



**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:**

**HIDROCARBÓN A PARTIR DE TUSA DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA  
LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA EN  
SOLUCIONES ACUOSAS**

**AUTORAS:**

**GÉNESIS NICOLLE AVELLÁN SANTANA  
MARY LAURA VERA BRAVO**

**TUTOR:**

**ING. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA, M. Sc.**

**CALCETA, FEBRERO 2024**

## DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Yo **GÉNESIS NICOLLE AVELLÁN SANTANA**, con cédula de ciudadanía **1350502728** y **MARY LAURA VERA BRAVO**, con cédula de ciudadanía **1317454179**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **HIDROCARBÓN A PARTIR DE TUSA DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA EN SOLUCIONES ACUOSAS** 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.



**Génesis Nicolle Avellán Santana**

**CC: 1350502728**



**Mary Laura Vera Bravo**

**CC:1317454179**

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

**GÉNESIS NICOLLE AVELLÁN SANTANA**, con cédula de ciudadanía **1350502728** y **MARY LAURA VERA BRAVO**, con cédula de ciudadanía **1317454179**, 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: **HIDROCARBÓN A PARTIR DE TUSA DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA EN SOLUCIONES ACUOSAS**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



---

**Génesis Nicolle Avellán Santana**  
CC: 1350502728



---

**Mary Laura Vera Bravo**  
CC:1317454179

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

**ING. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA, M.Sc**, certifico haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **HIDROCARBÓN A PARTIR DE TUSA DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA EN SOLUCIONES ACUOSAS**, que ha sido desarrollado por **GÉNESIS NICOLLE AVELLÁN SANTANA** y **MARY LAURA VERA BRAVO**, 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, **GÉNESIS NICOLLE AVELLÁN SANTANA** y **MARY LAURA VERA BRAVO**, realizaron su Trabajo de Integración Curricular titulado: **“HIDROCARBÓN A PARTIR DE TUSA DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA EN SOLUCIONES ACUOSAS”** 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: **HIDROCARBÓN A PARTIR DE TUSA DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA EN SOLUCIONES ACUOSAS**, que ha sido desarrollado por **GÉNESIS NICOLLE AVELLÁN SANTANA** y **MARY LAURA VERA BRAVO**, 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. Francisco Javier Velásquez Intriago, D. Sc.**

**CC: 1309483913**

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**Ing. Laura Gema Mendoza Cedeño, M. Sc.**

**CC: 1313222471**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**Ing. María Andrea Vélez Bravo, M. Sc.**

**CC: 1309547402**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres por su apoyo infinito en este viaje, su amor incondicional y su constante aliento nos han dado la confianza y la fortaleza para perseverar incluso en los momentos más desafiantes de nuestra educación. Su motivación constante y sus sabias enseñanzas no solo han sido la base de nuestra formación, sino también la luz que nos ha guiado en cada paso del camino.

A todos nuestros queridos familiares y amigos, su apoyo moral, sus consejos y su aliento constante han contribuido de manera única a nuestro éxito, y estamos agradecidas por tenerlos en nuestras vidas.

A nuestro querido tutor el Ing. José Miguel Giler, su infinita paciencia, disposición para ayudarnos y su habilidad para aclarar nuestras dudas han sido esenciales para nuestro éxito académico. Siempre estuvo ahí para guiarnos a través de los desafíos, brindándonos orientación valiosa y apoyo incondicional. Su compromiso con nuestra formación no tiene precio, y estamos profundamente agradecidas.

A nuestros apreciados docentes, sus conocimientos y habilidades impartidos han sido la base de nuestro camino de preparación para convertirnos en profesionales competentes. Su dedicación a la enseñanza nos ha inspirado y nos ha brindado las herramientas necesarias para alcanzar nuestros objetivos académicos y profesionales.

A nuestra querida institución, la ESPAM MFL, queremos agradecerle por brindarnos la oportunidad de abrirnos camino en el mundo del saber. Gracias a esta institución, hemos adquirido el conocimiento y las habilidades necesarias para enfrentar los desafíos del futuro con confianza y determinación.

Al Ingeniero Luis Zambrano, técnico del laboratorio de Investigación de la Universidad Técnica de Manabí. Su valiosa ayuda en el desarrollo de nuestra investigación fue fundamental para su éxito.

**LAS AUTORAS**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, fuente de toda sabiduría y guía en cada etapa de mi vida. En cada paso de este arduo camino académico, he sentido tu presencia y apoyo inquebrantable en todo momento.

A mis queridos padres, Armando y Tania, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificio han sido las fuerzas impulsoras detrás de mi educación y desarrollo. Su dedicación a mi crecimiento y su ejemplo de empeño y tenacidad me han guiado a lo largo de esta travesía académica, haciendo de mí una mujer de valores desde pequeña y ahora toda una profesional. Gracias por su compromiso y amor, los amo.

A mis hermanas, Coraima, Alisson y Bianca, cuya presencia en mi vida ha sido una fuente constante de alegría, apoyo y amor. Este logro es también para ustedes, ya que han sido mi fuente de inspiración y fortaleza. Gracias por siempre estar allí para mí, las amo profundamente.

A Xavier Calle, mi amor, te agradezco tu paciencia, comprensión y apoyo constante en todo momento. Juntos, celebramos este logro y los muchos más que nos esperan. Te amo.

Y a mí misma, como un recordatorio de la dedicación, el esfuerzo y la perseverancia en este camino académico. A lo largo de los desafíos y obstáculos, he encontrado la fuerza interior para seguir adelante y perseguir mis metas con determinación, porque sé que siempre puedo lograr lo que me propongo. Este trabajo es un reflejo de mi capacidad y potencial, y estoy orgullosa de lo que he logrado.

**GÉNESIS NICOLLE AVELLÁN SANTANA**

## DEDICATORIA

A Dios y a nuestra Madre María, por siempre acompañarme y bendecirme, por mostrarme que todo tiene su tiempo y su lugar.

A dos personas a las cuales les debo todo y a quienes les daría el mundo, mis padres Dolores y Manuel, gracias por amarme incondicionalmente, por estar siempre a mi lado, por creer en mí y motivarme a seguir a pesar de los obstáculos, todo mi esfuerzo y cada meta alcanzada es por y para ustedes, los quiero con el alma.

A mi hermana Ángela, que también ha sido parte importante, no solo de este logro, sino también de mi vida.

A mi amigo Mauricio y a mi tía Manuela, que a pesar de no estar conmigo físicamente, sus palabras de motivación y sus atenciones hacia mí aún me siguen acompañando.

A todos esos amigos que aún se mantienen conmigo y que me han escuchado cuando lo he necesitado, gracias por los consejos y por cada anécdota compartida.

Y finalmente, a aquella Mary Laura, que de niña soñaba con llegar lejos y que, aunque aún falta mucho camino por recorrer, siempre tiene presente que puede lograr todo lo que se proponga.

**MARY LAURA VERA BRAVO**

## CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA .....	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 TABLAS .....	xiv
CONTENIDO DE FIGURAS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4. HIPÓTESIS .....	4
1.4.1. HIPÓTESIS ALTERNATIVA .....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. CONTAMINANTES EMERGENTES .....	5
2.2. INDUSTRIA ALIMENTARIA .....	5

2.3.	ADITIVOS ALIMENTARIOS.....	6
2.3.1.	COLORANTES.....	7
2.3.2.	COLORANTES ALIMENTARIOS .....	8
2.4.	COLORANTE DE ESTUDIO .....	10
2.4.1.	AMARILLO TARTRAZINA (E102) .....	10
2.5.	LEGISLACIÓN .....	11
2.5.1.	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-CODEX 192-2016.....	11
2.5.2.	REGLAMENTO (UE) NO 1129/2011 DE LA COMISIÓN DE 11 DE NOVIEMBRE DE 2011.....	11
2.6.	MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE COLOR .....	12
2.6.1.	ADSORCIÓN.....	12
2.6.2.	COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN.....	13
2.6.3.	FILTRACIÓN .....	13
2.6.4.	OXIDACIÓN AVANZADA .....	13
2.6.5.	OZONIZACIÓN.....	14
2.6.6.	LODOS ACTIVADOS .....	14
2.7.	PROCESO DE ADSORCIÓN.....	14
2.7.1.	HIDROCARBÓN.....	15
2.8.	RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	15
2.8.1.	TUSA DE MAÍZ.....	16
2.9.	ADSORCIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO.....	17
2.9.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA ADSORCIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO .....	19
2.10.	ESTUDIO DE ADSORCIÓN .....	19
2.11.	EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN.....	20

2.11.1. ESTUDIO DE ISOTERMAS POR MONOCOMPONENTE Y BICOMPONENTE .....	21
2.12. CINÉTICA DE ADSORCIÓN.....	23
2.12.1. MODELO CINÉTICO DE ADSORCIÓN DE PSEUDO PRIMER ORDEN .....	24
2.12.2. MODELO CINÉTICO DE ADSORCIÓN DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN.....	24
2.12.3. MODELO DE BANGHAM.....	25
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	27
3.1. UBICACIÓN .....	27
3.2. DURACIÓN .....	27
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	28
3.3.1. MÉTODOS.....	28
3.3.2. TÉCNICAS .....	29
3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	29
3.5. FACTOR DE ESTUDIO.....	30
3.6. TRATAMIENTOS .....	30
3.7. VARIABLES A MEDIR .....	31
3.7.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	31
3.7.2. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	31
3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO .....	32
3.8.1. FASE I: DETERMINACIÓN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL MEDIO ADSORBENTE .....	32
3.8.2. FASE II: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL MEDIO ADSORBENTE EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA .....	34
3.8.3. FASE III: APLICACIÓN UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTUDIO CINÉTICO EN LA REMOCIÓN DEL	

COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA A PARTIR DEL HIDRACARBÓN DE TUSA DE MAÍZ.....	37
3.9 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	38
3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1. DETERMINACIÓN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL MEDIO ADSORBENTE .....	39
4.2. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL MEDIO ADSORBENTE EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA .....	44
4.3. APLICACIÓN UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTUDIO CINÉTICO EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA A PARTIR DEL HIDRACARBÓN DE TUSA DE MAÍZ.....	51
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	60
5.1. CONCLUSIONES.....	60
5.2. RECOMENDACIONES .....	61
BIBLIOGRAFÍA .....	62

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Valor Nutricional de la tusa de maíz (Zea mays).....	17
<b>Tabla 2.2.</b> Composición Química de la tusa de maíz (Zea mays).....	17
<b>Tabla 2.3.</b> Tipos de Isotermas de equilibrio de Adsorción .....	20
<b>Tabla 2.4.</b> Isotermas por Monocomponente de dos y tres parámetros .....	21
<b>Tabla 2.5.</b> Isotermas por Bicomponente .....	23
<b>Tabla 2.6.</b> Modelo cinético de adsorción de pseudo primer orden.....	24
<b>Tabla 2.7.</b> Modelo cinético de adsorción de pseudo segundo orden .....	25
<b>Tabla 2.8.</b> Modelo de Bangham .....	25
<b>Tabla 3.1.</b> Constitución de los tratamientos .....	31
<b>Tabla 3.2.</b> Tamices normalizados por Humboldt U.S.A. Standar.....	33
<b>Tabla 3.3.</b> Fuentes de variación del análisis de varianza.....	38
<b>Tabla 4.1.</b> Análisis granulométrico del hidrocarbón .....	39
<b>Tabla 4.2.</b> Grupos funcionales presentes el hidrocarbón.....	42
<b>Tabla 4.3.</b> Parámetros de validación del método analítico (Media de las Absorbancia, desvío padrón y test de Grubb's) .....	45
<b>Tabla 4.4.</b> Intervalo de trabajo para el colorante, ecuación de la línea recta y coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ).....	45
<b>Tabla 4.5.</b> Valores obtenidos para el CV en el intervalo de 20 a 160 mg · L <sup>-1</sup> .....	46
<b>Tabla 4.6.</b> Límites de detección y cuantificación del método analítico.....	47
<b>Tabla 4.7.</b> Estudio de diferentes parámetros de Adsorción: pH y dosis del adsorbente .....	48
<b>Tabla 4.8.</b> Análisis de varianza entre los tratamientos.....	49
<b>Tabla 4.9.</b> Análisis de Tukey para dosis de adsorbente.....	50
<b>Tabla 4.10.</b> Análisis de Tukey para pH .....	50
<b>Tabla 4.11.</b> Efecto del tiempo de contacto del adsorbente .....	51
<b>Tabla 4.12.</b> Puntos de equilibrio de adsorción de colorante amarillo tartrazina en varias concentraciones.....	56
<b>Tabla 4.13.</b> Datos de equilibrio del colorante amarillo tartrazina a diferentes concentraciones .....	57
<b>Tabla 4.14.</b> Resultados de aplicación de modelos de equilibrio .....	57

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Estructura Química del colorante Amarillo Tartrazina (E102).....	11
<b>Figura 2.2.</b> Ciclo de Histéresis.....	19
<b>Figura 3.1.</b> Mapa de ubicación de la investigación.....	27
<b>Figura 3.2.</b> Reactor para la obtención de hidrocarbón.....	32
<b>Figura 4.1.</b> Análisis granulométrico del hidrocarbón.....	40
<b>Figura 4.2.</b> Valores de pH <sub>pzc</sub> .....	41
<b>Figura 4.3.</b> Espectro de transmitancia del hidrocarbón de tusa de maíz.....	42
<b>Figura 4.4.</b> Espectro del colorante amarillo Tartrazina a 10 ppm y 5 ppm.....	44
<b>Figura 4.5.</b> Representación gráfica de la linealidad para el colorante Tartrazina para el rango de 20 a 160 mg·L <sup>-1</sup> . .....	45
<b>Figura 4.6.</b> Test Tukey interacción dosis*pH y remoción de los tratamientos .....	50
<b>Figura 4.7.</b> Adsorción de amarillo tartrazina a 20 mg.L <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 4.8.</b> Adsorción de amarillo tartrazina a 60 mg.L <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 4.9.</b> Adsorción de amarillo tartrazina a 100 mg.L <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 4.10.</b> Adsorción de amarillo tartrazina a 140 mg.L <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 4.11.</b> Adsorción de amarillo tartrazina a 180 mg.L <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 4.12.</b> Adsorción de amarillo tartrazina a 220 mg.L <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 4.13.</b> Adsorción de amarillo tartrazina a 260 mg.L <sup>-1</sup> .....	55
<b>Figura 4.14.</b> Isotermas de adsorción .....	58

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar la capacidad del hidrocarbón obtenido de la tusa de maíz (*Zea mays*) como medio adsorbente del colorante amarillo tartrazina en soluciones acuosas. Para llevar a cabo el estudio, se emplearon métodos deductivos, revisión bibliográfica y análisis estadístico, así como técnicas de análisis químico y estadística inferencial. Se procedió a caracterizar el material mediante un análisis granulométrico, la determinación del punto de carga cero y la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier, con el fin de identificar los parámetros relacionados con su capacidad de absorción. Se aplicó un diseño experimental factorial asimétrico AxB con 20 tratamientos y tres repeticiones, donde las variables fueron la dosis de material y el pH de la solución. Los resultados revelaron que el tratamiento T4 con un pH de 2 y una dosis de 1,6 g de material adsorbente, logró la remoción más alta, siendo esta del 75,24%; mientras que, el tratamiento T16 con pH 10 y la misma dosis de hidrocarbón, mostró una remoción más baja, con un valor porcentual del 2,22%. El estudio cinético basado en el mejor tratamiento (T4) indicó un tiempo de equilibrio de 120-180 minutos, con un ajuste óptimo a los modelos de Pseudo Primer y Pseudo Segundo orden en relación con la interacción entre las partículas adsorbato-adsorbente. En cuanto al equilibrio, se observó una mayor afinidad al modelo de Sips, evidenciando la compleja interacción entre el colorante y el hidrocarbón.

## PALABRAS CLAVE

Colorante, residuo, agrícola, maíz, adsorción.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the capacity of hydrocarbon obtained from corn stover (*Zea mays*) as an adsorbent medium for the yellow dye tartrazine in aqueous solutions. To carry out the study, deductive methods, bibliographic review and statistical analysis were used, as well as chemical analysis and inferential statistics techniques. The material was characterized by means of a granulometric analysis, determination of the zero loading point and Fourier transform infrared spectroscopy, in order to identify the parameters related to its absorption capacity. An AxB asymmetric factorial experimental design was applied with 20 treatments and three replicates, where the variables were the dose of material and the pH of the solution. The results revealed that treatment T4 with a pH of 2 and a dose of 1,6 g of adsorbent material achieved the highest removal, 75,24%, while treatment T16 with pH 10 and the same dose of hydrocarbon showed a lower removal, with a percentage value of 2.22%. The kinetic study based on the best treatment (T4) indicated an equilibrium time of 120-180 minutes, with an optimal fit to the Pseudo First and Pseudo Second order models in relation to the interaction between adsorbate-adsorbent particles. In terms of equilibrium, a higher affinity to the Sips Model was observed, evidencing the complex interaction between the dye and the adsorbate.

## KEY WORDS

Dye, residue, agricultural, corn, adsorption.

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Giler et al. (2020) y Robledo et al. (2017) señalan que los contaminantes emergentes (CE) son compuestos de origen y naturaleza química diversa que han estado presentes durante mucho tiempo en el ambiente, como resultado directo de las actividades humanas irresponsables, tales como la mala gestión de residuos tóxicos y el consumo excesivo de ciertos químicos como los fármacos, colorantes y fertilizantes; a esto se une lo manifestado por Reinoso et al. (2017) quien indica que en los últimos años estos han sido estudiados por su posible toxicidad para el ambiente y los organismos vivos.

Para Zaruma et al. (2018) el crecimiento industrial del sector alimentario ha generado que varias empresas utilicen una gran variedad de colorantes químicos sintéticos, los cuales se emplean en productos alimenticios, teñido de telas, entre otros; bajo este panorama Ochoa et al. (2022) mencionan que esta industria participó con 9,6% de PIB a Ecuador en el año 2020. Por lo tanto, al ser una de las industrias de mayor producción nacional, tiende a generar grandes cantidades de desechos vertidos en aguas residuales las cuales contienen una gran cantidad de sustancias inorgánicas y orgánicas, que son tóxicas para las diversas formas de vida del ecosistema (Baquerizo et al., 2019).

El color es uno de los indicadores más notables de la presencia de contaminantes en los efluentes, lo cual según Hernández et al. (2019) suele darse en gran parte gracias a los colorantes sintéticos, quienes reducen la penetración de la luz a través del agua, impidiendo la fotosíntesis de la flora acuosa, además de atribuírseles propiedades tóxicas, recalcitrantes y cancerogénicas. Marcano (2018) y Santos (2022) manifiestan como un ejemplo de eso al amarillo tartrazina, cuyo uso principal corresponde a la industria alimentaria y el cual se ha señalado como el responsable de provocar un sinnúmero de afectaciones, entre las que destacan las reacciones alérgicas en personas intolerantes a la aspirina, indigestión, ansiedad, migraña, depresión y sensación de calor y sofocación.

Ortega et al. (2021) describen que la generación de los residuos constituye uno de los temas prioritarios en las sociedades modernas, este se da como consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre, provenientes de diverso origen: residencial, comercial, industrial, etc. Se vincula a las prácticas de consumo cotidiano, por lo que el abandono o la gestión inadecuada de dichos residuos producen impactos notables en los medios receptores (Cañedo et al., 2015).

De acuerdo con una publicación del diario El Universo (2022) la provincia de Manabí, es la segunda zona maicera del país con el 24,9% de la producción y por esto se genera una gran cantidad de residuos como la tusa que se obtiene del desgranado de la mazorca del maíz, los cuales según Bravo y Bonilla (2020) y Alcívar et al. (2016) no son aprovechados ya que una parte de los agricultores los dejan en el suelo pudriéndose y la otra los queman a cielo abierto produciendo emisión de CO<sub>2</sub>, contaminando el agua, el suelo, el aire, contribuyendo al cambio climático, afectando los ecosistemas y a la salud humana.

En virtud a lo antes expuesto, la presente investigación se planteó la siguiente interrogante:

¿Cuál es la capacidad de adsorción del hidrocarbón a partir de residuos de tusa de maíz en la remoción del colorante amarillo tartrazina usada en la industria alimentaria?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

De acuerdo con Osorio et al. (2021) una de las formas más factibles de conservar el agua que se encuentra en el ambiente es dándole un tratamiento adecuado a los efluentes previo a su contacto con el medio. Por lo cual, uno de los fundamentos más fuertes es el ambiental, ya que mediante el proceso de adsorción será posible que aquellos contaminantes emergentes, como es el caso de los colorantes, se adhieran a un medio adsorbente, facilitando su eliminación de efluentes, evitando de este modo una posible contaminación generada por los mismos, además de contribuir a que se mantengan las condiciones del ecosistema expuesto (Aranda y Valladares, 2018).

Los fundamentos legales que apoyan la presente investigación se sustentan en la Constitución de la República del Ecuador (2008) la cual en su artículo 14 señala que “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.” (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2008).

De igual modo, el Código Orgánico de Ambiente de Ecuador [COA] menciona en su artículo 5, numeral 8 con el fin de hacer valer el derecho de los ciudadanos en un ambiente óptimo es necesario que se dé “El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental.” (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2017).

Vargas y Pérez (2018) señalan que es posible extender la vida útil de los residuos agrícolas al transformarlos y utilizarlos como sustitutos de los materiales adsorbentes convencionales. Razón por la cual, este trabajo ayudará de manera práctica a que, mediante la implementación de la Tusa de Maíz (*Zea mays*) como hidrocarbón, no solo se dé la separación del colorante amarillo tartrazina en soluciones acuosas, sino también se les brinde una segunda oportunidad a dichos residuos y de este modo contribuir a su reducción bajo el principio de su reutilización (Ensuncho et al., 2015).

De igual forma, la investigación se sustenta en las metas 3 y 4 del objetivo 9 Industria, innovación e infraestructura de la Agenda 2030, los cuales hacen alusión a la modernización y reconversión de las industrias hacia un eje sostenible mediante la promoción de tecnologías y procesos ambientalmente limpios y racionales (Naciones Unidas, 2018). Por lo cual, se señala como fundamento social que el hecho de utilizar residuos de maíz, como es el caso de la tusa, contribuirá a reducir la explotación de otros recursos, y a brindar una solución a los problemas generados por los colorantes sintéticos mediante procesos que no afectarán ni al ambiente ni a la población (Garzón et al., 2017; Arjona et al., 2016).

