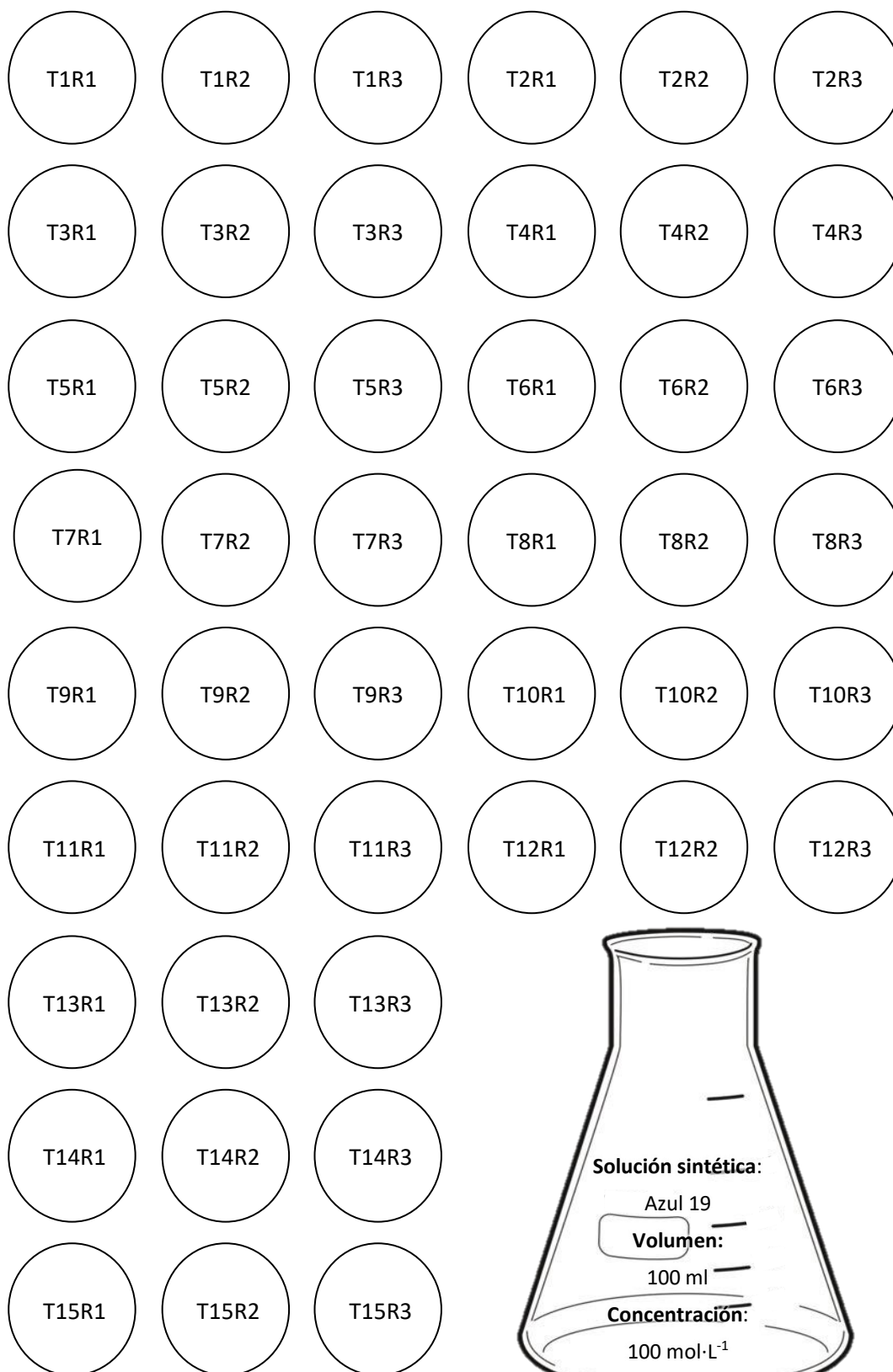
Zambrano, L.; Gorozabel, M.; Córdova, A.; Delgado, M.; Menezes, M. y Rodríguez, J. (2020). Kinetics, equilibrium, and thermodynamics of the blue 19 dye adsorption process using residual biomass attained from rice

cultivation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, pág. 3843-3855.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-020-00944-2>

