

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN QUÍMICA COHORTE 2021

Tema: Estudio de la adsorción de azul de metileno mediante el (*Schoenoplectus californicus*) a través de una columna de lecho fijo

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel en
Química mención Química-Física

Modalidad de titulación “Proyectos de desarrollo”

Autor(a): Quím. Angy Lisbeth Estrada Aroca

Director(a): Dr. Jorge Efrén Silva Yumi PhD

Ambato – Ecuador

2023

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: *Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.*, e integrado por los señores: *Biofísica Rosa Maricela Ormaza Hugo M.Sc.* *Química Marcia Edivijes Buenaño Sánchez, Mg.*, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “elaborado y presentado por el(la) *señor(a) Quim. Angy Lisbeth Estrada Aroca* para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Química mención Físico Química; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal

Biofísica Rosa Maricela Ormaza Hugo M.Sc.

Miembro del Tribunal

Química Marcia Edivijes Buenaño Sánchez, Mg.,

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentada con el tema: Estudio de la adsorción de azul de metileno mediante el (*Schoenoplectus californicus*) a través de una columna de lecho fijo, le corresponde exclusivamente a: Quim. Angy Lisbeth Estrada Aroca, Autor(a) bajo la Dirección de, Dr. Jorge Efrén Silva Yumi PhD Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Quim. Angy Lisbeth Estrada Aroca

c.c.:0605407113

AUTOR(A)

Dr. Jorge Efrén Silva Yumi PhD

c.c.:0603045329

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Quim Angy Lisbeth Estrada Aroca
c.c.:0605407113

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN EJECUTIVO	x
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1 Introducción	12
1.2. Justificación	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. General.....	16
1.3.2. Específicos	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1 Totora (Schoenoplectus californicus)	17
2.2. Taxonomía.....	18
2.3. Composición química de la Totora	19
2.4. Usos y aplicaciones de la Totora.....	19
2.5. Hidrólisis alcalina.....	20
2.6 Azul de metileno.....	20

2.6.1.	Estructura química.....	20
2.6.2.	Especiación del azul de metileno.....	21
2.6.3.	Usos del azul de metileno.....	21
2.6.4.	Impacto ambiental y en la salud del azul de metileno.....	22
2.7.	Adsorción.....	22
2.8.	Adsorción de lecho fijo.....	23
2.9.	Curva de ruptura de absorción de lecho fijo.....	23
2.10.	Modelo de Thomas.....	23
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		25
3.1.	Tipo de investigación	25
3.2.	Población o muestra:	25
3.3.	Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender	25
3.4.	Recolección de información:.....	25
3.5.	Procesamiento de la información y análisis estadístico:	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		29
4.1.	Caracterización de la Totora modificada	29
4.1.1.	Análisis de la Microscopía de Barrido (SEM).....	29
4.1.2.	Análisis de Espectro Infrarrojo (IR)	30
4.2.	Análisis del material celulósico modificado combinado con el azul de metileno	31
4.2.1.	Cuantificación de la adsorción de azul de metileno por espectroscopía UV-VIS.....	31
4.2.2.	Análisis en el Espectro Infrarrojo (IR).....	32
4.2.3.	Análisis botánico Totora (Schoenoplectus californicus)	32
4.3.	Evaluación de la capacidad de adsorción	33
4.3.1.	Construcción y empaquetamiento de la columna de lecho fijo	33
4.3.2.	Análisis de la capacidad de adsorción por Método de Thomas	33