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el hidrocarbón a partir de tusa de maíz (*Zea mays*) como medio adsorbente del colorante amarillo tartrazina en soluciones acuosas.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características fisicoquímicas del medio adsorbente.
- Analizar la influencia del medio adsorbente en la remoción del colorante amarillo tartrazina.
- Aplicar un modelo matemático para el estudio cinético en la remoción del colorante amarillo tartrazina a partir del hidrocarbón de tusa de maíz.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

Al menos uno de los tratamientos presentará remoción del colorante amarillo tartrazina en solución acuosa en el medio adsorbente evaluado.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CONTAMINANTES EMERGENTES**

Se señalan como contaminantes emergentes a aquellas sustancias presentes en las aguas residuales cuya emisión no se encuentra regulada por ninguna normativa (González et al., 2018). Estos comunalmente son producidos por las actividades humanas cuya realización se da de manera diaria y tienen la capacidad de producir efectos no deseados en el ecosistema, siendo capaces de generar alteraciones en el ambiente (Robledo et al., 2017).

Estos suelen ser conocidos también como microcontaminantes, y si bien su liberación al medio no siempre simboliza un peligro, su constante emisión si lo hace, ya que, el hecho de que esta situación se repite casi a diario, no permite que estos se degraden como es debido (en caso de aquellos de origen orgánico), por lo cual se bioacumulan mayormente en cuerpos de agua, lo cual además de provocar la pérdida de la biodiversidad en ambientes acuáticos, también es capaz de dar pie a la presencia de microorganismos patógenos (Sánchez, 2018; Romero et al., 2022; Torres et al., 2020).

### **2.2. INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Se denomina como industria alimentaria a aquella cuya principal relación se da con referencia a los procesos ligados al transporte, recepción, procesamiento, conservación y almacenamiento de alimentos cuyo origen pueda ser de tipo animal y/o vegetal (Nicolao y Zárate, 2018).

Dentro de esta industria se desarrollan todas las acciones necesarias para transformación de materia prima a alimentos destinados de manera directa al consumo de los mismos (Demonte, 2017). Rodríguez (2018) señala que el principal propósito presentado por este sector empresarial corresponde a la satisfacción de las necesidades alimentarias presentadas por los habitantes del planeta, misma cuya demanda se ve en aumento de manera proporcional con referencia al incremento demográfico mundial.

De acuerdo con lo señalado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], Organización Mundial del Comercio [OMC], (2018); León et al., (2017) y Aguilera et al., (2020), la industria alimentaria no solo se compone por un sector de manera general, sino que esta se encuentra integrada por varios subsectores entre los que se encuentran los siguientes:

- Industria agrícola, que es la que se encarga de cultivar los frutos y las hortalizas.
- Industria cárnica, que como su nombre lo indica, es la encargada del procesamiento de carnes.
- Industria pesquera y de procesamiento de pescado.
- Industria láctea, cuyo fin es procesar la leche y sus derivados.
- Industria panificadora, que es la que se encarga de la molienda de trigo, sus productos y sus derivados.
- Industria de bebidas, como es el caso de la industria procesadora de vinos, aguas, cervezas y otro tipo de líquidos.

### **2.3. ADITIVOS ALIMENTARIOS**

Los aditivos alimentarios son sustancias que se agregan a ciertos alimentos con diferentes fines, entre los cuales se encuentran facilitar su conservación, o la preservación de sus características nutritivas y organolépticas (Skrie y Orellana, 2018). Manivel y Villagómez (2019) enfatizan que a lo largo del tiempo su empleo ha ido en aumento, todo esto debido a que su utilización a gran escala se ve ligado a las crecientes necesidades presentadas por la población desde el punto de vista alimenticio.

Sozoranga et al., (2018) señalan que para que se permita el uso de este tipo de sustancias es necesario que se demuestre que son seguros para ser consumidos por las personas, que el propósito con el que se lo emplea no pueda lograrse mediante otros medios.

Según Velázquez et al. (2019) y Bautista y Pabón (2019) este tipo de sustancias pueden llegarse a clasificar en tres grandes grupos en dependencia de la función que desempeñen, los cuales se describen a continuación:

- Preparación de enzimas: se llaman así a las proteínas naturales destinadas a acelerar el proceso de descomposición de las moléculas, haciendo así que estas se reduzcan a más pequeñas; entre los usos principales que se le da se encuentran el mejoramiento de masas (panadería) y el mejoramiento de la fermentación de licores (vinos y cervezas).
- Aromatizantes: cuyo fin es el mejorar el olor y el sabor de diferentes alimentos, dentro de los cuales se encuentran los cereales, los yogures, dulces y refresco como principales referentes; son los que más utilidad reciben y su origen puede ser de origen vegetal, animal o artificial.
- Otros aditivos: dentro de esta denominación se incluyen aquellos que se colocan a lo largo del procesamiento, transporte y/o almacenamiento de los alimentos, presentándose como parte de la composición final del producto, dentro de este grupo se presentan los conservantes (que buscan restituir el aspecto que tienen los alimentos con referencia a una reciente fabricación), los edulcorantes (que sustituyen al azúcar) y los colorantes (añadidos con el fin de mejorar su aspecto y hacerlo más atractivos al consumidor).

Según Merinas (2020) la manera más eficiente de identificar a qué grupo pertenece cada aditivo es mediante su código E, para lo cual se establece un código en el cual la letra E se ve acompañada por tres dígitos posteriores a ella, siendo este representado como E1xx los colorantes, E2xx los conservantes, E3xx los antioxidantes, E4xx los emulsionantes, estabilizantes, espesantes, emulgentes y gelificantes, E5xx los acidulantes, correctores de acidez y los antiaglomerantes, E6xx los potenciadores de sabor y E9xx para señalar a los edulcorantes y otros grupos.

### **2.3.1. COLORANTES**

Se denomina como colorantes a los compuestos aplicados a fibras textiles, plásticos, alimentos y otros productos con el fin de que estos obtengan un color atractivo a la vista y que se logre perpetuar en el mismo (Corrales y Caycedo, 2020). Cerrón y Unterlass (2018) mencionan que el empleo de estas sustancias se viene dando desde tiempos antiguos, muchas veces mediante el empleo de materiales

de origen vegetal o animal y la principal función dada corresponde a hacer más atractivo un producto ante un espectador desde el enfoque visual.

### **2.3.2. COLORANTES ALIMENTARIOS**

Son un tipo de aditivos cuya principal función es la de proporcionar color a los alimentos (Kraser y Hernández, 2020). Camacaro et al. (2018) y Torres y Pulgar (2017) señalan que estos suelen colocarse a los productos destinados al consumo humano con el fin de lograr que se compensen las pérdidas de coloración que estos suele presentar generadas por la exposición a variaciones de temperatura, humedad, luz y aire, de manera que no solo se mantengan sus colores naturales, sino que también se logre que exista una predilección a disponer de dichos insumos por parte de quienes serían sus consumidores.

#### **2.3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS COLORANTES ALIMENTARIOS**

Según Arias et al. (2018) y López et al. (2021) los colorantes aplicados a procesos alimentarios se dividen en dos grandes grupos, los cuales se denominan como colorantes naturales y colorantes sintéticos:

- **Colorantes naturales:** Se denominan de esta forma a los pigmentos obtenidos de fuentes naturales, las cuales pueden ser frutas, plantas, minerales, entre otros (Ruíz, 2021); estos compuestos son considerados como inocuos, ya que, no se consideran nocivos debido a su origen orgánico, llegando a tener más utilidad que los colorantes artificiales (Villota et al., 2019).

De acuerdo con Camacaro et al. (2018) y Arrázola et al. (2021) dentro de este grupo se encuentran otras categorías, las cuales se describen a continuación:

- **Colorantes naturales hidrosolubles:** Poseen alta solubilidad en agua y comúnmente son empleados para dar color a alimentos sólidos, a líquidos y a productos que cuentan con un alto contenido de agua, permitiendo una aplicación fácil del mismo, un ejemplo de estos es la Curcumina (E100) que se obtiene de la raíz de cúrcuma y los Antocianos (E163) que provienen de moras, fresas y otros frutos (Lucero y Muñoz, 2020; Rodríguez et al., 2019).
- **Colorantes naturales liposolubles:** Son colorantes que tienen a las grasas como su sustancia solvente, son ampliamente utilizados en los procesos de fabricación de dulces, licores, golosinas y otros productos, un ejemplo de estos son las Clorofilas (E140 y E141) cuya obtención se da de plantas verdes y los Carotenoides (E160) que provienen de zanahorias y algas y que también son conocidos como principales precursores de vitamina A (Rosales, 2019; Pino et al. 2022; Patlán et al., 2021).
- **Minerales:** Como su nombre lo indica, son compuestos de origen mineral y dentro de estos se pueden encontrar el Carbón vegetal (E153) obtenido a través de la quema de madera u otros materiales vegetales y el Carbonato cálcico (E170) cuyo origen corresponde al proceso de molienda de la piedra calcárea, cabe destacar que todo este tipo de aditivos se considera inocuo si su ingesta se da en pequeñas cantidades (Velázquez et al., 2019).
- **Compuestos sintéticos:** son aquellos que han sido originados o modificados de manera química o física (Del Carpio, 2021). Estos pueden ser solubles en agua, de fácil uso, suelen presentarse en forma de materiales pastosos o como sales y poseen una resistencia mayor a variables como luz, cambios extremos de pH y a variaciones de temperatura con referencia a lo presentado por los colorantes naturales (Dey et al., 2019).

De acuerdo con Crespo (2022) y Páez (2021) esta categoría cuenta con dos subgrupos, los cuales se denominan como colorantes azoicos y colorantes no azoicos.

- **Colorantes azoicos:** Son compuestos que cuentan con anillos aromáticos en ambos extremos, además de contar con la presencia de un arilo o alquilo en su estructura, lo que los denomina como AZO (Santillán y Maza, 2018). Poseen altas capacidades de coloración de manera principal en los tonos amarillos a rojos y aparte de su empleo como colorante de alimentos, se emplea también en el arte, muchas veces como parte de las pinturas (Mostacero et al., 2020). Dentro de estos se encuentra la Tartrazina (E102), que brinda una coloración de amarillo limón y se presenta más que todo en refrescos y condimentos y el Amaranto (E123) que es quien le brinda el color rojo característico a los caramelos y licores (Rodríguez et al., 2021; Santos, 2022).
- **Colorantes no azoicos:** Son denominados así a aquellos compuestos que no corresponden al grupo AZO, son altamente solubles en agua, cualidad que comparte con los colorantes azoicos, pero, a diferencia de estos, su gama de tinción comprende tonos entre los colores azul a verde, con algunas excepciones de tonalidades rojas y amarillas con una pigmentación menor y de alta reacción a factores externos (Rojas y Hormaza, 2016). A este grupo corresponden el Azul brillante FCF (E133) el cual es sumamente sensible a la luz y a los oxidantes y que se hace presente de forma mayoritaria en refrescos, postres y helados y el Verde ácido brillante BS (E142) cuyo uso principal corresponde a brindar color a los productos vegetales conservados como las verduras y los guisantes (Albis et al., 2022; Haider et al., 2022).

## 2.4. COLORANTE DE ESTUDIO

### 2.4.1. AMARILLO TARTRAZINA (E102)

Es un colorante sintético proveniente del alquitrán del carbón, sus tonalidades van desde el amarillo fuerte al naranja intenso, corresponde al grupo de los azoicos y es altamente soluble en agua ( $200 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ ), su fórmula química se representa como  $\text{C}_{16} \text{H}_9 \text{N}_4 \text{Na}_3 \text{O}_9 \text{S}_2$ , su masa molar es de  $534,36 \text{ g/mol}$ , su punto de fusión es alcanzado a los  $350^\circ\text{C}$ , su punto de ebullición se da a los  $870^\circ\text{C}$ , su densidad es de  $1,83 \text{ mg}\cdot\text{cm}^3^{-1}$  y su espectro de absorción en agua es de  $426 \text{ nm}$  (Marcano, 2018; Santos, 2022).

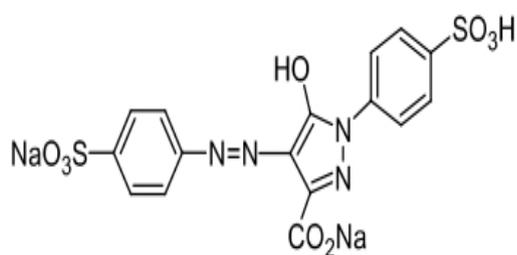


Figura 2.1. Estructura Química del colorante Amarillo Tartrazina (E102)

Fuente: Marcano (2018)

## 2.5. LEGISLACIÓN

### 2.5.1. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-CODEX 192-2016

El objeto principal de dicha normativa recae en determinar la dosis máxima de aditivos permitidos en los alimentos como lo son los antioxidantes, reguladores de la acidez, acentuadores del sabor, estabilizadores, espesantes, decolorantes, entre otros, haciendo énfasis en que su uso únicamente está permitido en casos en donde no se puedan mantener de forma natural las condiciones de los productos, sin llegar a alterar su calidad nutricional ni el bienestar del consumidor (Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2016).

Dicha normativa regula el uso de colorantes amarillo de quinoleína (E104), amarillo ocaso FCF (E110), verde sólido FCF (E143), tartrazina (E102), riboflavinas (E101), óxidos de hierro (E172), azul brillante FCF (E133), caramelo (E150), carbonato de calcio (E170), carotenos (E160a), clorofilas y clorofilinas (E140), curcumina (E100), indigotina (E132), en alimentos como bebidas, cárnicos, lácteos, postres, mermeladas, pastas, fideos, derivados del cacao, vinos, frutas, entre otros y la dosis permitida de los mismos se ve comprendida entre las 15 a 50000 mg.kg<sup>-1</sup> para el caso de sólidos y mg.L<sup>-1</sup> para los líquidos (Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2016).

### 2.5.2. REGLAMENTO (UE) NO 1129/2011 DE LA COMISIÓN DE 11 DE NOVIEMBRE DE 2011

Esta normativa tiene como objeto la regulación de la presencia de aditivos (colorantes, edulcorantes y aditivos distintos a estos) en los alimentos producidos

dentro del territorio europeo, con el objetivo de determinar la cantidad permisible de los mismos según el alimento para los cuales se los emplee y las restricciones de aquellos casos en los cuales su utilización no se considere factible o se recomiende únicamente en ocasiones puntuales (Unión Europea [UE], 2011).

Para el caso de los colorantes alimentarios, según esta normativa no se permite su uso en varios productos, siendo los más mencionados los alimentos no elaborados, las aguas embotelladas, las leches, los sueros, las grasas, los ovoproductos, el azúcar, la sal, los derivados del cacao, los zumos y los néctares de frutas (Unión Europea [UE], 2011).

Para aquellos alimentos que, si permiten su uso, se toma en cuenta a colorantes entre los que se encuentran la curcumina (E100), riboflavina (E101), tartrazina (E 102), amarillo oca FCF (E110), amaranto (E 123), Rojo Allura AC (E129), azul patente V (E131), azul brillante FCF (E133), clorofilas y clorofilinas (E140), negro brillante BN y negro PN (E151), carbón vegetal (E153), marrón HT (E155), carbonato de calcio (E170), dióxido de titanio (E171), óxidos e hidróxidos de hierro (E172), aluminio (E173), plata (E174), oro (E175), litolrubina BK (E180), con una concentración permitida comprendida desde los 10 – 70000 mg.kg<sup>-1</sup> – mg.L<sup>-1</sup> y *quantum satis* (cantidad necesaria) solo en ocasiones de tratarse de conservas de frutos rojos y de verduras, exceptuando las aceitunas y las castañas (Unión Europea [UE], 2011).

## **2.6. MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE COLOR**

### **2.6.1. ADSORCIÓN**

Se describe a este proceso fisicoquímico como la adhesión de átomos, moléculas e iones de un líquido, gas o material sólido disuelto (adsorbato) a un medio sólido conocido como adsorbente (Castellar et al., 2019). De acuerdo con Aranda et al. (2019) esta acción es empleada para separar uno o más componentes que en su mayoría suelen ser de forma gas-sólido o líquido-sólido, mediante operaciones con las cuales se busca que la sustancia de interés quede retenida para su posterior remoción.

### **2.6.2. COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN**

Son métodos fisicoquímicos en los cuales se busca remover sólidos presentes en el agua mediante el mecanismo de separación (Choque et al., 2018). Este proceso comprende dos fases, siendo la primera la coagulación, cuyo objetivo principal es desestabilizar las cargas de las partículas disueltas y suspendidas en el fluido de interés, logrando que las mismas se neutralicen y su sedimentación tenga lugar, mientras que, la floculación tiene como fin que los sedimentos generados de manera previa se aglomeren para posteriormente ser retirados (Martínez et al., 2020; Carrasquero et al., 2019).

### **2.6.3. FILTRACIÓN**

Es un proceso fisicoquímico que se realiza con el fin de separar partículas en suspensión de un fluido líquido mediante el empleo de un medio poroso conocido con el nombre de criba o filtro (Pereira et al., 2017). Pérez et al. (2016) y Vázquez et al. (2021) señalan que este mecanismo es empleado en diversos sectores entre los que se encuentran el químico, farmacéutico, alimentario, medioambiental y de tratamiento de aguas, en los cuales se consideran dos fines principales, de los cuales el primero se centra en reducir o eliminar posibles contaminantes sólidos, mientras que por otro lado se busca retener sustancias de interés para su posterior análisis.

### **2.6.4. OXIDACIÓN AVANZADA**

Según Rodríguez y Barrera (2020) este método de tipo fisicoquímico es aplicado en fase líquida, de manera específica en aquellas aguas que cuentan con un alto contenido de materia orgánica, lo cual no permite que se apliquen mecanismos biológicos para ser tratadas.

El fin de este mecanismo es oxidar contaminantes presentes en agua mediante cambios profundos generados en la estructura química de los mismos, para lo cual se aplica un agente oxidante y un catalizador, dichas sustancias en su mayoría suelen ser ozono ( $O_3$ ), peróxido de hidrógeno, radiación UV, sales de hierro [Fe (II) y Fe (III)] y dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) (Martins et al., 2021); (López et al., 2021).

### **2.6.5. OZONIZACIÓN**

Es un proceso fisicoquímico correspondiente a la oxidación avanzada, en cual busca degradar contaminantes orgánicos, además de eliminar olores de efluentes (Hernández et al., 2019).

Para este mecanismo se emplea el ozono, el cual se diluye en el agua, causando que las sustancias orgánicas (además de los virus, bacterias y parásitos) no deseadas se descompongan, por lo cual no solo sirve como alternativa para tratar aguas grises, sino que también es factiblemente utilizado en la potabilización de agua destinada al consumo humano, además de que, este compuesto después de un tiempo prudencial se convierte en oxígeno, por lo cual esta actividad no dejaría residuos tóxicos ni nocivos (Martins et al., 2019; Jaime y Vera, 2020).

### **2.6.6. LODOS ACTIVADOS**

Es un método biológico basado en la utilización de microorganismos, los cuales tienen como fin la descomposición de la materia orgánica en compuestos más simples (Castillo et al., 2020). Para esto se pone en contacto al agua residual con bacterias, hongos, algas y protozoos, para posteriormente inyectar aire, lo cual hace que los contaminantes se sedimenten (en caso de aquellos de origen artificial) o se degraden (aquellos que son de tipo natural), lo cual hace que parámetros como la Demanda Química de Oxígeno, el color, la turbidez y el olor de los efluentes a tratar se vean reducidos (Mejía et al., 2017).

## **2.7. PROCESO DE ADSORCIÓN**

De acuerdo con García et al. (2020) los procesos de adsorción son uno de los mejores métodos para tratar efluentes de aguas contaminadas por colorantes, este proceso ofrece la alternativa de utilizar materiales económicos, de fácil disponibilidad, simplicidad de diseño, alta eficacia y facilidad de operación, los cuales pueden ser selectivos y óptimos para un grupo particular de colorantes, y que no necesite un tratamiento especial después de su aplicación.

### **2.7.1. HIDROCARBÓN**

El hidrocarbón (también conocido como hidrochar) se obtiene mediante el proceso de carbonización hidrotermal, el cual permite convertir la materia orgánica en un producto sólido altamente rico en carbono, para lo cual se expone a la materia prima sumergida en agua y colocada en reactores de presión autogenerada a una temperatura comprendida entre los 180 a 260 °C (Guachi, 2019); la cual da origen a una especie de suspensión de tipo sólido- líquido constituida orgánicamente y que para separar sus componentes es necesario someterla a filtración y a secado en estufa (Chaparro et al., 2020).

Según lo señalan Pinto et al., (2022) este proceso se ve influenciado por diferentes factores, entre los cuales se incluyen el tiempo de reacción, el tipo de materia prima que se emplea, además de la temperatura máxima a la cual se la somete para generar la hidrogenación.

## **2.8. RESIDUOS AGRÍCOLAS**

Barz et al. (2019) manifiestan que los residuos agrícolas son aquellos que surgen en las actividades de agricultura y ganadería, así como los provenientes de sectores como la industria agroalimentaria, maderera, corchera y papelera, además, se incluyen los residuos derivados de las labores de mantenimiento en bosques y montes, como la tala, limpieza y desbroce, conocidos también como residuos forestales.

Ecuador ha evolucionado principalmente como una nación con una base económica en la agricultura y la industria petrolera, siendo la agricultura un sector destacado con la producción de cacao, maíz, café, flores, azúcar, arroz, etc., este al ser un país agrícola cuenta con una amplia diversidad de especies de biomasa, generando así una considerable cantidad de residuos agrícolas, como tallos secos, cáscaras, hojas de paja o mazorcas de maíz, entre otros (Holgún y Alvarado, 2017). A pesar de ello, lamentablemente, no se resalta ni su aprovechamiento ni una gestión adecuada.

Para Buera y Santagapia (2016) el empleo de residuos agrícolas como materiales adsorbentes en el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes ha despertado considerable interés en la actualidad. Por esta razón, se han explorado y analizado diversos materiales, como cáscaras, bagazos, tusas, entre otros, con el propósito de reemplazar el uso de carbón activado, el cual conlleva costos elevados. Además, según Aranda et al. (2019) esta tendencia tecnológica se centra en la aplicación de residuos para procesos de regeneración, otorgándoles así un valor añadido.

### **2.8.1. TUSA DE MAÍZ**

El maíz, una planta gramínea originaria de América y considerada el cereal más productivo a nivel mundial, registra una producción cercana a los 850 millones de toneladas generando aproximadamente 153 millones de toneladas de tusa (mazorca sin granos) (Fonseca et al., 2017). Además de su destacado valor económico, esta especie exhibe una notable adaptabilidad y puede cultivarse en una amplia variedad de condiciones ambientales, incluyendo temperatura, humedad, régimen de lluvias, luminosidad, labranza y tipos de suelo, además constituye la materia prima principal para la elaboración de alimentos (Caviedes et al., 2022).