Zapata, F. (2016). *Método de fotocatalisis aplicado para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6959/1/T-UCE-0017-0027-2016.pdf>

Zaruma, P.; Proal, J.; Hernández, I. y Salas, H. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (19), 38-47.
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/download/2216/1506>

ANEXOS

ANEXO 1. Esquema DCA del experimento

ANEXO 2.
CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL MATERIAL ADSORBENTE

2-A Proceso de HTC



2-B Trituración del hidrocarbón



2-C Obtencion del hidrocarbón



2-D Punto de carga zero



ANEXO 3
ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DOSIS DEL ADSORBENTE Y pH EN
EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE EN AGUAS
SINTÉTICAS

3-A Preparación de la solución madre.



3-B Estudio de pH



3-C Pesaje del material adsorbente



3-D Estudio de dosis



3-E Espectrofotómetro

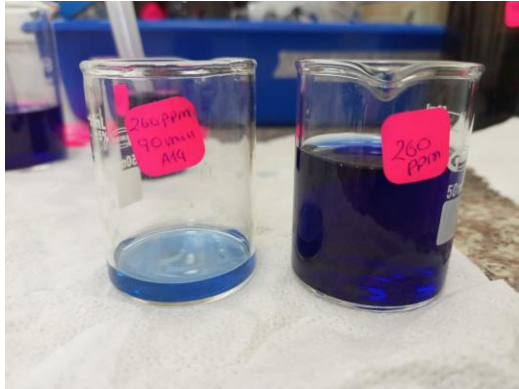


3-F Determinación del mejor tratamiento



ANEXO 4**ESTABLECIMIENTO UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTUDIO CINÉTICO DE LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL 19 A PARTIR DEL HIDROCARBÓN DE RESIDUOS DE COCO**

4-A Estudio cinético



4-B Agitación de las muestras



ANEXO 5

Estudio de dosis y pH mediante la aplicación del diseño experimental.

TRATAMIENTOS	FACTOR A	FACTOR B	Concentración inicial (mg*L ⁻¹)	REPETICIONES			PROMEDIO	% DE REMOCIÓN
	Dosis (g)	pH		Concentración final 1 (mg*L ⁻¹)	Concentración final 2 (mg*L ⁻¹)	Concentración final 3 (mg*L ⁻¹)		
T ₁	1	2		27,9	27,8	27,5	27,73	71,36
T ₂	1,2	2		21,8	21,5	21,6	21,63	77,66
T ₃	1,4	2	96,82	21,34	21,36	21,39	21,36	77,93
T ₄	1,6	2		12,5	12,9	12,7	12,70	86,88
T ₅	1,8	2		14,79	14,77	14,8	14,79	84,73
T ₆	1	4		19,89	19,91	19,86	19,89	79,11
T ₇	1,2	4		19,97	19,99	19,94	19,97	79,02
T ₈	1,4	4	95,19	23,33	23,3	23,34	23,32	75,50
T ₉	1,6	4		24,32	24,31	24,36	24,33	74,44
T ₁₀	1,8	4		18,07	18,04	18,02	18,04	81,04
T ₁₁	1	7		71,97	71,94	71,99	71,97	31,58
T ₁₂	1,2	7		77,15	77,1	77,16	77,14	26,67
T ₁₃	1,4	7	105,19	77,08	77,05	77,03	77,05	26,75
T ₁₄	1,6	7		39,95	39,92	39,98	39,95	62,02
T ₁₅	1,8	7		42,23	42,26	42,2	42,23	59,85
T ₁₆	1	10		33,31	33,36	33,34	33,34	65,00
T ₁₇	1,2	10		33,24	33,26	33,2	33,23	65,11
T ₁₈	1,4	10	95,24	24,93	24,9	24,96	24,93	73,82
T ₁₉	1,6	10		24,93	24,95	24,92	24,93	73,82
T ₂₀	1,8	10		28,21	28,23	28,26	28,23	70,36