4.3.3.	Descripción del experimento de adsorción usando el modelo de Thomas	36
4.4.	Mecanismo de adsorción sobre las partículas de totora	46
4.5.	Mecanismo de adsorción de la Totora contrastando con la capacidad de adsorción de otros materiales.	47
4.6.	Análisis estadístico	48
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....		49
5.1.	Conclusiones	49
5.2.	Recomendaciones.....	49
5.3.	Bibliografía	50
5.4.	Anexos.....	56
CAPÍTULO VI: PROPUESTA		58
6.1.	Título.....	58
6.2.	Descripción	58
6.3.	Desarrollo de la propuesta.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Propiedades físicas de la Totora	18
Tabla 2. 2 Taxonomía de la planta totora	18
Tabla 3. 2. Variable independiente. –concentración de azul de metileno	27
Tabla 3. 3. Variable dependiente. –adsorción.....	28
Tabla 4. 1. Descripción de la variable concentración del azul de metileno en el tiempo para la primera concentración de 0.01 M para cada instante de tiempo.	34
Tabla 4. 2. Descripción de la variable concentración del azul de metileno en el tiempo para la primera concentración de 0.025 M para cada instante de tiempo.	35
Tabla 4. 3 Descripción de la variable concentración del azul de metileno en el tiempo para la primera concentración de 0.05 M para cada instante de tiempo.	35
Tabla 4. 4. Parámetros de la experimentación para la primera concentración.....	38
Tabla 4. 5. Parámetros de la experimentación para la segunda concentración.....	40
Tabla 4. 6. Parámetros de la experimentación para la tercera concentración	41
Tabla 4. 7. Tiempo de ruptura, capacidad de adsorción y constante de velocidad para las diferentes concentraciones.....	44
Tabla 4. 8. Valores de sensibilidad de las mediciones para cada concentración inicial según el tiempo de adsorción.	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Tatora (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.2: Estructura del azul de metileno.....	20
Figura 2. 3: Diagrama de especiación del azul de metileno	21
Figura 2. 4: Fenómeno de la adsorción	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. 5: Esquema de la columna de lecho fijo y curva de ruptura de contaminante en agua	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. 1: Imágenes SEM de las fibras (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	29
Figura 4. 2: Espectro FTIR Tatora- Tatora hidrolizada y Tatora + azul de metileno	30
Figura 4. 3: Curva de calibración de las soluciones.	31
Figura 4. 4: Barrido espectral del azul de metileno por espectrofotometría UV-VIS	31
Figura 4. 5: Muestras que ilustran el proceso de eliminación del azul de metileno expuesto a la tatora modificada en (0, 15, 30, 45 60, 75, 90) min.....	32
Figura 4. 5: Columna de lecho fijo.....	33
Figura 4. 7: Modelo lineal cinético de Thomas para la primera concentración.....	39
Figura 4. 8: Modelo lineal cinético de Thomas para la segunda concentración.....	40
Figura 4. 9: Modelo lineal cinético de Thomas para la tercera concentración.....	42
Figura 4. 10: Curvas de ruptura a partir del Modelo de Thomas y los datos de la fase de experimentación	43

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, que siempre me han apoyado en mis estudios y me han brindado su amor y consejo. También quiero agradecer a mi esposo, que ha sido mi compañero y mi motivación en este camino de la maestría. Sin su apoyo, comprensión y paciencia, no habría podido lograr esta meta. Gracias por creer en mí y por estar a mi lado.

DEDICATORIA

Quiero dedicarla a la persona que más me inspiró y apoyó en este camino: mi padre Roque Estrada. Aunque ya no está físicamente, sé que su espíritu y su amor siguen vivos en mi corazón. Él fue mi maestro, mi amigo y mi ejemplo. Siempre me animó a seguir mis sueños y a superar los obstáculos con valentía y humildad.

Gracias, papá, por todo lo que me diste y por creer en mí. Esta tesis es un homenaje a tu memoria y a tu legado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN QUÍMICA

COHORTE 2021

ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO MEDIANTE EL
(*SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS*) A TRAVÉS DE UNA COLUMNA DE
LECHO FIJO.

MODALIDAD DE TITULACIÓN: Proyectos de desarrollo

AUTOR: Quim. Angy Lisbeth Estrada Aroca

DIRECTOR: Dr. Jorge Efrén Silva Yumi PhD

FECHA: 27 de octubre de 2023

RESUMEN EJECUTIVO

La totora (*Schoenoplectus californicus*), es una planta acuática que se encuentra en humedales y lagunas, y que se ha destacado como material adsorbente eficaz. En este trabajo se evaluó el comportamiento de la totora como adsorbente mediante el uso del modelo matemático de Thomas y se comparó con otros bioadsorbentes, como la cáscara de arroz, la tripa de brotes de Palmira y los brotes de bambú, para la eliminación del azul de metileno, un tinte textil muy utilizado que es perjudicial para el medio ambiente y la salud humana. Los experimentos de adsorción en columnas de lecho fijo utilizando totora como adsorbente y la espectroscopía UV-VIS revelaron una elevada capacidad de adsorción en presencia de azul de metileno. La estructura fibrosa y porosa de la totora proporciona una gran superficie y múltiples sitios de adsorción, que facilitan la interacción con el colorante y su eliminación del agua. Los resultados obtenidos mostraron que, a medida que aumenta la concentración inicial de azul de metileno, también aumenta la capacidad de adsorción. La aplicación del modelo de Thomas para ajustar los datos experimentales mostró una correlación superior al 96.75%, lo que valida la capacidad del modelo para describir la adsorción

de azul de metileno por la totora. Este material natural y renovable ofrece ventajas adicionales, como su amplia disponibilidad, lo que contribuye a su viabilidad económica y sostenibilidad para aplicaciones a gran escala.