Pinzón (2019) manifiesta que el maíz se destaca como uno de los cultivos más significativos y extensos en Ecuador, ocupando más del 80% de la superficie dedicada a productos transitorios en el país, figurando como un subproducto que representa un residuo agrícola (tusa) que está ampliamente disponible, ya que por cada tonelada de maíz cosechado se obtienen aproximadamente 170 kg de tusa. En el año 2020, la superficie cultivada con maíz abarcó 355,913 hectáreas, con una producción total de 1358,626 toneladas métricas, donde la provincia de Los Ríos lideró la producción nacional con un 47%, seguida por Manabí con el 21%, Guayas con el 18%, Loja con el 4%, y el resto de las provincias contribuyendo con un 9% (Corporación Financiera Nacional [CFN], 2021).

### 2.8.1.1. COMPOSICIÓN DE LA TUSA DE MAÍZ

La tusa, residuo resultante del proceso de desgranado del maíz que representa en promedio aproximadamente el 10% del peso total de la mazorca, esta exhibe características de liviandad, firmeza, morfología tubular y alargada, con variaciones cromáticas que dependen del cultivar de maíz, además presenta una organización en capas, siendo esponjosa y porosa, con microcavidades discernibles y conformada por tejidos esclerénquimatosos, caracterizados por células muertas que confieren propiedades de soporte estructural y con una densidad que se sitúa en torno a  $165 \text{ kg.m}^{-3}$ . (Fonseca et al., 2017). Vinueza (2020) manifiesta que los principales componentes nutricionales de la tusa de maíz son:

**Tabla 2.1.** Valor Nutricional de la tusa de maíz (*Zea mays*)

Componentes	Tusa de maíz
Humedad	11,20 %
Proteína	3,74 %
Grasa	0,32 %
Fibra	24,01 %

Fuente: Vinueza (2020)

Según Martillo et al. (2019) la composición química de la tusa es la siguiente:

**Tabla 2.2.** Composición Química de la tusa de maíz (*Zea mays*)

Componentes	Valores %
Carbono	48%
Hidrógeno	5%
Oxígeno	45%
Nitrógeno	0,4%
Azufre	0,01%
Material volátil	79%
Cenizas	1,73%

Fuente: Martillo et al. (2019)

## 2.9. ADSORCIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO

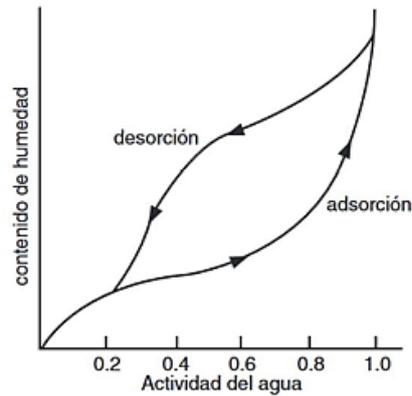
García et al. (2012) conceptualizan la adsorción como un proceso mediante el cual el material (adsorbato) se concentra en una superficie sólida (adsorbente) a partir de su entorno líquido o gaseoso. En paralelo, el intercambio iónico se describe como un proceso químico reversible en el cual un ion en solución se sustituye por otro con carga similar, vinculado a una partícula sólida en movimiento. Ortega y Sánchez (2021) indican que ciertos estudios corroboran la eficacia del intercambio

iónico para la eliminación de colorantes; del mismo modo, este proceso se emplea en el ámbito de ablandamiento y eliminando manganeso, calcio y otros cationes polivalentes a cambio de sodio durante el tratamiento de agua potable.

Conforme a la clasificación propuesta por Valenzuela et al. (2019), la adsorción puede categorizarse en fisisorción y quimisorción: la fisisorción se manifiesta cuando la atracción entre la superficie sólida y las moléculas adsorbidas es de índole física, demostrando ser altamente eficaz y ocurriendo a temperaturas bajas o críticas de la sustancia adsorbida; y la quimisorción, según Castelló (2017), implica energías interaccionadas que comparten un orden de magnitud similar al observado en una reacción química, que en este caso, los enlaces resultantes dificultan la remoción de especies quimiadsorbidas de la superficie sólida, requiriendo temperaturas significativamente más elevadas que la temperatura crítica.

Según Guzmán y Zapata (2018) la adsorción se vincula con los conceptos de sorción y desorción: la sorción abarca tanto la adsorción como la absorción, ya sea cuando ambas ocurren simultáneamente o no pueden distinguirse claramente. Por otro lado, la desorción representa el proceso inverso de la adsorción, por lo que la isoterma exhibe un ciclo de histéresis manifestándose cuando las curvas de adsorción y desorción se apartan entre sí.

Gallo et al. (2017) señalan que la isoterma de adsorción se define como la relación de equilibrio entre la cantidad de material adsorbido y la presión a constante temperatura, por ello, una característica crucial del adsorbente radica en su capacidad para acumular adsorbato, es decir, el material se denomina "adsorbente" antes de la adsorción y, una vez en estado adsorbido, se le llama "adsorbato". El mismo autor también indica que la Figura 2.2 muestra las isotermas de adsorción y desorción en relación con la actividad y el contenido del agua.



**Figura 2.2.** Ciclo de Histéresis

Fuente: Gallo et al. (2017)

### 2.9.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ADSORCIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO

Según Valenzuela et al. (2019) el adsorbente y materiales de intercambio iónico están caracterizados por:

- El tamaño de distribución de partículas
- Áreas superficiales externas y específicas
- Densidad
- Porosidad
- Distribución del radio de sus poros

### 2.10. ESTUDIO DE ADSORCIÓN

Bejarano et al. (2020) manifiesta que los estudios de adsorción implican la aplicación de modelos que ajusten las isothermas de adsorción y ecuaciones cinéticas, de modo que la aplicación de modelos teóricos a datos experimentales posibilita la predicción de datos cinéticos e isotérmicos, facilitando la validación de los procesos de adsorción. El mismo autor indica que la cantidad de material adsorbido en el tiempo ( $t$ ) por el adsorbente ( $q_e$ ) se determina mediante el balance de masa expresado en la ecuación 2.1 y la cantidad de material adsorbido puede expresarse como porcentaje de remoción, tal como se muestra en la ecuación 2.2.

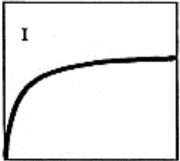
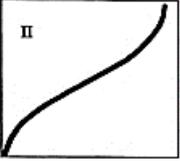
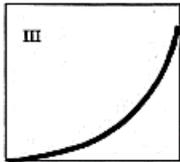
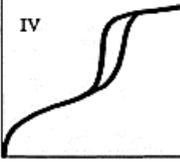
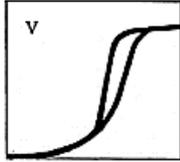
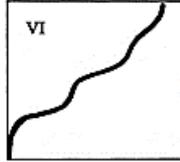
$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$\%R = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} * 100 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

## 2.11. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN

Según Castelló (2017) para evaluar los equilibrios de adsorción, resulta fundamental familiarizarse con la clasificación de las isothermas, ya que son esenciales para los modelos teóricos relacionados con los fenómenos de adsorción. De acuerdo con el manual de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada [IUPAC], comprender la naturaleza de las isothermas es crucial además de los seis tipos de isothermas de equilibrio gas-sólido, detallada a continuación:

**Tabla 2.3.** Tipos de Isothermas de equilibrio de Adsorción

<p>La isoterma tipo I es característica de sólidos microporosos con una superficie externa muy pequeña (carbón activado, zeolitas y ciertos óxidos porosos), es cóncava y suele ser llamada también de tipo Langmuir, además de que la adsorción límite está determinada por el volumen de microporos accesible, más que por el área de la superficie interna.</p>	
<p>La isoterma tipo II es característica de sólidos no porosos o macroporosos, es un proceso totalmente reversible, presenta múltiples capas y al principio la tendencia casi lineal de la isoterma indica la fase en que la cobertura de la monocapa está completa, proporcionando el inicio a la adsorción multicapa.</p>	
<p>La isoterma tipo III se presenta en materiales macroporosos o no porosos cuando existe poca afinidad entre el adsorbato-adsorbente y una mayor afinidad entre las moléculas de adsorbato, por tanto, al ser las interacciones mínimas entre el adsorbente-adsorbato estas podrían ser débiles, es decir no se observa el efecto de un campo de fuerzas por las bajas presiones relativas.</p>	
<p>La isoterma tipo IV es característica de sólidos mesoporosos dado que presenta un ciclo de histéresis, mismo que se asocia con la condensación capilar propia de la adsorción/desorción en mesoporos. Además, este tipo de isoterma a presiones bajas es similar a la isoterma de tipo II, y a presiones medias comienza la condensación capilar.</p>	
<p>La isoterma tipo V es poco frecuente, se relaciona con la isoterma tipo III, ya que en está las interacciones adsorbente-adsorbato son débiles, sin embargo, es característica de adsorción de vapor de agua en carbones activos, en vidrios, etc.</p>	
<p>La isoterma tipo VI no es muy habitual, representa la adsorción en multicapa de gases nobles sobre superficies no porosas y muy homogéneas, cada capa empieza a formarse cuando la anterior está completa, estas se adsorben dentro de un rango de presiones, y cada escalón corresponde al llenado de una capa.</p>	

Fuente: Castello (2017)

### 2.11.1. ESTUDIO DE ISOTERMAS POR MONOCOMPONENTE Y BICOMPONENTE

Las isotermas de adsorción desempeñan un papel crucial al describir la interacción entre las moléculas de los colorantes y los materiales adsorbentes, es por ello que este proceso incorpora la aplicación de modelos matemáticos diseñados para explicar la remoción de efluentes con multicomponentes, mostrando la complejidad de estos modelos radica en la interacción entre el adsorbente y el adsorbato, requiriendo un número creciente de parámetros para una descripción precisa del proceso (Navia et al., 2013).

Según Flores et al. (2015) y Navia et al. (2013) para las isotermas por monocompuestos se detalla la siguiente clasificación:

Tabla 2.4. Isotermas por Monocomponente de dos y tres parámetros

Isotermas por Monocomponente de dos parámetros		
Tipo de isoterma	Ecuación	Nomenclatura
<b>Isoterma de Langmuir</b> Es ampliamente utilizada para explicar la adsorción de contaminantes a partir de una solución líquida.	$q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e}$ (Ec. 2.3)	$Q_m$ y $K_L$ = constantes de Langmuir ( $mg \cdot g^{-1}$ ) ( $L \cdot mg^{-1}$ )
	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_m K_L} + \frac{C_e}{Q_m}$ (Ec. 2.4)	$C_e$ = concentración de equilibrio ( $mg \cdot L^{-1}$ )
	$R_L = \frac{1}{1 + R_L C_0}$ (Ec. 2.5)	$q_e$ = cantidad de adsorción por unidad de masa ( $mg \cdot g^{-1}$ )  $R_L$ = factor de separación
<b>Isoterma de Freundlich</b> Ecuación empírica que se utiliza para describir la adsorción multicapa en sistemas heterogéneos con una distribución de energía uniforme y adsorción reversible.	$q_e = K_F C_e^{1/n_F}$ (Ec. 2.6)	$K_F$ y $n_F$ = parámetros isotérmicos indicativos de la capacidad de adsorción ( $mg \cdot g^{-1}$ ) y ( $L \cdot mg^{-1}$ )
	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log q_e$ (Ec. 2.7)	$C_e$ y $q_e$ = concentración de fase líquida y sólida en de equilibrio ( $mg \cdot L^{-1}$ ) y ( $mg \cdot g^{-1}$ )
<b>Isoterma de Temkin</b> Debido a las interacciones adsorbente - adsorbato, el color de adsorción de todas las moléculas en	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T C_e$ (Ec. 2.8)	$B$ = constante de Temkin relacionada con el calor de adsorción ( $J \cdot mol^{-1}$ )
	$q_e = B_1 \ln K_T + B_1 \ln C_e$ (Ec. 2.9)	

la capa disminuiría linealmente. Donde:

$$B = \frac{RT}{b}$$

$A_T$  = constante de equilibrio de enlace correspondiente a la energía ( $L \cdot mg^{-1}$ )

$R$  = constante de gas universal ( $8.314 J \cdot mol^{-1} K^{-1}$ )

$T$  = Temperatura absoluta (K)

### Isoterma de Dubinin Raduskevich

Es un modelo empírico generalmente aplicado para expresar el mecanismo de adsorción con una distribución de energía gaussiana sobre una superficie heterogénea.

$$q_e = (q_s) \exp(-B_{DR} \varepsilon^2) \quad (Ec. 2.10)$$

$$\varepsilon = RT \ln \left[ 1 + \frac{1}{C_e} \right] \quad (Ec. 2.11)$$

$$E = \left[ \frac{1}{\sqrt{2B_{DR}}} \right] \quad (Ec. 2.12)$$

$$\ln q_e = Q_s - B\varepsilon^2 \quad (Ec. 2.13)$$

$q_s$  = capacidad máxima de adsorción ( $mg \cdot g^{-1}$ )

$B_{DR}$  = constante isométrica

$\varepsilon$  = potencial de polanyi

$R$  = constante de gas universal ( $8.314 J \cdot mol^{-1} K^{-1}$ )

$T$  = Temperatura absoluta (K)

$C_e$  = concentración de equilibrio de adsorbato ( $mg \cdot L^{-1}$ )

### Isotermas por Monocomponente de tres parámetros

#### Isoterma Toth

Es una ecuación empírica basada en Langmuir y aplicable a la adsorción heterogénea, esta isoterma presenta una distribución de energía casi gaussiana.

$$q_e = \frac{q_m C_e}{(K_{TO} + C_e^n)^{1/n}} \quad (Ec. 2.14)$$

$K_{TO}$  = constante de Toth

$n$  = exponente de Toth ( $0 < n \leq 1$ )

$$\ln \left( \frac{q_e}{q_m} \right) = \ln C_e - \frac{1}{n} (\ln K_{TO} + C_e) \quad (Ec. 2.15)$$

#### Isoterma Sips

Es una combinación de las isotermas Langmuir (altas concentraciones) y Freundlich (bajas concentraciones de adsorbato) que describe superficies heterogéneas.

$$q_e = \frac{q_m (K_S C_e)^{m_s}}{1 + (K_S C_e)^{m_s}} \quad (Ec. 2.16)$$

$Q_m$  = capacidad de adsorción en la monocapa

$K_S$  = constantes relacionadas con la energía de adsorción

$$m_s \ln(C_e) = -\ln \left( \frac{q_m}{q_e} \right) + \ln K_S \quad (Ec. 2.17)$$

Fuente: Navia et al. (2013) y Flores et al. (2015)

En cuanto a las isotermas por bicomponente según Hincapié et al. (2018) se detalla la siguiente clasificación:

**Tabla 2.5.** Isotermas por Bicomponente

Isotermas por Bicomponente		
<p><b>Isoterma de Langmuir Extendida</b> Asume que la superficie del sólido es uniforme, y que todos los iones del sorbato compiten por los mismos lugares superficiales.</p>	$q_{ei} = \frac{b_i q_{max} C_{ei}}{1 + \sum_{j=1}^N b_j C_{ej}} \quad (\text{Ec. 2. 18})$	<p><math>q_{max}</math> y <math>b_i = Se</math> obtienen a partir del ajuste de esta ecuación con los datos experimentales para un sistema multicomponente.</p>
<p><b>Isoterma de Freundlich Extendida</b> El equilibrio de biosorción en mezclas también puede ser descrito por la isoterma de Freundlich extendida.</p>	$q_{ei} = \frac{K_{Fi} C_{ei}^{\frac{1}{n_i} + x_i}}{1 + \sum_{j=1}^N y_j C_{ej}^{\frac{1}{n_j}}} \quad (\text{Ec. 2. 19})$	
<p><b>Isoterma de Sips Extendida</b> Es uno de los modelos más usados en el equilibrio de sistemas por multicomponentes, el cual muestra una mejor reproducción de los datos experimentales mediante el uso adicional de parámetros.</p>	$q_{ei} = \frac{K_{mi} b_i C_{ei}^{\frac{1}{n_i}}}{1 + \sum_{j=1}^N b_j C_{ej}^{\frac{1}{n_j}}} \quad (\text{Ec. 2. 20})$	

Fuente: Hincapié et al. (2018)

## 2.12. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

Según Ureña (2017) la cinética de adsorción proporciona información sobre la duración del proceso y debe ser tomada en cuenta antes de determinar la isoterma de adsorción. Es por ello que Figueroa et al. (2015) subrayan la importancia de los estudios cinéticos en este fenómeno superficial, ya que la adsorción está temporalmente vinculada con el tiempo, puesto que cuando mayor sea el tiempo de contacto entre el soluto y el sorbente, mayor será el número de moléculas retenidas, ofreciendo una indicación de la velocidad y eficiencia del proceso. Dobrosz et al. (2018) complementan este enfoque al destacar que en la cinética de adsorción se consideran dos aspectos interrelacionados: la cantidad de soluto en solución y la capacidad de adsorción del adsorbente.

### 2.12.1. MODELO CINÉTICO DE ADSORCIÓN DE PSEUDO PRIMER ORDEN

Pseudo primer orden es una de las formulaciones más antiguas propuestas por Lagergren en 1898, establecida para sistemas de adsorción sólido/líquido que involucran colorantes, iones metálicos y otras sustancias adheridas en sistemas acuosos a través de diversos adsorbentes (Cuevas, 2021). Según Rodríguez (2022) este modelo postula que la variación en la captación del soluto a lo largo del tiempo es directamente proporcional a la discrepancia entre la cantidad adsorbida en el equilibrio y la cantidad adsorbida en cualquier punto temporal. La ecuación se presenta de la siguiente manera:

**Tabla 2.6.** Modelo cinético de adsorción de pseudo primer orden

Ecuaciones	Nomenclatura
$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$ (Ec. 2. 21)	$q_t$ = cantidad de adsorbato adsorbido en el tiempo ( $mg \cdot g^{-1}$ )
$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303}t$ (Ec. 2. 22)	$k_1$ = es la constante de velocidad ( $min^{-1}$ )
Forma no lineal:	$q_e$ = cantidad de adsorción en equilibrio ( $mg \cdot g^{-1}$ )
$q_t = q_e(1 - \exp(-k_1t))$ (Ec. 2. 23)	$t$ = es el tiempo de contacto entre el adsorbato y el adsorbente ( $min$ )

Fuente: Hincapié et al. (2018)

### 2.12.2. MODELO CINÉTICO DE ADSORCIÓN DE PSEUDO SEGUNDO ORDEN

Este modelo cinético, derivado de una reacción química, se destaca como uno de los más utilizados y efectivos para analizar la cinética del proceso de adsorción, además que su característica principal radica en determinar la capacidad de adsorción de equilibrio, también reconocida como capacidad máxima (Cuesta y Nieto, 2022).

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el modelo descrito matemáticamente:

**Tabla 2.7.** Modelo cinético de adsorción de pseudo segundo orden

Ecuaciones	Nomenclatura
$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$ (Ec. 2. 24)	$q_t$ = cantidad de adsorbato adsorbido en el tiempo ( $mg.g^{-1}$ )
$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$ (Ec. 2. 25)	$k_2$ = es la constante de velocidad ( $g.mg^{-1}.min^{-1}$ )  $q_e$ = cantidad de adsorción en equilibrio ( $mg.g^{-1}$ )
Forma lineal y no lineal:	$t$ = tiempo de contacto entre el adsorbato y el adsorbente ( $min$ )
$q_t = \frac{k_2q_e^2 t}{1 + k_2q_e t}$ (Ec. 2. 26)	$h_0$ = velocidad inicial de adsorción ( $mg.g^{-1}.min^{-1}$ )
Velocidad de adsorción inicial	
$h_0 = k_2q_e^2$ (Ec. 2. 27)	

Fuente: Cuesta y Nieto (2022)

### 2.12.3. MODELO DE BANGHAM

Para Prieto et al. (2016) la ecuación de Bangham se ha empleado para caracterizar la difusión en los poros durante el proceso de adsorción, siendo expresada por la siguiente ecuación:

**Tabla 2.8.** Modelo de Bangham

Ecuaciones	Nomenclatura
$\log \log \left( \frac{C_0}{C_0 - q_t m} \right) - \log \left( \frac{k_0 m}{2.303V} \right) + \alpha \log(t)$ (Ec. 2. 28)	$C_0$ = concentración inicial del adsorbato en solución ( $mg.L^{-1}$ )  $q_t$ = cantidad de material adsorbido en el tiempo t ( $mg.g^{-1}$ )  $m$ = es el peso del adsorbente utilizado ( $g.L^{-1}$ )  $V$ = volumen de la solución

---

Otra forma de expresar este modelo es a través de la siguiente ecuación:

$$q_t = k_r t^{1/m} \quad (\text{Ec. 2.29})$$

$\alpha$  = constante que puede ser calculada con la pendiente e intercepción ( $< 1$ )

$k_0$  = constante que puede ser calculada con la pendiente e intercepción ( $mL \cdot g^{-1} \cdot L^{-1}$ )

$q_r$  = velocidad constante de adsorción

$1/m$  = indicador de la intensidad de adsorción

---

Fuente: Prieto et al. (2016)

# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

## 3.1. UBICACIÓN

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Química Ambiental ubicado en el área agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” ESPAM MFL, sitio “El Limón”, parroquia Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí, situada geográficamente en la coordenada UTM WGS-84, de este: 590597,66 y norte: 9908504,89.

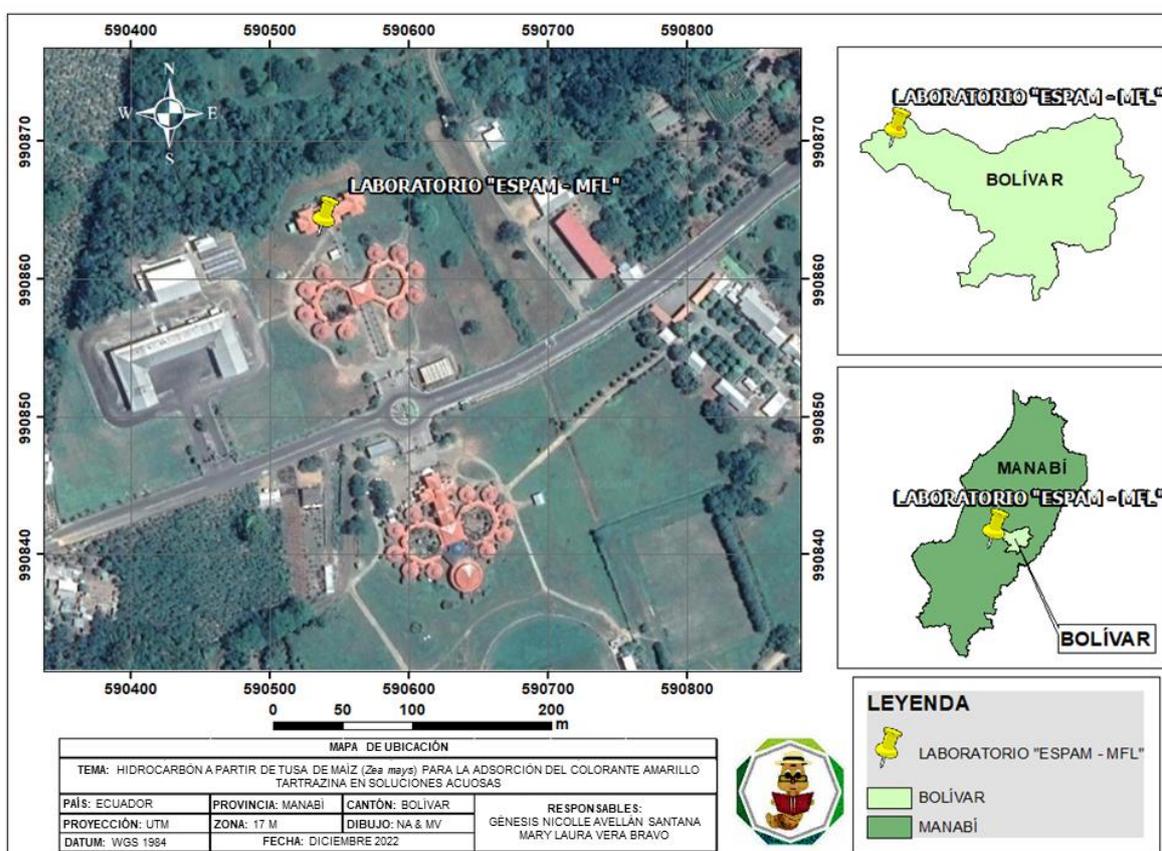


Figura 3.1. Mapa de ubicación de la investigación

## 3.2. DURACIÓN

La presente investigación tuvo una duración de nueve meses.

### **3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **3.3.1. MÉTODOS**

##### **3.3.1.1. MÉTODO DEDUCTIVO**

Prieto (2017) reconoce al método deductivo como aquel que se basa en el razonamiento lógico y que permite extraer conclusiones a través de enunciados y acciones dados previamente, para lo cual se basa en premisas generales que permitan llegar a resultados particulares. Por lo cual el presente mecanismo fue utilizado para determinar los procesos a emplearse en la investigación, con referencia a la remoción de los colorantes sintéticos de la industria alimentaria, para determinar así a cada uno de los pasos que se ven envueltos en dicho proceso.

##### **3.3.1.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO**

Tramullas (2020) afirma que el método bibliográfico constituye un proceso investigativo que proporciona conocimientos a través de material informativo como: libros, revistas de investigación científica, sitios Web entre otros. Por ende, este método se empleó para la búsqueda de los fundamentos teóricos de mayor relevancia sobre la temática propuesta a partir de fuentes bibliográficas confiables, asimismo, sirvió de base para establecer la metodología, discusión y análisis de los resultados obtenidos en el presente estudio.

##### **3.3.1.3. MÉTODO ESTADÍSTICO**

De acuerdo con Burgos et al. (2021) el método estadístico es descrito como una secuencia de procedimientos aplicados con el fin de manejar los datos correspondientes a una investigación, sean estos cualitativos o cuantitativos. Este método fue tomado en cuenta dentro del presente trabajo, ya que, ayudó a que los resultados obtenidos del mismo sean recolectados, analizados e interpretados de manera que no se den errores y puedan ser fácilmente comprensibles.

### **3.3.2. TÉCNICAS**

#### **3.3.2.1. INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL**

Es una técnica cuyo fin se basa en la obtención, selección, compilación, organización, interpretación y análisis de una situación u objeto de estudio a través de fuentes documentales mediante investigaciones previas relacionadas al mismos, tales como registros audiovisuales, revistas, libros, artículos de divulgación, entre otros (Parraguez et al., 2017). La utilidad de este mecanismo fue la de brindar bases sólidas que permitieron tener claro el panorama presentado con referencia a la problemática tratada, además ayudó en la determinación de los procesos que se aplicaron para lograr los objetivos planteados dentro de la investigación.

#### **3.3.2.2. EXPERIMENTACIÓN**

Santos y García (2018) definen a esta técnica como parte de una investigación en la cual una o más variables se manipulan, con el fin de determinar los posibles efectos y/o alteraciones provocadas por dicha acción dentro del objeto, sujeto o situación de estudio. Para este estudio, se utilizó este instrumento como fundamento para la determinación de las variaciones que se dieron con referencia a la cantidad de material adsorbente (residuos de maíz (*Zea mays*)) empleado en estudio y la adsorción de colorantes sintéticos que se removerán.

### **3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL**

Las unidades experimentales estuvieron conformadas por 20 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, donde se obtuvo un total de 60 unidades experimentales, las cuales se encontraron constituidas por las diferentes dosis del hidrocarbón obtenido de la tusa de maíz (1,0 g; 1,2 g; 1,4 g; 1,6 g y 1,8 g), estas cantidades fueron colocadas en un matraz Erlenmeyer con 50 ml de la muestra de la solución acuosa del colorante Amarillo Tartrazina (E102) con una concentración de 100 mg.L<sup>-1</sup> variando adicionalmente el pH (2, 4, 7 y 10) para establecer la dosis y el pH óptimo para el proceso de adsorción.

### **3.5. FACTOR DE ESTUDIO**

Factor A: Dosis del hidrocarbón

- A<sub>1</sub>: 1,0 g
- A<sub>2</sub>: 1,2 g
- A<sub>3</sub>: 1,4 g
- A<sub>4</sub>: 1,6 g
- A<sub>5</sub>: 1,8 g

Factor B: pH

- B<sub>1</sub>: 2
- B<sub>2</sub>: 4
- B<sub>3</sub>: 7
- B<sub>4</sub>: 10

### **3.6. TRATAMIENTOS**

Se realizaron 20 tratamientos con 3 repeticiones cada uno establecidos por el diseño experimental factorial asimétrico A x B, los cuales se evaluaron en función de las variables respuestas. Estos tratamientos se detallan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Constitución de los tratamientos

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

### 3.7. VARIABLES A MEDIR

#### 3.7.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Remoción de colorantes sintéticos.

#### 3.7.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Dosis de material adsorbente.

### 3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

#### 3.8.1. FASE I: DETERMINACIÓN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL MEDIO ADSORBENTE

##### Actividad 1. Obtención del hidrocarbón a partir de residuos agrícolas

Para la obtención del hidrocarbón a partir de tusa de maíz mediante carbonización hidrotermal (HTC), se tomó como referencia inicial a la metodología planteada por Ávila (2023) para el acondicionamiento del residuo de tusa de maíz el cual menciona que, para obtener el hidrocarbón primero que se debe reducir es 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%.

Posterior a ello, se empleó la metodología propuesta por Ngoc et al. (2023) en donde se pesó 20 g del material seco, posteriormente fue colocado dentro del reactor (figura 3.2) con revestimiento de teflón junto a 190 ml de agua ultrapura, el reactor fue 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 tusa de maíz.

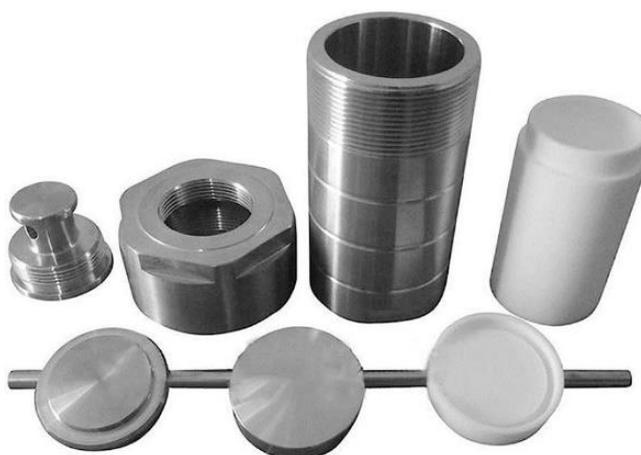


Figura 3.2. Reactor para la obtención de hidrocarbón

## Actividad 2. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico es aplicado con el fin de obtener una ordenada distribución del tamaño de partículas sólidas presentes en un sedimento (Hernández et al., 2016).

Para efecto de la investigación, se utilizó la metodología propuesta por Palacio et al. (2017) la cual consistió en pasar las partículas a través de varios tamices de alta vibración normalizados por Humboldt U.S.A. Standard con varios tamaños de red (tabla 3.2), lo cual hizo que las mismas se ordenen y circulen a través de las mallas según su diámetro.

**Tabla 3.2.** Tamices normalizados por Humboldt U.S.A. Standar

Número de Tamiz	Diámetro de partícula (mm)
12	1,680
30	0,840
40	0,590
50	0,420
100	0,149
200	0,074

Fuente: Zambrano (2016)

En cuanto a la aplicación de la misma, se seleccionaron 100 gramos de la muestra de cenizas previamente secadas, que posteriormente fueron pasadas a través de varios tamices ordenados descendientemente según el tamaño de diámetro con el que contaron, lo cual hizo que cierta cantidad de material quedara retenido, para la determinación del porcentaje representativo de cada fracción separada con relación a la muestra total inicial tamizada (Roca, 2021).

## Actividad 3. Determinación del punto de carga Cero ( $pH_{zpc}$ )

Se denomina como punto de carga cero ( $pH_{zpc}$ ) a aquel que tiene lugar cuando se dan cambios en el signo de la carga eléctrica en la superficie de un mineral (Broche et al., 2018). De acuerdo con Amaringo y Hormaza (2013) este es un parámetro que forma parte de las características de los sólidos sin importar la solución que se utilice para su determinación, siendo las de tipo electrolítico indiferente, ya que en esta no se presenta la adsorción de los cationes y aniones de la sal mayoritaria.

En el presente estudio se utilizó como referente a las metodologías propuestas por Vera et al. (2016) y Amaringo y Hormaza (2013) para lo cual se empleó 0,1 gramos

de ceniza, mismas que fueron colocados en un matraz Erlenmeyer, que hizo las funciones de reactor, luego se adicionó 25 ml de agua destilada (con un pH previamente corregido), para esto se preparó soluciones con pH comprendidos entre 2 y 11 utilizando agua destilada más ácido clorhídrico (0,1 mol/L) e hidróxido de sodio (0,1 mol/L), las cuales fueron sometidas a agitación magnética a 300 rpm durante 24 horas, posteriormente se filtraron y se obtuvo los valores de pH de cada una, se construyó una gráfica en la que se planteó de forma en la que ( $\text{pH}_{\text{final}} - \text{pH}_{\text{inicial}}$ ) versus  $\text{pH}_{\text{inicial}}$ , en la que, el punto de intersección con el eje horizontal fueron el punto de carga cero  $\text{pH}_{\text{zpc}}$ .

#### **Actividad 4. Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR)**

La espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FT-IR) sirve de apoyo para el estudio de la química superficial y los grupos funcionales presentes en el adsorbente, con fin de obtener información acerca de la interacción dada entre el adsorbato y el adsorbente a nivel molecular (Daza y Parra, 2021). Dicha técnica se basa en la transmisión de un rayo monocromo de luz infrarroja a través de la muestra, para posteriormente registrar la cantidad de luz que esta absorbe, misma que es directamente proporcional a la vibración específicas de los enlaces químicos existentes en la muestra (Domínguez et al., 2019; Téllez, 2019).

Este método fue empleado en esta investigación para determinar los espectros infrarrojos de la tusa de maíz (*Zea mays*) mediante el uso de un equipo 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  $\mu\text{m}$  (Zambrano, 2018).

### **3.8.2. FASE II: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL MEDIO ADSORBENTE EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA**

#### **Actividad 5. Método analítico**

Para determinar la adsorción del colorante Amarillo Tartrazina (E102) se midió la absorbancia que presentará dicho compuesto, con el fin de determinar la longitud de onda y el pico mayor correspondiente al colorante a través de un barrido, para

lo cual se utilizó un espectrofotómetro UV Visible Evolution 60 S Thermolyne (Thermo Scientific), lo que permitió crear una recta de calibración a 20 mg.L<sup>-1</sup> hasta 50 mg.L<sup>-1</sup>, para la medición de concentraciones altas se realizó diluciones 1:10 (Zambrano, 2018; Rodríguez et al., 2021).

### **Actividad 6. Validación del método analítico**

Pérez y Lopera (2016) y Araujo y et al. (2020) definen a la validación del método analítico como un proceso que permite obtener pruebas sólidas, documentadas y demostradas mediante estudios realizados en el laboratorio, con referencia a un estudio en específico, con el fin de garantizar que los resultados obtenidos en el mismo sean confiables, para lo cual se toman en cuenta una serie de parámetros como la selectividad, sensibilidad, linealidad, robustez, precisión, límite de cuantificación, especificidad.

Para el desarrollo de la presente investigación, se tomó en cuenta varios puntos, mismos que según Trigo y Aban (2020); García et al. (2018) y Socarras y Pretelt (2020) son descritos de la siguiente manera:

**Linealidad:** Este fue determinado mediante la creación de las rectas de calibración, para lo cual, también se tomó en cuenta las curvas del colorante, ya que el valor de regresión lineal (R<sup>2</sup>) de las mismas fue el que determinó esta cualidad en el colorante de estudio.

**Precisión:** Este se calculó con base al coeficiente de varianza, para el cual, como expresión el mismo, se empleó la siguiente ecuación:

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

En la que:

CV= Coeficiente de varianza

S = Valor de estimativa del desvío de padrón absoluto

$\bar{x}$  = Valor de la media aritmética

**Límite de Cuantificación:** Es definido como la mayor medida en la cual el analito puede ser cuantificado. Dicho parámetro se obtuvo gracias al establecimiento de la relación entre el desvío padrón de respuesta y la inclinación de la curva analítica, mediante la siguiente ecuación:

$$LQ = 10 \frac{s}{s} \text{ (Ec. 3.2)}$$

En la que:

$LQ$  = Límite de cuantificación

$s$  = Inclinación de la curva analítica

**Límite de Detección:** Se conoce de este modo a la menor concertación la que la misma puede ser detectada dentro de la muestra, dicho parámetro también se basó en la curva analítica y fue estimada mediante la siguiente ecuación:

$$LD = 3.3 \frac{s}{s} \text{ (Ec. 3.3)}$$

En la que:

$LD$  = Límite de detección

$s$  = Inclinación de la curva analítica

### **Actividad 7. Estudio de diferentes parámetros de Adsorción: pH y dosis del adsorbente**

El pH es la medida mediante la cual una solución indica su concentración de iones hidronio ( $H_3O^+$ ), mismos que pueden ser capaces de afectar las cargas superficiales presentes en el adsorbente (Álvarez et al., 2020). Según García et al. (2019) para que el proceso de adsorción se dé de la mejor manera posible, es necesario que se determine la dosis adecuada de material adsorbente a emplear durante dicha actividad.

Por lo cual en la presente investigación se tomó en cuenta como referentes a las metodologías propuestas por Andrade (2018) y Ensuncho et al. (2015) y de

Hincapié et al. (2018) y Castelló (2017) en donde se determinó la eficiencia de diferentes dosis de adsorbente con referencia a la remoción de amarillo Tartrazina (E102) en soluciones acuosas de 100ml a una concentración de 100 ppm, las cuales presentaron variaciones de pH ajustados mediante el uso de soluciones de NaOH 0,1 N ó HCl 0,1 N; dichas muestras fueron agitadas durante 2 horas a una velocidad de 200 rpm y a una temperatura de 298 K (25 °C), posteriormente fueron filtradas y monitoreadas las concentraciones removidas durante el proceso mediante espectrofotometría; tal cual se lo presentó en el diseño experimental planteado en la tabla 3.1.

### **3.8.3. FASE III: APLICACIÓN UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTUDIO CINÉTICO EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA A PARTIR DEL HIDRACARBÓN DE TUSA DE MAÍZ**

#### **Actividad 8. Efecto del tiempo de contacto del adsorbente**

El efecto del tiempo de contacto entre el adsorbato y el adsorbente, ayudará a determinar el equilibrio óptimo que este proceso alcanzará y cuánto tardará en darse dicha situación, lo cual es conocido como Cinética de adsorción (Bañón, 2018).

Dentro de la investigación, este proceso se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por Bejarano et al. (2020) y Ensuncho et al. (2015) para lo cual se utilizaron soluciones con concentración de colorantes variadas de 20, 60, 100, 140, 180, 220, 260 mg.L<sup>-1</sup>, se consideraron intervalos de tiempo de 3, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 y 180 minutos, se las colocaron en matraces Erlenmeyer y se agitaron a una velocidad de 200 rpm a una temperatura de 298 K (25 °C), luego fueron filtradas y sometidas a espectrofotometría.

Esto ayudó a identificar los mecanismos de adsorción necesarios para un ajuste de datos, el cual se generó mediante la aplicación de modelos cinéticos seleccionados por los autores, mismo que serán de Pseudo Primer Orden, Pseudo Segunda Orden y Bangham.

## Actividad 9. Aplicación del modelo matemático

Las interacciones entre el adsorbato y el adsorbente pueden ser descritas mediante isothermas de adsorción (Figueroa et al., 2015). Para efecto de la investigación se tomó en cuenta a la metodología propuesta por Zambrano (2016) en la cual se determinó el comportamiento de varias concentraciones de colorantes (de 20, 60, 100, 140, 180, 220, 260 ppm) a una temperatura de 298 K, posteriormente se aplicaron los modelos de monocomponente de Langmuir, Freundlich y Sips (tabla 2.4), analizadas por el programa *Stadística* y graficados en *OriginPro 2017*.

### 3.9 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un arreglo factorial asimétrico A x B, con un total de 20 tratamientos y 3 repeticiones por cada uno de estos, lo cual dio un total de 60 unidades experimentales que permitieron determinar la dosis del material adsorbente y la influencia del pH. En la tabla 3.3 se detallan las fuentes de variación del análisis de varianza.

**Tabla 3.3.** 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

### 3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó el software InfoStat 2020 para el análisis de las variables respuestas, se efectuó un análisis de varianza en función de los tratamientos para ver el efecto de los factores en estudio, 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 permitirá establecer cuál es el mejor de los tratamientos.

## CAPÍTULO IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DETERMINACIÓN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL MEDIO ADSORBENTE

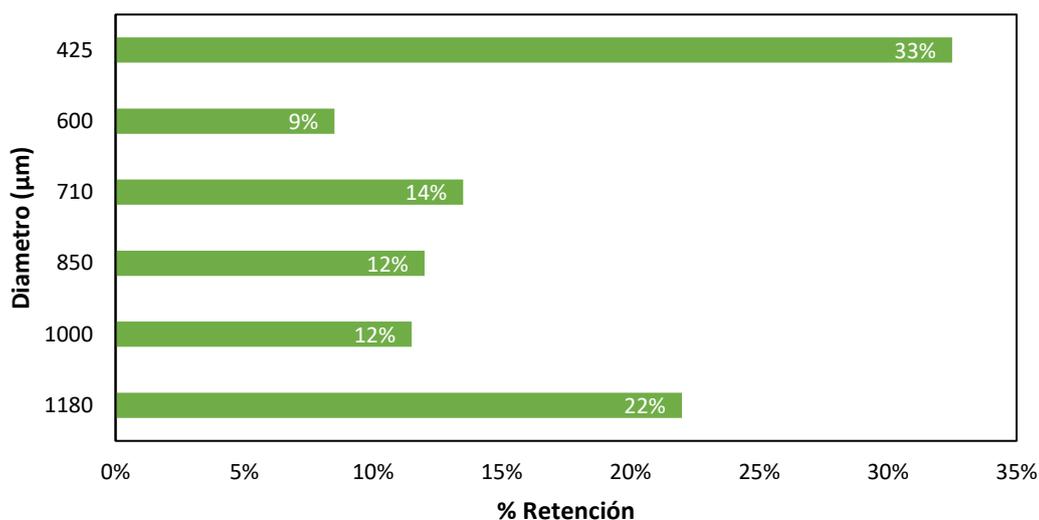
Por cada 20 g de tusa de maíz sometidos a termorreacción se obtuvieron 10 g de hidrocarbón junto con un residual líquido, por lo cual se vio necesario eliminar la humedad con ayuda del aumento de temperatura.

En una investigación realizada por Pinto et al. (2022) se determinó que, uno de los factores que influye en el proceso de obtención de hidrocarbón es la temperatura, ya que, en aquellas mayores a 200°C la calidad del hidrocarbón tiende a menguar, además, la cantidad de humedad del residuo, debido a que al estar presente se pueden mantener los grupos funcionales con presencia de oxígeno, otro factor fue el tipo de biomasa, ya que, aquellas con alto contenido de lignina suelen tener una mejor evolución y por último, pero no menos importante, se debió considerar que el tiempo de reacción se determina según el tipo de residuo a convertir.

El análisis granulométrico dio como resultado lo establecido en la siguiente Tabla 4.1:

**Tabla 4.1.** Análisis granulométrico del hidrocarbón

Número de Tamiz	Diámetro de partícula ( $\mu\text{m}$ )	Cantidad de muestra retenida (g)	Porcentaje (%)
16	1180	4,4	22%
18	1000	2,3	12%
20	850	2,4	12%
25	710	2,7	14%
30	600	1,7	9%
40	425	6,5	33%
<b>Total</b>		20	100



**Figura 4.1.** Análisis granulométrico del hidrocarbón

Con base a lo observado en la figura 4.1, se determinó que el tamiz número 40 fue el que retuvo la mayor cantidad de las partículas de hidrocarbón (33%), además de ser el que más material homogéneo retuvo, debido a que tuvo el menor diámetro, siendo este de 425 µm; mientras que, la menor retención se dio en el tamiz número 30 con un 9% de la muestra y un diámetro de 600 µm.

Pérez (2021) menciona que, al convertir 100 g de tusa de maíz en hidrocarbón y someterla posteriormente a tamizado, se observaron diferentes rangos de tamaño de partícula, entre las partículas tamizadas, el 15,2% tenía un tamaño de 1000-500 µm, el 43,2% presentó un rango de 500-250 µm, y un 40,7% tenía un tamaño inferior a 250 µm.

Los datos obtenidos al variar el pH, permitieron la identificación del punto de carga cero (pHpzc) del hidrocarbón como se ilustra en la figura 4.2.

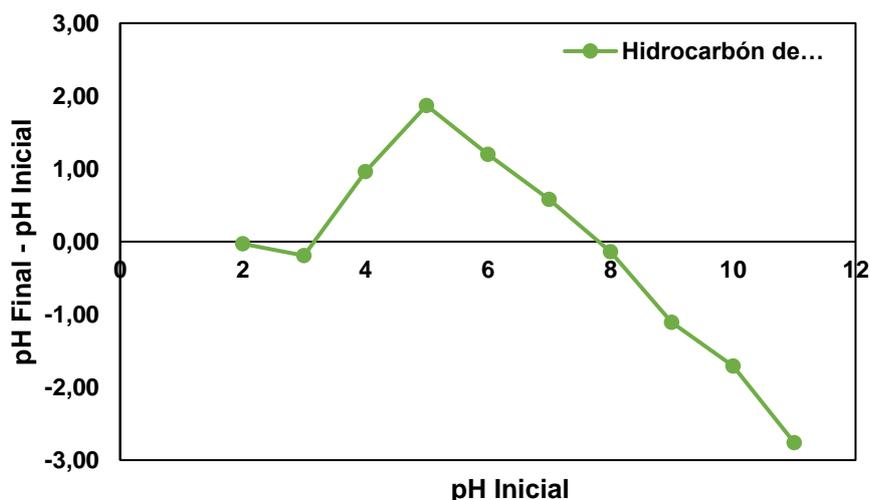


Figura 4.2. Valores de pH<sub>pzc</sub>

En la figura 4.2, se aprecia que la curva experimental intercepta el eje de las x en un punto cercano a 8, que se identifica como el pH<sub>pzc</sub> específico del hidrocarbón de tusa de maíz utilizado en este estudio. Por lo cual se infiere que, en condiciones neutras, la concentración de sitios básicos del hidrocarbón es ligeramente mayor que la de sitios ácidos. Castellar et al. (2019) en su investigación reportaron en el análisis de pH<sub>pzc</sub> un valor de 3,1 usando la ceniza de cáscara de yuca, indicando que para valores de pH por encima de 3,1 predominan las cargas negativas.

De acuerdo con Amaringo y Hormaza (2013) el pH<sub>pzc</sub> indica el punto inicial al elegir el valor de pH óptimo para remover de manera efectiva la solución colorante, es decir que, cuando el pH del medio es superior al pH<sub>pzc</sub> prevalecen las cargas negativas, facilitando la interacción con cationes; mientras que valores de pH inferiores al pH<sub>pzc</sub> generan superficies con cargas positivas, promoviendo las interacciones con los aniones.

Al momento que se aplicó el proceso de FT-IR, se encontraron varios grupos funcionales gracias a los mecanismos de vibración de deformación y estiramiento, los cuales se observan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Grupos funcionales presentes el hidrocarbón

Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	Enlace	Grupo de proveniencia del enlace	Rango (cm <sup>-1</sup> )	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

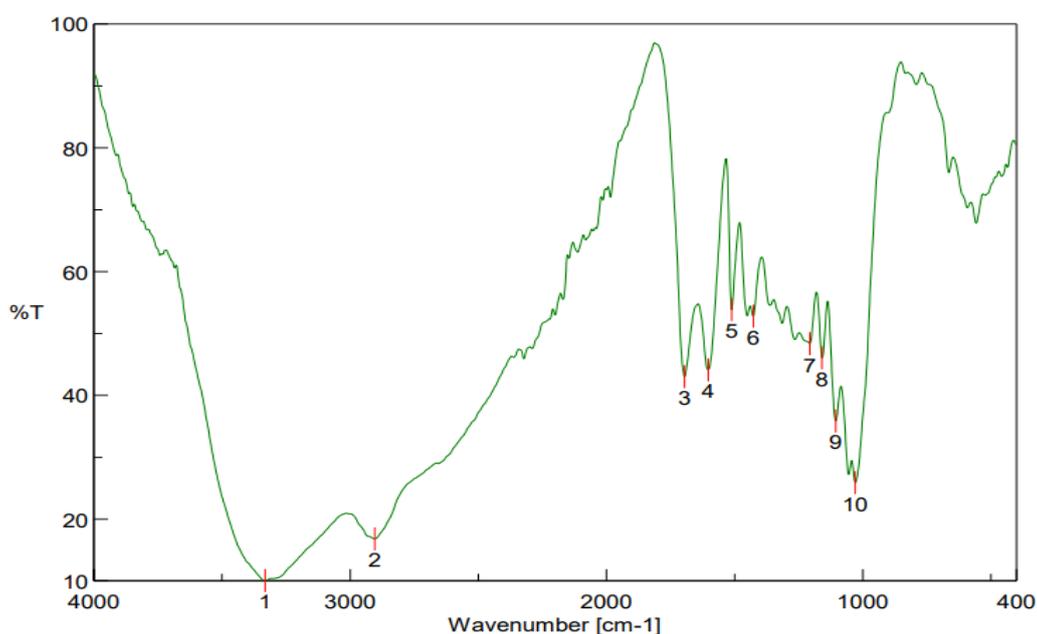


Figura 4.3. Espectro de transmitancia del hidrocarbón de tusa de maíz

En la figura 4.3, el espectro de la tusa de maíz pura se caracteriza por una banda ancha entre 3400 y 3200 cm<sup>-1</sup>, esta banda de adsorción se encontró alrededor de la región de 3338,18 cm<sup>-1</sup>, y se le puede atribuir a las vibraciones de estiramiento

de los enlaces de OH en moléculas de agua, unidas por puentes de hidrógeno, o grupos OH presentados en celulosa, hemicelulosa, y lignina. Las bandas de  $3079\text{ cm}^{-1}$  y  $3010\text{ cm}^{-1}$  se les atribuyen a enlaces aromáticos C-H en las estructuras de celulosa, hemicelulosa y lignina, respectivamente.

Cerca de  $1700\text{ cm}^{-1}$ , se observa un pequeño pico debido a (C = O) vibraciones de estiramiento de cetonas, aldehídos, lactonas o grupos carboxilo; la fuerte intensidad de este pico indica la muestra de hidrocarbón de tusa de maíz de contiene una alta cantidad de grupo carboxilo.

La banda de  $1610$  a  $1560\text{ cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de estiramiento de grupos carboxílicos, mientras que, las de  $1625 - 1590\text{ cm}^{-1}$  corresponden a grupos aromáticos con una intensidad variable. La banda de mayor intensidad, se presentó aproximadamente a  $1029,8\text{ cm}^{-1}$  lo que indica la existencia de tetrámeros de siloxano; además dicha banda está caracterizada por vibración de estiramiento de C-O en celulosa, hemicelulosa y lignina, que explica la naturaleza lignocelulósica de la tusa de maíz.

La alta intensidad de ese pico a  $1029,8\text{ cm}^{-1}$  en la región  $1075$  a  $1000$  por los enlaces C-O y enlace Si-O en los grupos siloxano (Si-O-Si) que también se generan, así mismo, otros grupos aromáticos en  $813,81\text{ cm}^{-1}$  y  $755.96\text{ cm}^{-1}$  con vibraciones de deformación.

Estos resultados guardan relación con los expuestos por Tejada-Tovar et al. (2021) los cuales indican que, dentro del espectro de la mazorca de maíz, se evidencian los estiramientos de C=O y C-O en las bandas alrededor de  $1600\text{ cm}^{-1}$ , siendo estos debido a los grupos carboxilo presentes en la pectina, hemicelulosa y lignina, además, se observa una vibración de los grupos OH y aminas secundarias en el rango de  $3200$  a  $3600\text{ cm}^{-1}$ , lo cual se atribuye al hidroxilo de las moléculas lignocelulósicas.

## 4.2. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL MEDIO ADSORBENTE EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA

Para el caso del método analítico, el colorante amarillo tartrazina presente en solución acuosa fue detectado a una longitud de onda de 429 nm, presentando los picos característicos del barrido analizado por Espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific – Evolution 60S). El espectro del colorante amarillo tartrazina se muestra en la Figura 4.4:

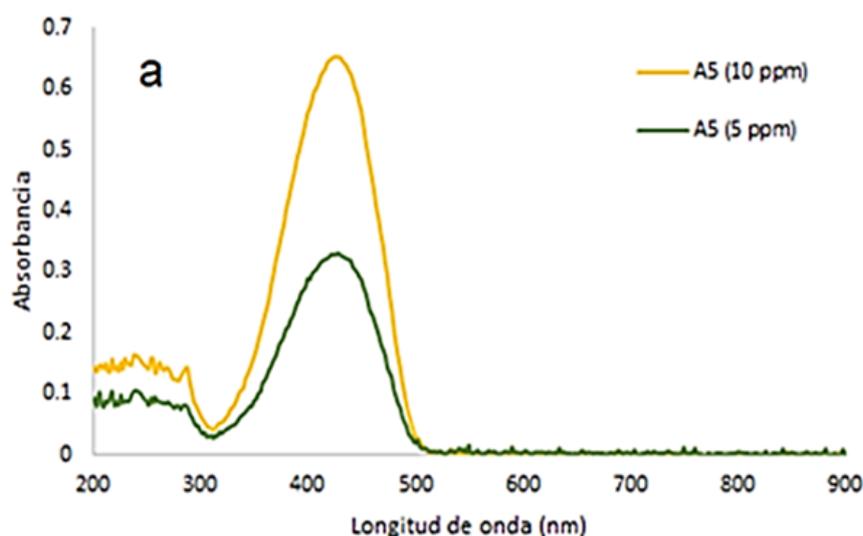


Figura 4.4. Espectro del colorante amarillo Tartrazina a 10 ppm y 5 ppm

En la Figura 4.4 se representa el espectro de absorción UV-VIS de una muestra de tartrazina, evidenciando un pico máximo de absorción a una longitud de onda de 429 nm. Según Velásquez (2022), este pico se atribuye a las transiciones de los grupos cromóforos (C=N, C=O y N=N), los cuales son responsables de la tonalidad amarilla de la solución, presentando picos característicos alrededor de 428 nm. Por otro lado, Alarcón (2019) reporta valores de absorbancia de 425 nm para este colorante, tras realizar barridos de absorbancia en el rango de 190 a 600 nm.

En tabla 4.3 se muestran los valores atípicos anómalos de la media de los grupos a través de la prueba de Grubb's

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

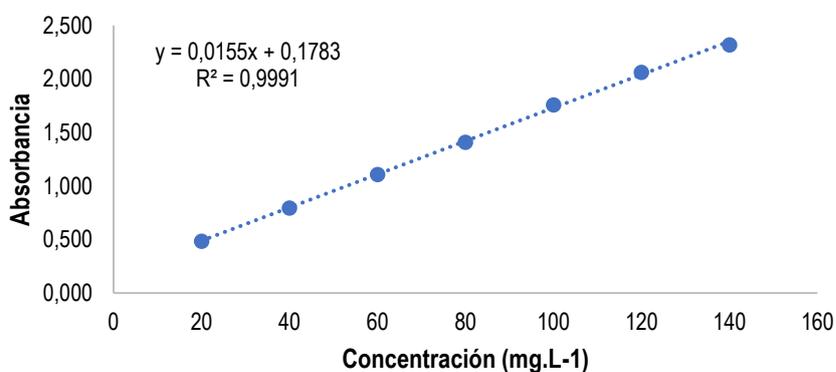
Concentración mg.L <sup>-1</sup>	Medias de las Absorbancia	Desvío Padrón	Prueba de Grubb's 95% de confianza	
			G<	G>
20	0,485	0,008	1,412	1,243
40	0,794	0,011	1,271	1,421
60	1,108	0,015	1,246	1,472
80	1,408	0,015	1,246	1,472
100	1,758	0,015	1,246	1,472
120	2,063	0,016	1,429	1,021
140	2,318	0,015	1,246	1,472

Los resultados en la Tabla 4.3, indican que los datos concuerdan para los valores equivalentes de las 6 medidas con un nivel de confianza del 95%. Podemos comprobar estos resultados ya que los valores de la prueba de Grubb's realizada muestran G< y G> inferiores a 1,8221 como lo indica la tabla para valores críticos Taylor y Cihon (2004), lo que se considera aceptable para los datos analizados, sin detectar valores atípicos de las muestras en el conjunto de datos.

En la Figura 4.5 se presentan la gráfica de linealidad, además, en la Tabla 4.3 los rangos lineales identificados en el colorante, así como la ecuación de la recta de regresión y el coeficiente de correlación asociado obtenidos durante el análisis.

**Tabla 4.4.** Intervalo de trabajo para el colorante, ecuación de la línea recta y coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>).

Colorante	Línea range (mg.L <sup>-1</sup> )	Ecuación de la recta	R <sup>2</sup>
Amarillo Tartrazina	20 a 160	$y=0.0155x + 0.1783$	0.9991



**Figura 4.5.** Representación gráfica de la linealidad para el colorante Tartrazina para el rango de 20 a 160 mg · L<sup>-1</sup>.

La Tabla 4.4 muestra el valor de la correlación del método del colorante la cual alcanzó un valor de 0,9991. De acuerdo con los estándares definidos 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 exceden 0,90 y 0,99 (Napoleão, 2015). En este contexto, las curvas de calibración son consideradas adecuadas para la determinación del colorante Tartrazina, ya que indican un ajuste significativo y preciso de los datos correlacionados. En la Figura 4.5 se verifica que los puntos utilizados en la construcción de la curva analítica están dentro del rango lineal. Por lo tanto, se puede establecer que el método analítico es lineal en el intervalo analizado.

Los resultados correspondientes a la validación del método analítico se muestran de manera detallada en la Tabla 4.5:

**Tabla 4.5.** Valores obtenidos para el CV en el intervalo de 20 a 160 mg·L<sup>-1</sup>.

<b>Concentración mg.L<sup>-1</sup></b>	<b>Coefficiente de varianza (%)</b>
20	1,6303
40	1,4031
60	1,3281
80	1,0452
100	0,8371
120	0,7914
140	0,6349

Los resultados del coeficiente de variación, presentados en la Tabla 4.5, que oscilan entre 0,6349% y 1,6303%, reflejan una precisión satisfactoria, ya que estos valores se sitúan por debajo del umbral del 2% como criterio de aceptación (Volonté y Quiroga, 2013). Huerta y Suárez (2017) indican que, el coeficiente de variación porcentual (CV %) según la farmacopea de Estados Unidos establece como límite un valor de 2,7% de CV para que un método sea considerado preciso y aceptado.

En la Tabla 4.6 se presentan los resultados del límite de detección (LD) y el límite de cuantificación (LQ) del método analítico para la determinación del colorante en solución acuosa, para un rango de concentración de trabajo de 20 a 140 mg.L<sup>-1</sup>.

**Tabla 4.6.** Límites de detección y cuantificación del método analítico

<b>Amarillo tartrazina (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Límite de detección (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Límite de cuantificación (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
20 - 140	1,684	5,103

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 5,103 mg.L<sup>-1</sup>, correspondiendo a la concentración mínima del analito que puede ser establecida con precisión y exactitud. Simultáneamente, se ha definido un límite de detección de 1,684 mg.L<sup>-1</sup>, indicando la concentración mínima del colorante que puede ser identificada por el método. Rocha-Miranda et al. (2020) manifiestan que, el límite de detección y de cuantificación deben encontrarse por debajo del nivel inferior de la curva de calibración para la validación del método analítico por espectrofotometría UV-Visible.

En la tabla 4.7 se puede observar los resultados correspondientes a la aplicación del diseño experimental.

Tabla 4.7. Estudio de diferentes parámetros de Adsorción: pH y dosis del adsorbente

Tratamientos	Código	Dosis de Adsorbente (g)	Volumen de solución (L)	Concentración de referencia (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración Inicial Co (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración final Cf (mg.L <sup>-1</sup> )	% remoción	Capacidad de adsorción Qe (mg.g <sup>-1</sup> )
pH 2								
T <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	1	0,05	100	92,94	31,74	65,85%	3,06
T <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	1,2	0,05	100	92,94	35,32	62,00%	2,40
T <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	1,4	0,05	100	92,94	23,72	74,48%	2,47
T <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	1,6	0,05	100	92,94	23,01	75,24%	2,19
T <sub>5</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>1</sub>	1,8	0,05	100	92,94	24,28	73,88%	1,91
pH 4								
T <sub>6</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	1	0,05	100	92,94	64,49	30,61%	1,42
T <sub>7</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	1,2	0,05	100	92,94	59,05	36,46%	1,41
T <sub>8</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	1,4	0,05	100	92,94	50,84	45,30%	1,50
T <sub>9</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub>	1,6	0,05	100	92,94	53,1	42,87%	1,25
T <sub>10</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>2</sub>	1,8	0,05	100	92,94	54,11	41,78%	1,08
pH 7								
T <sub>11</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	1	0,05	100	92,94	75,34	18,94%	0,88
T <sub>12</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	1,2	0,05	100	92,94	79,25	14,73%	0,57
T <sub>13</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	1,4	0,05	100	92,94	64,67	30,42%	1,01
T <sub>14</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>3</sub>	1,6	0,05	100	92,94	64,67	30,42%	0,88
T <sub>15</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>3</sub>	1,8	0,05	100	92,94	52,51	43,50%	1,12
pH 10								
T <sub>16</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub>	1	0,05	100	92,94	90,88	2,22%	0,10
T <sub>17</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>4</sub>	1,2	0,05	100	92,94	87,67	5,67%	0,22
T <sub>18</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	1,4	0,05	100	92,94	84,44	9,15%	0,30
T <sub>19</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>4</sub>	1,6	0,05	100	92,94	89,41	3,80%	0,11
T <sub>20</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>4</sub>	1,8	0,05	100	92,94	70,93	23,68%	0,61

Se pudo observar que, los tratamientos que tuvieron un pH 2 lograron remover entre un 62,00 – 75,24 % de la concentración inicial de colorante amarillo tartrazina, los de pH 4 removieron el 30,61 – 45,30%, los de pH 7 un 14,73 – 43,50% y finalmente los de pH 10 un 2,22 – 23,68%; mientras, que, para el caso de la capacidad de adsorción, esta tuvo el valor más alto en el tratamiento 1 (3,06 mg.g<sup>-1</sup>) y el valor más bajo en el tratamiento 15 (0,10 mg.g<sup>-1</sup>), además de esto, cabe señalar, que los valores más altos con referencia a este parámetro se evidenciaron en las soluciones con pH más ácido contaron con una capacidad mayor de adsorción, la cual disminuía a medida que el pH aumentaba.

En un estudio realizado por Zambrano (2016) utilizó cenizas elaboradas a partir de la cascarilla de arroz con el fin de remover colorante azul 19 de soluciones acuosas, obtuvo como resultado que, la dosis de 1 g de adsorbente y un pH 2 favorecen una óptima remoción de dichas sustancia, para lo cual consideró una concentración inicial de 100 mg.L<sup>-1</sup>, una vez aplicado el proceso redujo a 69,51 mg.L<sup>-1</sup> y contó con una capacidad de adsorción de 4,06 mg.g<sup>-1</sup>.

Ensuncho et al. (2015) manifiestan que en su estudio basado en la adsorción de colorante Rojo Allura mediante el uso de carbones generados a partir de cáscara de coco, cascarilla de arroz y tusa de maíz con una dosis comprendida entre 0,1 a 2 g de carbón y un pH comprendido entre 3 y 10, se pudo observar que, este último a una dosis de 0,3 g de material adsorbente se logró remover el 97% de la concentración inicial (70 mg.L<sup>-1</sup>) con una capacidad de adsorción de 226,33 mg.g<sup>-1</sup> a un pH 3, la cual disminuía a medida que la salinidad de las soluciones aumentaba.

En la tabla 4.8 se visualiza el análisis de varianza entre los tratamientos:

**Tabla 4.8.** Análisis de varianza entre los tratamientos

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	33136,56	19	1744,03	4713,36	<0,0001
<b>Dosis (g)</b>	2337,99	4	584,50	1579,65	<0,0001
<b>pH</b>	29863,81	3	9954,60	26903,00	<0,0001
<b>Dosis (g)*pH</b>	934,76	12	77,90	210,52	<0,0001
<b>Error</b>	14,80	40	0,37		
<b>Total</b>	33151,36	59	1744,03		

Según lo mostrado en la tabla 4.8 existe variación significativa entre las variables de estudio, debido a que existe un p-valor inferior a 0,05. Para lo cual se realizó el análisis de Tukey para observar la influencia de cada una de las variables y la interacción entre ellas, como se muestra en las tablas 4.9 y 4.10.

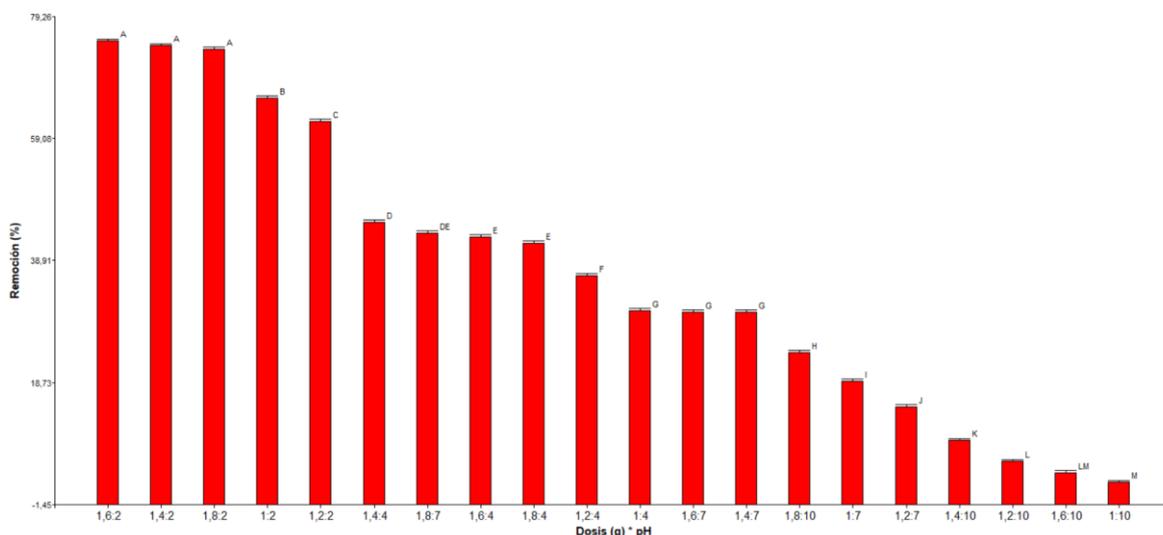
**Tabla 4.9.** Análisis de Tukey para dosis de adsorbente

Dosis	Medias	n	E.E.	
1,8	45,71	12	0,18	A
1,4	39,84	12		B
1,6	38,08	12		C
1,2	29,72	12		D
1	29,40	12		D

**Tabla 4.10.** Análisis de Tukey para pH

pH	Medias	n	E.E.	
2	70,29	15	0,16	A
4	39,40	15	0,16	B
7	27,60	15	0,16	C
10	8,90	15	0,16	D

Como se muestra en la tabla 4.9 la variable dosis tiene una media mayor a 45,71 para una cantidad de 1,8 g, mientras que, en la tabla 4.10 se observa una incidencia mayor en el pH 2 con una media de 70,29. Ante aquello, se realizó un análisis de interacción entre ambas variables, para conocer cuál es el tratamiento que alcanzó una mayor remoción (figura 4.6)



**Figura 4.6.** Test Tukey interacción dosis\*pH y remoción de los tratamientos

En la figura 4.6 se observa que el tratamiento T4 con una dosis de 1,6 g y pH 2 alcanza una media de 75,24, lo cual lo denota como uno de los tratamientos más idóneos debido al nivel de remoción que tuvo con respecto al colorante amarillo tartrazina, además, es también factible la selección de los tratamientos T3 (1,4 g de hidrocarbón y pH 2) y T5 (1,8 g de hidrocarbón y pH 2) con medias de 74,48 y 73,88 respectivamente, como lo establece el análisis de Tukey.

Ensuncho et al. (2015) indican que el proceso de adsorción del colorante amarillo tartrazina suele ser más eficiente cuando el adsorbente presenta cargas positivas, especialmente en entornos de pH ácido, estas cargas positivas contribuyen a una mayor atracción electrostática con respecto a la carga negativa (anión) común en los colorantes azoicos; por lo tanto, en condiciones de pH básico, se observaría una repulsión electrostática entre las partículas, lo que afectaría negativamente la capacidad de adsorción en comparación con el hidrocarbón de tusa de maíz.

#### 4.3. APLICACIÓN UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTUDIO CINÉTICO EN LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AMARILLO TARTRAZINA A PARTIR DEL HIDRACARBÓN DE TUSA DE MAÍZ

El tratamiento T4 alcanzó un porcentaje de remoción del 75,24%, mismo que contó con 1,6 g de hidrocarbón, pH de 2 y dicha interacción se visualiza en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Efecto del tiempo de contacto del adsorbente

Tiempo (t)	Dosis de Adsorbente (g)	Volumen de solución (L)	Concentración de referencia (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración Inicial Co (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración final Cf(mg.L <sup>-1</sup> )	% remoción	Capacidad de adsorción Qe (mg.g <sup>-1</sup> )
<b>20 mg.L<sup>-1</sup></b>							
3	1,6	0,05	20	21,95	17,99	18,04%	0,12
5	1,6	0,05	20	21,95	11,71	46,65%	0,32
10	1,6	0,05	20	21,95	6,93	68,43%	0,47
20	1,6	0,05	20	21,95	4,28	80,50%	0,55
40	1,6	0,05	20	21,95	3,31	84,92%	0,58
60	1,6	0,05	20	21,95	2,75	87,47%	0,60
90	1,6	0,05	20	21,95	2,11	90,39%	0,62
120	1,6	0,05	20	21,95	2,24	89,79%	0,62
180	1,6	0,05	20	21,95	1,36	93,80%	0,64
<b>60 mg.L<sup>-1</sup></b>							

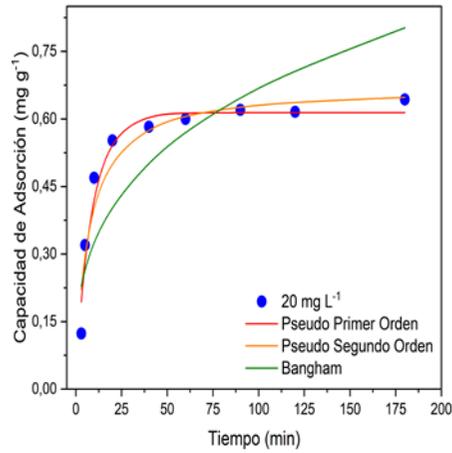
Tiempo (t)	Dosis de Adsorbente (g)	Volumen de solución (L)	Concentración de referencia (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración Inicial Co (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración final Cf(mg.L <sup>-1</sup> )	% remoción	Capacidad de adsorción Qe (mg.g <sup>-1</sup> )
3	1,6	0,05	60	62,97	52,14	17,20%	0,34
5	1,6	0,05	60	62,97	43,28	31,27%	0,62
10	1,6	0,05	60	62,97	34,56	45,12%	0,89
20	1,6	0,05	60	62,97	23,23	63,11%	1,24
40	1,6	0,05	60	62,97	12,18	80,66%	1,59
60	1,6	0,05	60	62,97	6,41	89,82%	1,77
90	1,6	0,05	60	62,97	3,84	93,90%	1,85
120	1,6	0,05	60	62,97	2,33	96,30%	1,90
180	1,6	0,05	60	62,97	2,83	95,51%	1,88
<b>100 mg.L<sup>-1</sup></b>							
3	1,6	0,05	100	96,11	79,93	16,83%	0,51
5	1,6	0,05	100	96,11	73,83	23,18%	0,70
10	1,6	0,05	100	96,11	63,02	34,43%	1,03
20	1,6	0,05	100	96,11	49,37	48,63%	1,46
40	1,6	0,05	100	96,11	36,11	62,43%	1,88
60	1,6	0,05	100	96,11	27,65	71,23%	2,14
90	1,6	0,05	100	96,11	25,44	73,53%	2,21
120	1,6	0,05	100	96,11	24,98	74,01%	2,22
180	1,6	0,05	100	96,11	25,52	73,45%	2,21
<b>140 mg.L<sup>-1</sup></b>							
3	1,6	0,05	140	138,39	126,03	8,93%	0,39
5	1,6	0,05	140	138,39	119,39	13,73%	0,59
10	1,6	0,05	140	138,39	103,19	25,44%	1,10
20	1,6	0,05	140	138,39	90,10	34,89%	1,51
40	1,6	0,05	140	138,39	75,37	45,54%	1,97
60	1,6	0,05	140	138,39	68,85	50,25%	2,17
90	1,6	0,05	140	138,39	66,04	52,28%	2,26
120	1,6	0,05	140	138,39	65,31	52,81%	2,28
180	1,6	0,05	140	138,39	64,58	53,33%	2,31
<b>180 mg.L<sup>-1</sup></b>							
3	1,6	0,05	180	180,85	171,71	5,05%	0,29
5	1,6	0,05	180	180,85	160,30	11,36%	0,64
10	1,6	0,05	180	180,85	151,18	16,41%	0,93
20	1,6	0,05	180	180,85	139,04	23,12%	1,31
40	1,6	0,05	180	180,85	126,93	29,81%	1,69
60	1,6	0,05	180	180,85	117,12	35,24%	1,99
90	1,6	0,05	180	180,85	108,20	40,17%	2,27
120	1,6	0,05	180	180,85	105,80	41,50%	2,35
180	1,6	0,05	180	180,85	106,40	41,17%	2,33
<b>220 mg.L<sup>-1</sup></b>							
3	1,6	0,05	220	219,93	212,25	3,49%	0,24

Tiempo (t)	Dosis de Adsorbente (g)	Volumen de solución (L)	Concentración de referencia (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración Inicial Co (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentración final Cf(mg.L <sup>-1</sup> )	% remoción	Capacidad de adsorción Qe (mg.g <sup>-1</sup> )
5	1,6	0,05	220	219,93	205,45	6,58%	0,45
10	1,6	0,05	220	219,93	196,59	10,61%	0,73
20	1,6	0,05	220	219,93	181,70	17,38%	1,19
40	1,6	0,05	220	219,93	162,14	26,28%	1,81
60	1,6	0,05	220	219,93	152,98	30,44%	2,09
90	1,6	0,05	220	219,93	144,63	34,24%	2,35
120	1,6	0,05	220	219,93	139,55	36,55%	2,51
180	1,6	0,05	220	219,93	138,48	37,03%	2,55
<b>260 mg.L<sup>-1</sup></b>							
3	1,6	0,05	260	259,93	247,25	4,90%	0,40
5	1,6	0,05	260	259,93	238,45	8,29%	0,67
10	1,6	0,05	260	259,93	226,59	12,85%	1,04
20	1,6	0,05	260	259,93	211,70	18,58%	1,51
40	1,6	0,05	260	259,93	202,14	22,25%	1,81
60	1,6	0,05	260	259,93	193,98	25,39%	2,06
90	1,6	0,05	260	259,93	189,63	27,07%	2,20
120	1,6	0,05	260	259,93	185,55	28,63%	2,32
180	1,6	0,05	260	259,93	182,48	29,82%	2,42

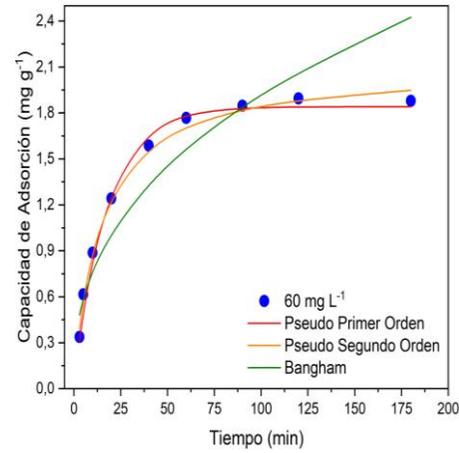
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 4.11, se observó que la menor remoción se presentó en un tiempo de tres minutos, alcanzando niveles de remoción comprendidos para 220 mg.L<sup>-1</sup> (3,49%) y 20 mg.L<sup>-1</sup> (18,04%); mientras que, la mayor remoción presentó variación con respecto al tiempo de adsorción, para tiempos de 120 minutos removi6 en concentraciones de 60 mg.L<sup>-1</sup> (96,30%) y 100 mg.L<sup>-1</sup> (74,01%). Posteriormente, a los 180 minutos se redujo la concentración de colorantes de 60 mg.L<sup>-1</sup> (95,51%) y 260 mg.L<sup>-1</sup> (29,82%), permitiendo concluir que, a mayor concentración se necesita m6s tiempo de contacto entre el colorante y el hidrocarb6n.

En el estudio de Ardila et al. (2018) emple6 C6scara de Pi6a como adsorbente de colorantes, alcanzando porcentajes de remoci6n para distintos intervalos de tiempo de contacto (1, 3, 5, 7, 8, 16, 24 horas) y 50 mg.L<sup>-1</sup>, obteniendo como resultado que la remoci6n m6s baja se registr6 en 1 hora fue de 9%, mientras que la remoci6n m6s alta se observ6 en un tiempo de  $\geq 16$  horas (59%).

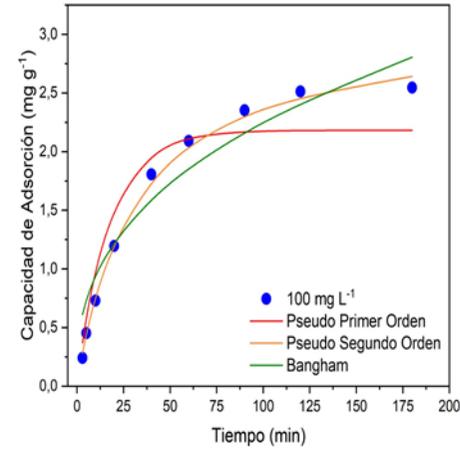
Ita y Lopéz (2020) destacan que la eficacia máxima en la remoción del colorante Synozol Red K-3BS mediante el uso de arcilla logra a los 40 minutos, un valor del 70,81%, 72,10% a los 50 minutos y finalmente alcanza un 72,43% a los 60 minutos, estos resultados indican que existe una relación directa entre el tiempo de contacto y el porcentaje de remoción, observándose un incremento proporcional a medida que se prolonga el tiempo de contacto.



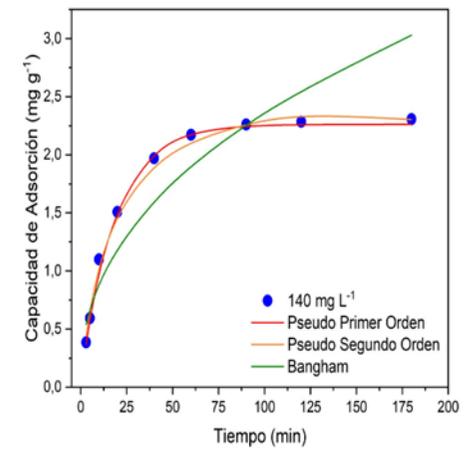
**Figura 4.7.** Adsorción de amarillo tartrazina a  $20 \text{ mg.L}^{-1}$



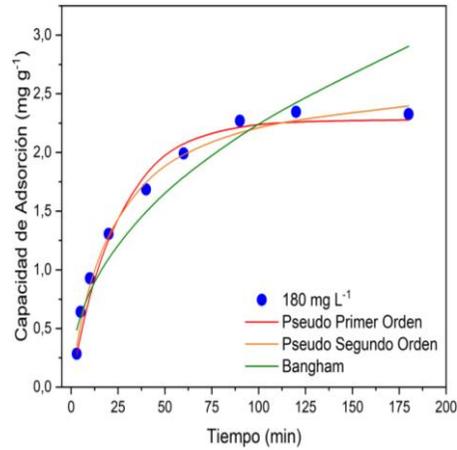
**Figura 4.8.** Adsorción de amarillo tartrazina a  $60 \text{ mg.L}^{-1}$



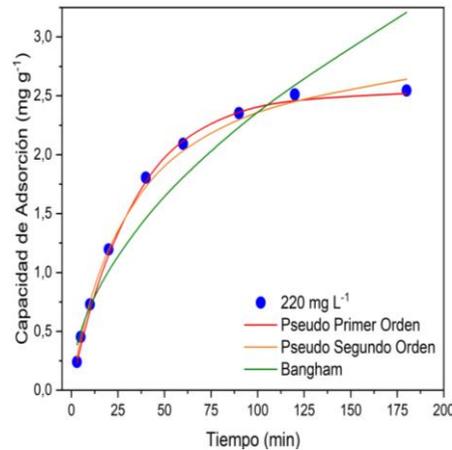
**Figura 4.9.** Adsorción de amarillo tartrazina a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$



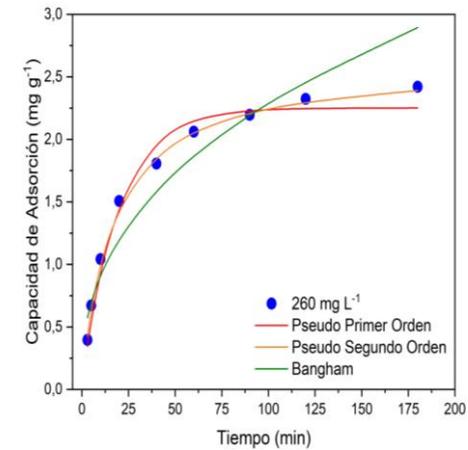
**Figura 4.10.** Adsorción de amarillo tartrazina a  $140 \text{ mg.L}^{-1}$



**Figura 4.11.** Adsorción de amarillo tartrazina a  $180 \text{ mg.L}^{-1}$



**Figura 4.12.** Adsorción de amarillo tartrazina a  $220 \text{ mg.L}^{-1}$



**Figura 4.13.** Adsorción de amarillo tartrazina a  $260 \text{ mg.L}^{-1}$

Con base a lo observado en las figuras 4.7 a 4.13 y en el Anexo 6 – A se determinó que el modelo de Pseudo Primer orden se ajusta a las partículas correspondientes a las concentraciones de 20 mg.L<sup>-1</sup> con un R<sup>2</sup> de 0,9638, a 140 mg.L<sup>-1</sup> con un R<sup>2</sup> de 0,9953 y a 220 mg.L<sup>-1</sup> con un R<sup>2</sup> de 0,9977; mientras que el modelo de Pseudo Segundo orden presentó una afinidad mayor con las partículas de las soluciones con concentraciones de 60 mg.L<sup>-1</sup> con un R<sup>2</sup> de 0,9954, de 100 mg.L<sup>-1</sup> con un R<sup>2</sup> de 0,9925, de 180 mg.L<sup>-1</sup> con un R<sup>2</sup> de 0,9911 y finalmente de 260 mg.L<sup>-1</sup> con un R<sup>2</sup> de 0,9977.

Los puntos de equilibrio de adsorción para cada concentración se presentan en la tabla 4.12.

**Tabla 4.12.** Puntos de equilibrio de adsorción de colorante amarillo tartrazina en varias concentraciones

Co (mg.L <sup>-1</sup> )	20	60	100	140	180	220	260
<b>Modelo aplicado</b>							
<b>Pseudo Primer orden</b>							
Q <sub>e</sub> , exp	0,6159	1,8478	2,2084	2,2609	2,2703	2,5119	2,3244
Q <sub>e</sub> , Calc	0,6139	1,8339	2,1737	2,2510	2,2303	2,4726	2,2486
K	0,1261	0,0618	0,0619	0,0587	0,0428	0,0318	0,0553
R	0,9817	0,9934	0,9923	0,9976	0,9880	0,9988	0,9871
R <sup>2</sup>	0,9638	0,9868	0,9846	0,9953	0,9761	0,9977	0,9744
<b>Pseudo Segundo orden</b>							
Q <sub>e</sub> , exp	0,6159	1,8478	2,2084	2,2609	2,2703	2,5119	2,3244
Q <sub>e</sub> , Calc	0,6375	1,8243	2,1597	2,2345	2,1807	2,4665	2,3013
K	0,2456	0,0365	0,0316	0,0251	0,0191	0,0109	0,0253
R	0,9692	0,9977	0,9963	0,9976	0,9955	0,9984	0,9988
R <sup>2</sup>	0,9394	0,9954	0,9925	0,9953	0,9911	0,9968	0,9977
<b>Bangham</b>							
Q <sub>e</sub> , exp	0,7087	1,8450	2,1680	2,1493	2,1493	2,6030	2,4660
K	0,0010	0,0007	0,0006	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002
A	0,3083	0,3960	0,3736	0,4216	0,4358	0,5168	0,3954
R	0,8308	0,9482	0,9633	0,9461	0,9500	0,9669	0,9586
R <sup>2</sup>	0,6903	0,8992	0,9279	0,8951	0,9025	0,9349	0,9188

En el estudio de Bejarano et al. (2020) referente a la adsorción de colorantes mediante el uso arcillas, destacan que el modelo cinético Pseudo Segundo orden se ajustó de manera óptima a los datos experimentales, exhibiendo un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) superior a 0,99 y evidencian que a una concentración de 80 mg.g<sup>-1</sup> y con una cantidad de arcilla de 0,05 g, se logra la máxima capacidad de

adsorción para el colorante, alcanzando valores de  $5,90 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $5,27 \text{ mg.g}^{-1}$  y  $5,47 \text{ mg.g}^{-1}$ .

La capacidad máxima de adsorción del colorante, se detalla junto a la aplicación de los modelos de Langmuir, Freundlich y Sips en la Tabla 4.14.

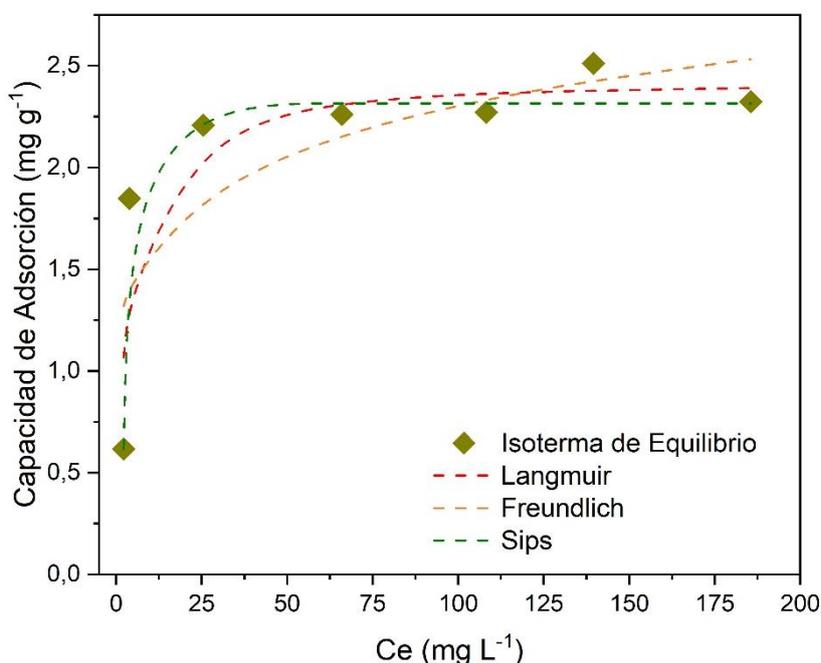
**Tabla 4.13.** Datos de equilibrio del colorante amarillo tartrazina a diferentes concentraciones

25°C				
Concentración de Referencia; $\text{mg.L}^{-1}$	Concentración Inicial $C_0$ ; $\text{mg.L}^{-1}$	Tiempo; minutos	Concentración de Equilibrio; $\text{mg.L}^{-1}$	Capacidad de Adsorción $Q_e$ ; $\text{mg.g}^{-1}$
20	21,95	120	2,24	0,6159375
60	62,97	90	3,84	1,8478125
100	96,11	90	25,44	2,2084375
140	138,39	90	66,04	2,2609375
180	180,85	90	108,2	2,2703125
220	219,93	120	139,55	2,511875
260	259,93	120	185,55	2,324375

**Tabla 4.14.** Resultados de aplicación de modelos de equilibrio

Modelo	Hidrocarbón de tusa de maíz/ Amarillo Tartrazina
<b>Langmuir</b>	
$Q_m$	2,426966
$K_L$	0,349689
$R_L$	0,1250972631
$R^2$	0,820419293
<b>Freundlich</b>	
$K_F$	1,168823
$n$	6,756765
$R^2$	0,66471409
<b>Sips</b>	
$Q_s$	2,31524
$K_s$	0,010169
$n$	0,225659
$R^2$	0,977883654

Posterior a ello, se procedió a graficar en *OriginPro 2017* las isotermas de adsorción como se muestra en la gráfica 4.14.



**Figura 4.14.** Isotermas de adsorción

De acuerdo con la representación de la gráfica 4.14 y los datos detallados en la Tabla 4.14, los modelos que demostraron una mayor concordancia con los datos experimentales y exhibieron un ajuste no lineal más preciso fueron los modelos de Sips y Langmuir, constatados por los valores del coeficiente de determinación  $R^2$ .

En relación con el modelo de Langmuir, se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,8204, indicando una sólida correlación. Respecto al valor de  $Q_m$  que fue de 2,426966  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  según este modelo, su proximidad al valor de  $Q_{e, \text{exp}}$  (2,2703125  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) observado en el análisis cinético que alcanza el equilibrio, confirma una concordancia entre ambos. Según Figueroa et al. (2015)  $q_m$  representa la capacidad teórica máxima de adsorción alcanzada cuando la superficie del adsorbente está totalmente cubierta por moléculas de adsorbato, y facilita la comparación del rendimiento de la adsorción.

De la misma manera en la constante  $K_L$  misma que está relacionada con la afinidad entre el adsorbato y el adsorbente, se obtuvo como resultado un valor de 0,349689  $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$ , deduciendo que esta afinidad es positiva, ya que este valor influye en el

factor adimensional  $R_L$  (0,125) derivado del ajuste no lineal, mismo que se encuentra situado en el intervalo  $0 < R_L < 1$ , el cual indica que el proceso es favorable. Zambrano (2016) en su investigación mediante la aplicación ceniza de cáscara de arroz y del colorante Azul 19 reportó un valor de  $K_L$  de  $0,022740 \text{ L.mg}^{-1}$  y un valor  $R_L$  (0,68) siendo este de igual manera favorable, ya que este también se encuentra comprendido en el intervalo  $0 < R_L < 1$ .

Finalmente, el modelo de Sips presentó una alta correlación  $R^2$  (0,977), determinando que este modelo fue el que mejor ajuste obtuvo a los datos experimentales, de la misma manera los valores del parámetro de la constante  $n$  (0,225) fueron  $< 1$ , es decir que se distanciaron significativamente de la unidad, por lo tanto, este resultado mostró que el sistema es heterogéneo. Zambrano (2018) en su investigación presenta resultados congruentes, evidenciados por coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0,98 en el colorante Amarillo Tartrazina, de la misma manera los valores de la constante  $n$  fueron  $< 1$ , por ende, la sorción en este contexto exhibe heterogeneidad siendo una isoterma favorable al ser menor a 1.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

La tusa de maíz experimentó una reducción del 50% en su cantidad después de ser sometida a carbonización hidrotermal, el tamizado del hidrocarbón reveló heterogeneidad en el tamaño de las partículas en la muestra analizada, y solo el 33% mostró un diámetro homogéneo. Se observó un cambio en la carga eléctrica del adsorbente a un pH cercano a 8, proporcionando información sobre la interacción adsorbato-adsorbente, y el análisis FTIR indicó que la tusa de maíz es lignocelulósica, con presencia de grupos carboxílicos, aromáticos y alcoholes, denotando su naturaleza orgánica.

La visibilidad del espectro de adsorción del colorante amarillo tartrazina depende de la transición de los grupos cromóforos. El método analítico mostró una alta correlación ( $R^2 = 0,99$ ); la acidez de las soluciones afecta la remoción del colorante, siendo más eficiente a pH 2 (75,24%) y menos a pH 10 (2,22%) debido a las cargas positivas en el adsorbente en entornos ácidos, contribuyeron a una mayor eficiencia de adsorción.

El tiempo de contacto del adsorbente influyó en la eficiencia de remoción, alcanzando su punto máximo a los 120-180 minutos. El comportamiento de las partículas del colorante tuvo mejor ajuste en los modelos de Pseudo Primer Orden (220 mg. L<sup>-1</sup>) con un  $R^2$  0,9977 y Pseudo Segundo Orden (260 mg. L<sup>-1</sup>) con un  $R^2$  de 0,9976. Las concentraciones estudiadas alcanzaron el equilibrio de adsorción entre 90 a 120 minutos de agitación, siendo el modelo de Sips ( $R^2$  0,977) el que mejor se ajustó, indicando la complejidad de la interacción entre el colorante y la tusa de maíz.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios detallados para determinar el tiempo óptimo necesario para alcanzar la máxima capacidad de adsorción en diferentes concentraciones del colorante.
- Controlar el pH del adsorbato, con el fin de facilitar el proceso de remoción de los contaminantes presentes en las soluciones acuosas o medios líquidos sometidos al proceso de adsorción.
- Investigar otras variables aparte de las diferentes condiciones de pH y dosis del adsorbente, que puedan influir en el proceso de adsorción, como la temperatura y la presencia de otros contaminantes en el medio acuoso.
- Realizar análisis más detallados de las características fisicoquímicas del hidrocarbón de tusa de maíz, especialmente aquellas que puedan afectar la capacidad de adsorción, como la morfología superficial, la porosidad, y la presencia de grupos funcionales.
- Realizar un análisis de viabilidad económica y ambiental para evaluar la implementación de este método de remoción de colorantes a nivel industrial, además realizar pruebas a escala piloto.
- Ampliar la investigación para incluir otros colorantes y contaminantes comunes en aguas residuales, evaluando la capacidad de adsorción del hidrocarbón de tusa de maíz en situaciones más diversas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E., Piñero, P., Infante, J., González, M., Lassaletta, L. y Sanz, A. (2020). *Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España*. Real Academia de Ingeniería. [https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Sanz-Cobena/publication/344774813\\_Emisiones\\_de\\_gases\\_de\\_efecto\\_invernadero\\_en\\_el\\_sistema\\_agroalimentario\\_y\\_huella\\_de\\_carbono\\_de\\_la\\_alimentacion\\_en\\_Espana/links/5f93f1d592851c14bce1ad50/Emisiones-de-gases-de-efe](https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Sanz-Cobena/publication/344774813_Emisiones_de_gases_de_efecto_invernadero_en_el_sistema_agroalimentario_y_huella_de_carbono_de_la_alimentacion_en_Espana/links/5f93f1d592851c14bce1ad50/Emisiones-de-gases-de-efe)
- Alarcón, M. (2019). *Efecto del plasma de descarga luminiscente en la capacidad de adsorción del colorante amarillo no. 5 mediante perlas de quitosano-tripolifosfato de sodio*. Instituto Tecnológico de Toluca : <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/4027/1/Tesis%20maestr%20>
- Albis, A., Romero, E. y Vesga, J. (2022). Removal of dyes brilliant blue and methyl violet from aqueous solution using cassava peel (*Manihot esculenta*) modified with phosphoric acid. *Ingeniería y competitividad*, 24(2), 2-18. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i2.11545>
- Alcívar, L., Cadena, D., Salinas, J., Goyes, M. y Santana, D. (2016). Dosis y épocas de aplicación de Nicosulfuron en el Cultivo de Maíz en la Localidad de Babahoyo, Ecuador. *European Scientific Journal*, 12(33), 290-298. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n33p290>
- Álvarez, A., Blanco, V. y Benavente, M. (2020). Estudio comparativo de la adsorción de aluminio de disoluciones acuosas usando quitosano y cascarilla de arroz. *Ciencia y Tecnología*, 36(2), 21-29. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/45496/45647>
- Amaringo, F. y Hormaza, A. (2013). Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de

- colorantes. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 27-36.  
<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344979>
- Andrade, C. (julio de 2018). *Remoción de oxitetraciclina presente en soluciones acuosas usando cenizas de cáscara de arroz*. Repositório Institucional de Informação Científica do Instituto Politécnico de Leiria: [https://iconline.iplleiria.pt/bitstream/10400.8/3555/1/Trabalho%2bfinal%2bde%2bcurso\\_Christhel%2bD%c3%adaz.pdf](https://iconline.iplleiria.pt/bitstream/10400.8/3555/1/Trabalho%2bfinal%2bde%2bcurso_Christhel%2bD%c3%adaz.pdf)
- Aranda, M. y Valladares, M. (2018). Remoción de colorantes en agua aplicando materiales de origen natural como adsorbentes. *Revista Latinoamericana El Ambiente y las Ciencias*, 9(21), 563-575.  
<https://rlac.buap.mx/sites/default/files/9%2821%29-39.pdf>
- Aranda, M., Valladares, M. y Romero, R. (2019). Aplicación de adsorbentes de origen vegetal en la remoción de colorantes en agua. *Inventio*(37).  
<https://doi.org/10.30973/inventio/2019.15.37/7>
- Araujo, L., Tapia, W. y Villamarín, A. (2020). Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao*). *La granja*, 31(1), 56-70. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.04>
- Ardila, C., Palacio, Á. y Barrera, R. (2018). Cáscara de Piña como Adsorbente de Colorantes Típicos de la Industria Textil. *Ciencia en Desarrollo*, 9(2).  
[https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia\\_en\\_desarrollo/article/download/7689/7268/26047](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/download/7689/7268/26047)
- Arias, K., Ballesteros, M., Martínez, K. y Poveda, E. (2018). Los colorantes: el lado oscuro de los alimentos. Una propuesta de enseñanza desde el modelo por investigación dirigida. *Investigación PPDQ*(57), 7-14.  
<https://doi.org/10.17227/PPDQ.2018.num57.10078>
- Arjona, A., Canal, J. y García, J. (2016). Reutilización de un residuo agrícola como bioadsorbente para la eliminación de colorantes catiónicos de las aguas

residuales de tintura Award-winning. *Revista de Química e Industria Textil*, 29-35. <http://hdl.handle.net/2117/90275>

Arrázola, G., Villalba, M. y Rodríguez, A. (2021). *Pigmentos y antioxidantes de origen vegetal*. Fondo Editorial Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/4720/PIGMENTOS%20VEGETALES%20Y%20OTROS%20COMPUESTOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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

Bañón, H. (2018). *Diseño de un sistema de adsorción en carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente en disolución acuosa*. RiuNet repositorio UPV Universitat Politècnica de València: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/97746/BA%C3%91%C3%93N%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20adsorci%C3%B3n%20en%20carb%C3%B3n%20activado%20para%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20cromo%20hexaval....pdf?sequence=1>

Baquerizo, M., Acuña, M. y Solis, C. (2019). Contaminación de los ríos: caso río Guayas y sus afluentes. *Manglar*, 16(1). <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/118/241>

Barz, M., Delivand, M. y Dinkler, K. (2019). Residuos agrícolas, una fuente prometedora para la producción de biogás en los países en desarrollo de las regiones tropicales y subtropicales. *Forestal Mesoamericana Kurú*, 16(38), 02-12. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i38.3991>

Bautista, A. y Pabón, C. (2019). Identificación de saborizantes empleados en productos dirigidos a la población infantil. *Infometric@*, 2(2), 40-46. <http://infometrica.org/index.php/syh/article/view/115/155>

- Bejarano, M., Estrella, A., Marquez, C., Ríos, A. y Rodríguez, M. (2020). Estudio de la adsorción de los colorantes Drimaren Amarillo CL-2R y Basic Azul Marino 2 RN en arcillas activadas. *Novasinerгия*, 3(2), 93-107. <https://doi.org/10.37135/ns.01.06.08>
- Bravo, E. y Bonilla, F. (17 de febrero de 2020). *Monitoreo del maíz en Manabí*. Acción Ecológica: <https://www.accionecologica.org/wp-content/uploads/Monitoreo-del-mai%CC%81z-en-Manabi%CC%81.pdf>
- Broche, M., Rodríguez, I., Coca, Y. y Calero, M. (2018). Caracterización de los residuos agrícolas de sorgo para su uso como material biosorbente de colorantes. *Centro Azúcar*, 45(4), 64-75. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v45n4/caz07418.pdf>
- Buera, M. y Santagapia, P. (2016). *Aprovechamiento de subproductos y valorización de recursos autóctonos: interrelación investigación-producción-desarrollo y sociedad* (Primera ed.). Red Temática 415RT0495 LACFUN. <https://www.cytcd.org/sites/default/files/Aprovechamiento%20de%20subproductos%20y%20valorizacion%20%20de%20recursos%20autoctonos-%20interrelacion%20%20investigacion%20-%20produccion%20-%20desarrollo%20y%20sociedad.pdf>
- Burgos, R., Argüelles, V. y Palacios, R. (2021). Etapas del método estadístico. *Ciencia Huasteca*, 9(17), 35-36. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/huejutla/article/download/6703/7598/>
- Camacaro, J., Gómez, J., Jiménez, M., Vega, C. y Manganiello, L. (2018). Un colorante liposoluble de semillas de Onoto (Bixa Orellana L.) como insumo para la industria alimentaria. *Revista INGENIERÍA UC*, 25(2), 291-306. <https://www.redalyc.org/journal/707/70757669017/70757669017.pdf>
- Cañedo, R., Barragán, M., Branly, O. y Juárez, O. (2015). Calidad de vida y ambiente: desechos sólidos y bienestar en tres escuelas de la cuenca alta

del río Sabana, Acapulco, Guerrero, México. *Población y Salud en Mesoamérica*, 12(2). <https://www.scielo.sa.cr/pdf/psm/v12n2/a03v12n2.pdf>

Carrasquero, S., Martínez, M. F., Castro, M. G., López, Y., Díaz, A. y Colina, G. (2019). Remoción de turbidez usando semillas de tamarindus indica como coagulante en la potabilización de aguas. *Bases de la Ciencia*, 4(1), 19-44. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/download/1424/1826>

Castellar, G., Cely, M., Cardozo, B., Edgardo Angulo y Plaza, M. (2019). Adsorción del colorante azul directo 2 sobre borra de café en una columna de lecho fijo a escala de laboratorio. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 531-541. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.971>

Castellar, G., Mendoza, E., Angulo, E., Zilema, P., Rosso, M. y Jaramillo, J. (2019). Equilibrio, cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB-86 sobre carbón activado de la cáscara de yuca. *Revista MVZ*, 24(2). <https://doi.org/10.21897/rmvz.1700>

Castelló, L. (julio de 2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de colorantes presentes en disolución acuosa*. RiuNet repositorio UPV Universitat Politècnica de València: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/93468/CASTELL%C3%93%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20adsorci%C3%B3n%20para%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20colorantes%20presentes%20en%20disol....pdf?sequence=1>

Castillo, A., Criollo, E. y Oñate, M. (2020). Diseño e implementación de una PTAR por lodos activos a escala de laboratorio, Facultad de Ciencias Espoch. *Ciencia digital*, 4(1), 385-406. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1119>

- Caviedes, M., Carvajal, F. y Zambrano, J. (2022). Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1>
- Cerrón, A. y Unterlass, M. (2018). Síntesis ecoamigable de los colorantes. *Revista de química PUCP*, 32(1), 18-31. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/20342/20288>
- Chaparro, J., Mostazo, M., Salinas, D., Morallón, E. y Cazorla, D. (2020). Residuos de biomasa como plataforma para obtener materiales carbonosos porosos mediante carbonización hidrotermal en presencia de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Grupo español del carbón [GECARBÓN](55)*, 24-27. [https://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC\\_055-art04.pdf](https://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC_055-art04.pdf)
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A. y Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq08218.pdf>
- Corporación Financiera Nacional [CFN]. (Mayo de 2021). *Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca*. Cultivo de Maíz: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-2-trimestre/Ficha-Sectorial-Maiz.pdf>
- Corrales, L. y Caycedo, L. (2020). Principios fisicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología. *Nova*, 18(33), 73-100. <https://doi.org/10.22490/24629448.3701>
- Cremona, M. y Enriquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia(73)*, 5-8. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/209253/CONICET\\_Digital\\_Nro.098b0587-3a5b-412f-a386-de286bd8fde0\\_L.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/209253/CONICET_Digital_Nro.098b0587-3a5b-412f-a386-de286bd8fde0_L.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Crespo, A. (22 de junio de 2022). *Desarrollo de un colorante y saborizante de Rubus glaucus por maceración en frío para su posterior análisis fitoquímico, de*

*estabilidad y sensorial*. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca:  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/34529/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n%20%282%29.pdf>

Cuesta, E. y Nieto, A. (2022). *Evaluación de la Capacidad de Adsorción de Arcillas Naturales Mediante Cinética e Isotermas de Adsorción en la Remoción de Colorantes*. Repositorio Digital UNACH:  
[http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9876/3/Cuesta\\_Erick\\_Nieto\\_Andres\\_Adsorci%C3%B3n%20de%20colorantes.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9876/3/Cuesta_Erick_Nieto_Andres_Adsorci%C3%B3n%20de%20colorantes.pdf)

Cuevas, R. (2021). Obtención y análisis de expresiones de cinética química. II. Optimización y evaluación de parámetros cinéticos para catalizadores. *Mundo Nano*, 14(26).  
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.26.69639>

Daza, S. y Parra, G. (2021). Espectroscopia de infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR) para análisis de muestras de harina de trigo, fécula de maíz y almidón de yuca. *@alimentech Ciencia y tecnología alimentaria*, 19(1), 5-16.  
<https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/alimen/article/view/1407/1577>

Del Carpio, C. (2021). Colorantes naturales antociánicos extraídos de frutos de *Berberis humbertiana* y *Berberis boliviana* para su uso en yogures. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(4), 321-331.  
<https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.358>

Demonte, F. (2017). Comer para vivir ¿mejor? Análisis de las representaciones sociales sobre la alimentación y su vinculación con la salud/enfermedad en la prensa gráfica argentina (2009-2014)1. *Estudios sobre el Mensaje Periodístico*, 2(2), 1071-187. <https://doi.org/10.5209/ESMP.58033>

Dey, R., Linares, G., Munguía, R. y Chávez, E. (2019). Construcción y Validación de un Instrumento para Evaluar el Consumo de Alimentos con Rojo Allura.

*Información tecnológica*, 30(3), 219-226. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300219>

Dobrosz, I., Gómez, M., Santa y Camilo. (2018). Optimización del Proceso de Adsorción de Cr(VI) sobre Carbón Activado de Origen Bituminoso. *Información Tecnológica*, 29(6), 43-56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600043>

Domínguez, L., Lagunes, L., Juan Barajas, Olán, M., García, R. y García, P. (2019). Caracterización vibracional de grupos funcionales en granos de cacao durante el tostado usando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier. *Acta universitaria*, 29, 1-17. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2172>

El Universo. (23 de mayo de 2022). *En Manabí se estima reducción en producción de maíz por altos costos de fertilizante e invierno irregular*. El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/en-manabi-se-estima-reduccion-en-produccion-de-maiz-por-altos-costos-de-fertilizante-e-invierno-irregular-nota/>

Ensuncho, A., Milanés, N. y Robles, J. (2015). Remoción del Colorante Rojo Allura en Solución Acuosa utilizando Carbones Activados obtenidos de Desechos Agrícolas. *Información tecnológica*, 26(2), 69-78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200009>

Ensuncho, A., Robles, J. y Carriazo, J. (2015). Adsorción del colorante amarillo anaranjado en solución acuosa utilizando carbones activados obtenidos a partir de desechos agrícolas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(2), 135-147. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n2/a06v81n2.pdf>

Figuroa, D., Moreno, A. y Hormaza, A. (2015). Modelos de equilibrio, termodinámicos y cinéticos para la adsorción de rojo 40 en mazorca de maíz. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 105-120. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n26a7>

- Flores, N., Solanche, M., Gómez, R. y García, B. (2015). Estudio de adsorción competitiva de cobre y zinc en solución acuosa utilizando Q/PVA/EGDE. *Ingeniería Química*, 14(3), 801-811. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v14n3/v14n3a22.pdf>
- Fonseca, S., Rodríguez, H. y Camargo, G. (Abril de 2017). Caracterización de residuos de maíz del municipio de Ventaquemada, Colombia. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(2), 29-36. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323652282004.pdf>
- Gallo, M., Rodríguez, I. y Prieto, J. (2017). Influencia del pH y la temperatura en la adsorción de fenol en agua utilizando ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Afinidad*, 74, 176-179. <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/328472/419069>
- García, C., Felipe, A., Naessens, T., Foubert, K., Delgado, R., Mora, C. y Martínez, V. (2018). Validation of an analytical method by HPLC applicable to the Cuban Mangiferin. *Ars Pharmaceutica*, 59(4), 227-233. <https://doi.org/10.30827/ars.v59i4.7430>
- García, J., Mijangos, M., Barceló, I., Solís, H. y Osornio, L. (2019). Influencia de la dosificación de dos adsorbentes en la remoción de Cd (II) en solución acuosa. *Azcapotzalco*, 5(5), 160-165. [http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7814/Influencia\\_de\\_la\\_dosificacion\\_de\\_dos\\_adsorbentes\\_2019.pdf?sequence=1](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7814/Influencia_de_la_dosificacion_de_dos_adsorbentes_2019.pdf?sequence=1)
- García, K., Sánchez, C., Salazar, J., Flores, J. y Santana, A. (2020). Adsorción de colorantes provenientes de los residuos acuosos de la industria textil con hidróxidos dobles laminares de MgFeAl. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*(6), 1-6. [http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7766/Adsorcion\\_de\\_colorantes\\_2020.pdf?sequence=1](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7766/Adsorcion_de_colorantes_2020.pdf?sequence=1)

- García, N., Villanueva, P., Campos, E. y Velázquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 14(1), 109-129. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894007.pdf>
- Garzón, J., Rodríguez, J. y Hernández, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su. *Universidad y Salud*, 19(2), 309-318. <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n2/0124-7107-reus-19-02-00309.pdf>
- Giler, J., Zambrano, L., Quiroz, L., Napoleón, D. S., Simões, N. y Rodríguez, J. (2020). Degradación de Oxitetraciclina en Soluciones Acuosa Aplicación de Procesos Oxidativos Avanzados Homogéneos y Heterogéneos. *Sostenibilidad*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/su12218807>
- Gobierno Nacional de la República del Ecuador. (20 de octubre de 2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Ministerio de Defensa Nacional del Ecuador: [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- González, I., Muga, I., Rodríguez, J. y Blanco, M. (2018). Contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas y efluentes hospitalarios caracterización, rendimientos de eliminación en EDAR y estimación de la incidencia del vertido hospitalario en la EDAR de Galindo. *Tecnoagua*(29), 1-14. [https://www.researchgate.net/profile/Miren-Blanco/publication/334112683\\_Contaminantes\\_emergentes\\_en\\_aguas\\_residuales\\_urbanas\\_y\\_efluentes\\_hospitalarios\\_Caracterizacion\\_rendimientos\\_de Eliminacion\\_en\\_EDAR\\_y\\_estimacion\\_de\\_la\\_incidencia\\_del\\_vertido\\_hospitalar](https://www.researchgate.net/profile/Miren-Blanco/publication/334112683_Contaminantes_emergentes_en_aguas_residuales_urbanas_y_efluentes_hospitalarios_Caracterizacion_rendimientos_de Eliminacion_en_EDAR_y_estimacion_de_la_incidencia_del_vertido_hospitalar)
- Guachi, P. (2019). *Obtención de carbón mediante Carbonización Hidrotermal utilizando bagazo de caña*. Repositorio digital de la Universidad central del Ecuador [UCE]: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17962/1/T-UCE-0017-IQU-031.pdf>

- Guzmán, J. y Zapata, J. (2018). Propiedades Termodinámicas e Isotermas de sorción de sales con interés Alimentario. *Información Tecnológica*, 29(3), 105-120. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300105>
- Haider, Z., Al-Qaim, F., Yuzir, A. y Shameli, K. (2022). Photocatalytic Removal of Malachite Green and Brilliant Blue Dyes from its Aqueous Solution: A Case Study of Factorial Experimental Design. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 66(4), 247-255. <https://doi.org/https://doi.org/10.29356/jmcs.v65i2.1356>
- Hernández, M., Peña, F. y Gonzáles, L. (2016). Análisis del proceso de beneficio del ceno carbonatado. *Tecnología Química*, 36(5), 53-66. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v36n1/rtq05116.pdf>
- Hernández, N., Bejarano, S., Mena, N. y Machuca, F. (2019). Tratamiento de aguas residuales provenientes de estaciones de gasolina mediante ozonización catalítica. *Ingeniería y competitividad*, 21(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v20i1.7652>
- 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), 7-118. <https://doi.org/10.14482/inde.36.1.10941>
- Holguín, B. y Alvarado, A. (2017). Análisis situacional del sector agrícola ecuatoriano bajo la influencia de los precios del petróleo. *OIDLES-Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social* (23). <http://hdl.handle.net/20.500.11763/oidles23sector-agricola-ecuador>
- 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*. Repositorio Universidad Católica de Santa María: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/6060/65.1553.FB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ita, Y. y Lopéz, D. (2020). *Evaluación de la capacidad de adsorción del colorante reactivo Synozol Red k-3bs utilizando como adsorbente una arcilla modificada térmicamente*. Repositorio Universidad Católica de Santa María: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/10110/42.0241.IB.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Jaime, J. y Vera, 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://doi.org/10.23850/22565035.2305>
- Kraser, R. y Hernández, S. (2020). Colorantes alimentarios y su relación con la salud: ¿cómo abordar esta problemática desde el estudio de las disoluciones? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(1). [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2020.v17.i1.1202](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1202)
- León, J., Pastor, M. y Hernández, I. (2017). Una evaluación crítica de la relación entre la industria alimentaria y la investigación en salud. *Gaceta Sanitaria*, 31(4), 320-323. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.10.012>
- López, M., Catellanos, O., Lango, F., Castañeda, M., Montoya, J., Sosa, C. y Ortiz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>
- López, P., Reinante, R., Grosso, N. R. y Olmedo, R. (2021). Tendencias en la percepción de los consumidores y adquirientes sobre los aditivos alimentarios. *Nexo Agropecuario*, 9(1), 45-51. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/33214/34236>
- Lucero, A. y Muñoz, A. (2020). Estabilidad y desempeño del colorante antocianico en yogur natural. *Fundación Universidad de América*, 13(1), 33-44. <https://doi.org/10.29097/23461098.306>

- Manivel, R. y Villagómez, J. (2019). Aditivos alimentarios: aspectos de regulación y seguridad. *Milenaria, Ciencia Y Arte*(14), 15-16. <http://www.milenaria.umich.mx/ojs/index.php/milenaria/article/view/31/22>
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la Química de los Colorantes Colección Divulgación Científica y Tecnológica* (Segunda ed.). Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19390/1/colorantes%20listo%20%2Bisbn.pdf>
- Martillo, J., Lesme, R., Martínez, A., Oliva, L. y Orozco, L. (2019). Estudios paramétricos de la gasificación de la tusa de maíz en gasificadores downdraft. *Tecnología Química*, 39(2). [https://www.redalyc.org/journal/4455/445559634014/html/#:~:text=Los%20resultados%20de%20los%20estudios,2%20\(4.50%2D20.00%20vol.](https://www.redalyc.org/journal/4455/445559634014/html/#:~:text=Los%20resultados%20de%20los%20estudios,2%20(4.50%2D20.00%20vol.)
- Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L. y Zafra, C. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
- Martins, A., Salla, M. y Bolanos, M. (2019). Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de productos de limpieza y desinfectantes por ozonización convencional y catalítica. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(2), 223-235. <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v27n2/0718-3305-ingeniare-27-02-00223.pdf>
- Martins, M., Ricardo, M., Aguiar, C., De Moura, A. y Bolaños, M. (2021). Influencia de los catalizadores en la ozonización de agua residual sintética. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 337, 201-209. <https://doi.org/10.20937/RICA.53786>
- Mejía, A., Cabrera, M. y Carrillo, Y. (2017). Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de

laboratorio. *La Granja*, 26(2), 72-83.  
<https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.07>

Merinas, I. (2020). *Papel de aditivos alimentarios en la modulación de procesos degenerativos: estudios in vivo e in vitro*. Helvia :: Repositorio Institucional de la Universidad de Córdoba: <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/21004/2021000002174.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (12 de abril de 2017). *Código Orgánico De Ambiente (COA)*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE] Gobierno Nacional del Ecuador: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)

Mostacero, J., Mendoza, R., Seijas, P., Taramona, L., Cruz, A. D. y Gonzales, C. (2020). Efecto citotóxico del colorante alimentario rojo 40 en nauplios de *Artemia salina* Leach. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 7(2), 60-66.  
<https://doi.org/10.36955/RIULCB.2020v7n2.006Jobryl990>

Naciones Unidas . (diciembre de 2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Repositorio digital Comisión Económica para América Latina y el Caribe: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)

Napoleão, D. C. (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.

Navia, D., Ayala, A. y Villada, H. (2013). Determinación de isotermas de adsorción de agua en biocompuestos de harina termoplástica y fique. *Biotecnología en*

*el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 144-153.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a18.pdf>

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(4412). <https://doi.org/10.3390/su15054412>

Nicolao, J. y Zárate, C. (2018). Una revisión actual de los envases para la industria alimentaria. *Fundación Universidad de América*, 11(2), 95-108.  
<https://doi.org/10.29097/2011-639X.230>

Ochoa, D., Armas, R. y Pereira, C. (2022). Manufacturas y crecimiento económico en Ecuador bajo una perspectiva regional. Un modelo de panel dinámico, 2007 -2020. *Económica*, 10(1), 31-44.  
<https://doi.org/10.54753/rve.v10i1.1290>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]; Organización Mundial del Comercio [OMC]. (2018). *Comercio y normas alimentarias*. FAO y OMC.  
<https://doi.org/https://www.fao.org/3/i7407es/I7407ES.pdf>

Ortega, A. y Sánchez, N. (Diciembre de 2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121-134. <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>

Ortega, A., Marín, D. y Castro, N. (2021). Problemas de la Generación, Disposición y Tratamiento de los Residuos Sólidos en el Municipio de Quibdó, Colombia. *Producción+Limpia*, 16(2), 179-196. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n2a9>

Osorio, M., Carrillo, W., Negrete, J., Loor, X. y Riera, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del conocimiento*(46), 228-245.  
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>

Páez, E. (28 de abril de 2021). *Evaluación de los colorantes orgánicos de las arvenses como recurso fitogenético para estructuración de celdas*

*fotovoltaicas*. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte :  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11085>

Palacio, Ó., Chávez, Á. y Velásquez, Y. (2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. *Tecnura*, 21(53), 96-106.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.3.a06>

Parraguez, S., Chunga, G., Flores, M. y Romero, R. (2017). *El estudio y la investigación documental: estrategias metodológicas y herramientas TIC*. Emdecosege S.A.  
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=v35KDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=investigaci%C3%B3n+documental+SCIELO&ots=zjdL\\_L1JYj&sig=81xn0GJXtipECS6ssL25tfHljzA#v=onepage&q=investigaci%C3%B3n%20documental%20SCIELO&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=v35KDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=investigaci%C3%B3n+documental+SCIELO&ots=zjdL_L1JYj&sig=81xn0GJXtipECS6ssL25tfHljzA#v=onepage&q=investigaci%C3%B3n%20documental%20SCIELO&f=false)

Patlán, F., Hernández, O., Alfaro, J., Hernández, J., Torres, I. y Corrales, A. (2021). Biosíntesis y potencial aplicación de pigmentos fúngicos. *XXVI Verano de Ciencia*, 10, 1-12.  
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/articulo/view/3372/2872>

Pereira, F., Cedeño, L., Romerosa, A. y Matamoros, M. (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de arroz. *Centro de investigaciones UTMACH*, 1(1), 767-777.  
<https://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/articulo/download/148/125>

Pérez, A., Díaz, J., Salamanca, K. y Rojas, L. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. *Revista de Salud Pública*, 18(2), 275-289.  
<https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>

- Pérez, J. y Lopera, I. (2016). Gestión humana de orientación analítica: un camino para la responsabilización. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 56(1), 101-113. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020160109>
- Pérez, K. (Octubre de 2021). *Coronta de maíz carbonizada hidrotermalmente como alternativa para adsorber cobre, cadmio y plomo en disolución*. Repositorio académico de la Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/183870/Coronta-de-ma%c3%adz-carbonizada-hidrotermalmente.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pino, M., Vergara, C., Rossier, F., Zamora, O., Sandoval, A., Almajano, M., . . . Pérez, R. (2022). *Colorantes y antioxidantes naturales en la industria de alimentos: tecnologías de extracción y materias primas dedicadas*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. [https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/148210/Colorantes%20y%20antioxidantes%20naturales%20en%20la%20industria%20de%20alimentos\\_BollNIA455.pdf?sequence=1#page=29](https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/148210/Colorantes%20y%20antioxidantes%20naturales%20en%20la%20industria%20de%20alimentos_BollNIA455.pdf?sequence=1#page=29)
- 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). <https://doi.org/10.22430/22565337.2265>
- Pinzón, I. (Agosto de 2019). *Influencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro al cambio climático en el cantón Shushufindi*. Repositorio Institucional del Organismo de la Comunidad Andina, CAN: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6871/1/T2964-MCCSD-Pinzon-Influencia.pdf>
- Prieto, B. (2017). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Cuadernos de Contabilidad*, 18(45), 1-27. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc18-46.umdi>

- Prieto, J., Rodríguez, E. y Mollineda, Á. (2016). Estudio de los mecanismos cinéticos y difusivos en la adsorción de Cu(II) en ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 43(4), 36-41. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612016000400004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000400004)
- Reinoso, J., Serrano, C. y Orellana, D. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, 35(2), 55-59. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/1723/1325>
- Robledo, V., Velázquez, M., José, M., Pimentel, J., Vallejo, A., López, M. y Venegas, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(2), 221-235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>
- Roca, A. (2021). *Estandarización del método de tamizado para establecer criterio de aceptación y/o rechazo en las materias primas para una línea de extruidos en la industria de alimentos*. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia: [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/22120/6/RocaSofia\\_2021\\_EstandarizacionMetodoTamizado.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/22120/6/RocaSofia_2021_EstandarizacionMetodoTamizado.pdf)
- Rocha-Miranda, A., Galindo-Rodríguez, S., Pérez-López, L. y Álvarez-Román, R. (2020). Remoción del colorante Rojo 40 con nanopartículas poliméricas: Desarrollo y validación de un método analítico por espectrofotometría UV-Visible para su cuantificación. *Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina*, 75-75. <https://rcfb.uanl.mx/index.php/rcfb/article/view/337/326>
- Rodríguez, A., Esparza, C. y Huacho, I. (2019). Obtención de antocianinas de la Brassica oleracea var. Capitata para el uso en alimentos. *Dominio de las ciencias*, 5(1), 652-666. <https://doi.org/10.23857/dc.v5i1.1067>

- Rodríguez, E. (2018). Identificación de prácticas en la gestión de la cadena de suministro sostenible para la industria alimenticia. *Pensamiento & Gestión*(45), 129-160. <https://doi.org/10.14482/pege.45.10554>
- Rodríguez, M. (2022). Cinética y Mecanismos de Adsorción de Plomo (II) Usando Zeolita Gis-NaP Obtenida a Partir de Residuos de Ladrillo. *Politécnica*, 50(2), 63-70. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n2.07>
- Rodríguez, M. y Barrera, C. (2020). *Procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de agua* (Primera ed.). Universidad Autónoma del Estado de México.  
[http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos\\_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR04YAgDt78RLc3Nh6ps5\\_NnP3O2tfzJK4clxqCHvtHNa-KeEV4bwlNPS-A](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR04YAgDt78RLc3Nh6ps5_NnP3O2tfzJK4clxqCHvtHNa-KeEV4bwlNPS-A)
- Rodríguez, R., Rivero, J. y Mendoza, J. (2021). Evaluación de colorantes sintéticos en bebidas comercializadas en la ciudad de Trujillo en el periodo 2018 - 2019. *Apha Centauri*, 2(3), 124-139. <https://doi.org/10.47422/ac.v2i3.46>
- Rojas, J. y Hormaza, A. (2016). Evaluación de la biodegradación del colorante azul brillante utilizando hongos de la podredumbre blanca y sus consorcios . *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 179-187. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/258/213>
- Romero, X., Labra, L. y Jiménez, R. (2022). Adaptación de cepas del género *Pseudomonas* provenientes de composta para la degradación de naproxeno sódico. *Universidad Iberoamericana Puebla*(25), 1-5. <https://hdl.handle.net/20.500.11777/5575>
- Rosales, C. (2019). Otro uso importante de los hongos. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(2), 82-90. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i2.4351>
- Ruíz, H. (2021). Evaluación de colorantes naturales en la elaboración de chorizo de pollo. *Reciencia*(2), 13-15.  
<http://revistas.esPOCH.edu.ec/index.php/reciena/issue/view/67/Reciena2021V2Final>

- Sánchez, J. (2018). Contaminantes emergentes en nuestros ecosistemas acuáticos: enemigos invisibles. *Ingeniería y Región*, 19. <https://doi.org/10.25054/22161325.1750>
- Santillán, F. y Maza, M. (2018). Remoción de colorantes azoicos rojo allura (rojo 40) mediante el uso de perlas de quitosano magnetizadas en medio acuoso. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(1), 18-26. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v84n1/a03v84n1.pdf>
- Santos, M. y García, T. (2018). Los experimentos en la investigación de estrategia: una mirada múltiple. *Estudios Gerenciales*, 34(147), 229-237. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2018.147.2591>
- Santos, R. (2022). Análisis de la capacidad adsorbente de residuos agroindustriales en la remoción de colorantes. *Portal de Investigaciones UJMD*, 1(1), 90-108. <https://investigacion.ujmd.edu.sv/index.php/investigacionesujmd/article/download/23/15>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (12 de diciembre de 2016). *Norma técnica ecuatoriana INEN-CODEX 192*. Servicio Ecuatoriano de Normalización: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen-codex\\_192.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen-codex_192.pdf)
- Skrie, V. y Orellana, J. (2018). Reacción adversa por aditivos alimentarios en un paciente pediátrico. *Revista alergia México*, 65(2), 187-191. <https://doi.org/0.29262/ram.v65i2.288>
- Socarras, J. y Pretelt, F. (2020). *Validación del método analítico para la determinación de nitritos en agua natural y potable, por espectrofotometría visible en el laboratorio de investigación y calidad ambiental del centro de comercio, industria y turismo del Sena, regional Córdoba*. Repositorio Digital de la Universidad de Córdoba : <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3041/PreteIt%20y%20Socarras..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sozoranga, H., Navarro, D. y Navarro, J. (2018). Importancia de obtener los certificados sanitarios en los productos alimenticios procesados para poder exportar desde Ecuador hacia países de la unión europea. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*(248), 1-16. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/importancia-certificados-sanitarios.html>
- Taylor, J. y Cihon, C. (2004). *Statistical Techniques for Data Analysis* (Segunda ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203492390>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortíz, A., Ortega-Toro, R., López-Génes, J. y Negrete-Palacio, A. (2021). Elimination of Cadmium (II) in aqueous solution using corn cob (*Zea mays*) in batch system: adsorption kinetics and equilibrium. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 20(2), 1059-1077. <https://pdfs.semanticscholar.org/d045/fb63a1ee03a5bb1c065d3c57bdcb2a767445.pdf>
- Téllez, C. (septiembre de 2019). *Aplicaciones de la espectroscopía infrarroja en el análisis de alimentos*. Depósito de Investigación de la Universidad de Sevilla: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/91690/T%c3%89LLEZ%20MESA%2c%20CLARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, F. y Pulgar, N. (2017). Evaluación de la estabilidad del pigmento natural obtenido a partir de mortiño (*Vaccinium myrtillus* L) Como colorante para la industria de alimentos. *Sathiri*, 12(1), 171-186. <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/81/116>
- 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. *Culcyt cultura, ciencia y tecnología*, 17(1), 1-10. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2020.1.2.1>
- Tramullas, J. (2020). Temas y métodos de investigación en Ciencia de la Información, 2000-2019. Revisión bibliográfica. *Profesional de la información*, 29(4), 1-18. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.jul.17>

- Trigo, M. y Aban, E. (2020). Validación del método analítico por cromatografía líquida de alta resolución para la cuantificación de conservantes en jugo de naranja. *Revista Con-Ciencia*, 8(2), 61-74. [http://www.scielo.org.bo/pdf/rcfb/v8n2/v8n2\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rcfb/v8n2/v8n2_a05.pdf)
- Unión Europea [UE]. (11 de noviembre de 2011). *Reglamento (UE) No 1129/2011 de la comisión de 11 de noviembre de 2011*. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado Madrid España: <https://www.boe.es/doue/2011/295/L00001-00177.pdf>
- Ureña, D. (Diciembre de 2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de contaminantes emergentes presentes en disolución acuosa*. Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/97809/URE%c3%91A%20-%20Dise%c3%b1o%20de%20un%20sistema%20de%20adsorci%c3%b3n%20para%20la%20eliminaci%c3%b3n%20de%20contaminantes%20emergentes%20present....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valenzuela, E., Pacheco, J. y Rivas, S. (2019). Modelado molecular de un ánodo de carbón activado como soporte de platino por medio de cálculos DFT. *Energía Química y Física*, 6(19), 31-38. <https://doi.org/10.35429/JCPE.2019.19.6.31.38>
- Vargas, Y. y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1). <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/3108/2874/>
- Vázquez, C., Moreno, B. y Cadena, D. (2021). Efectividad del uso de diatomeas en la filtración de bacterias de transmisión hídrica. *La Granja*, 36(2), 88-97. <https://doi.org/10.17163/lgr.n36.2022.07>
- Velásquez, W. (2022). *Compósitos quitosano-bentonita como material adsorbente para la remoción de un colorante aniónico azo en solución acuosa*. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81677/1075676027.2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Velázquez, G., Collado, R., Cruz, R., Velasco, A. y Rosales, J. (2019). Reacciones de hipersensibilidad a aditivos alimentarios. *Revista alergia México*, 66(3), 329-339. <https://doi.org/10.29262/ram.v66i3.613>

Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M. y Vázquez, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad*, 72(573), 43-49. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37110/1/documento.pdf>

Villota, M., Bonilla, M., Segura, J., Coba, R. y Brito, H. (2019). Colorantes naturales para uso alimenticio. *Ciencia Digital*, 3(24), 88-98. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.4.510>

Vinueza, B. (2020). *Composición química de residuos agroindustriales del maíz (Zea mays) (cáscara, pelusa, tusa y panca) utilizados en la alimentación de rumiantes*. Repositorio Digital UTEQ: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5324/1/T-UTEQ-0096.PDF>

Volonté, M. G. y Quiroga, P. (2013). *Análisis farmacéutico* (Primera ed.). Series: Libros de Cátedra.

Zambrano, L. (2016). *Evaluación del uso de residuos agroindustriales como material adsorbente de colorantes sintéticos en medio acuoso*. Repositorio Institucional UTM: <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*. Repositório Institucional de Informação Científica do Instituto Politécnico de Leiria:

<https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3473/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20IPL%20ESTM.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. Obtención de hidrocarbón de tusa de maíz

Anexo 1-A. Tusa de maíz en el reactor



Anexo 1- B. Reactor en la estufa



Anexo 1-C. Hidrocarbón de tusa de maíz

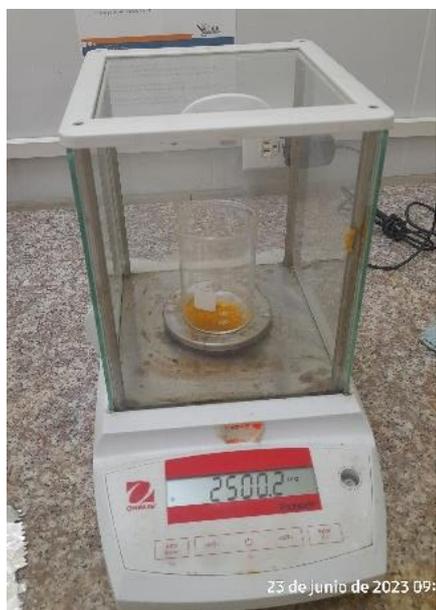


Anexo 1-D. Trituración, para la obtención del hidrocarbón



## Anexo 2. Preparación de solución madre del colorante

Anexo 2-A. Pesado del colorante



Anexo 2-B. Solución Madre



## Anexo 3. Preparación de muestras de colorante

Anexo 3-A. Ajuste de pH



Anexo 3-B. Solución preparada



## Anexo 4. Procesamiento de muestras

Anexo 4-A. Pesado de hidrocarbón



Anexo 4-B. Dosificación de muestras



Anexo 4-C. Muestras en proceso de agitación



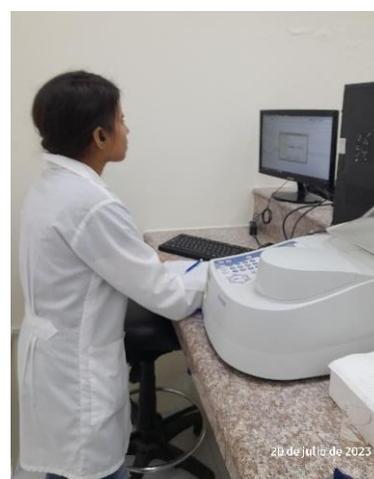
Anexo 4-D. Muestras filtradas



Anexo 4-E. Colocación de la muestra en el Espectrofotómetro



Anexo 4-F. Resultado de análisis



## Anexo 5. Preparación de concentraciones con resultado del pH2

Anexo 5-A. Preparación de la solución



Anexo 5-B. Soluciones acuosas a diferentes concentraciones