Palabras claves: *ADSORCIÓN, AZUL DE METILENO, COLUMNA DE LECHO, CONCENTRACIÓN, TOTORA.*

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

El azul de metileno es un colorante ampliamente utilizado en diversas industrias debido a su estabilidad y capacidad de teñir una amplia gama de materiales. Algunas de las principales industrias que utilizan el azul de metileno incluyen, la industria textil [1], en esta se usa para teñir fibras naturales y sintéticas, como algodón, lana, seda y poliéster. Proporciona una amplia gama de tonalidades azules y se utiliza tanto en procesos de teñido a gran escala como en la producción de tintas y pigmentos. En la industria farmacéutica, se utiliza como colorante en productos como tabletas y cápsulas, para mejorar su apariencia y facilitar su identificación. También se utiliza como materia prima de productos químicos de origen farmacéutico, como reactivos y agentes de tinción en laboratorios [2].

En la industria alimentaria, el azul de metileno se utiliza como aditivo alimentario para proporcionar color a ciertos productos. Se puede encontrar en alimentos como caramelos, bebidas carbonatadas, productos horneados y productos lácteos [3]. Este colorante también se usa en la industria cosmética y en la fabricación de productos de cuidado personal, como tintes para el cabello y maquillaje. Proporciona un color azul intenso y duradero en estos productos [4]. Sin embargo, su liberación descontrolada en el medio ambiente representa un problema significativo debido a su toxicidad y efectos perjudiciales tanto para la salud humana como para los ecosistemas acuáticos [5], [6]. La presencia de azul de metileno en depósitos o efluentes de agua ha despertado una creciente preocupación, lo que ha impulsado la búsqueda de soluciones efectivas para su eliminación.

Existen diversas técnicas utilizadas para eliminar los tinturantes de las aguas residuales y otros medios contaminados. Algunas de estas técnicas incluyen la adsorción, que implica la adhesión de los colorantes a una superficie sólida conocida como adsorbente; la coagulación y floculación, que consisten en la formación de agregados sólidos para atrapar los colorantes; la oxidación, que descompone los colorantes en compuestos más simples

utilizando agentes oxidantes; la fotocatalisis, que activa un catalizador mediante la radiación para descomponer los colorantes; y las tecnologías de membranas y filtración, que utilizan membranas semipermeables para separar los colorantes del agua. La elección de la técnica dependerá de varios factores y, a menudo, se requiere la combinación de varias técnicas para lograr una eliminación efectiva de los colorantes [7].

Este estudio tiene como tema principal investigar la capacidad de la totora (*Schoenoplectus californicus*) como material adsorbente para la remoción del colorante denominado azul de metileno en agua contaminada. Mediante la combinación de datos experimentales obtenidos mediante espectrofotometría UV-VIS y el uso del modelo de Thomas [8], se busca proporcionar información valiosa sobre el comportamiento de la totora y su comparación con otros bioadsorbentes. En este contexto, la totora (*Schoenoplectus californicus*), una planta acuática comúnmente encontrada en humedales y lagunas ha surgido como un material adsorbente prometedor para la remediación de este líquido vital. La totora posee características que la hacen adecuada para este propósito, como su estructura fibrosa y porosa, que proporciona una gran área superficial y múltiples sitios de adsorción. Estas propiedades sugieren que la totora podría ser capaz de adsorber y retener eficientemente el azul de metileno en soluciones acuosas.

La estructura de este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la primera parte, de la investigación, se destaca la importancia y las implicaciones de la eliminación del azul de metileno en el agua. A continuación, se presentan los antecedentes y fundamentos teóricos relacionados con la adsorción y el uso de la totora como material adsorbente. Se discuten los diferentes enfoques utilizados en la literatura para la eliminación de azul de metileno y se resaltan las ventajas y limitaciones de cada uno.

Posteriormente, se describe en detalle la metodología empleada en este estudio, incluyendo la recolección de muestras de totora, la preparación de la columna de lecho fijo y los procedimientos de adsorción y análisis espectrofotométrico. Seguidamente se analizan los resultados obtenidos, con la aplicación del modelo de Thomas para describir

el proceso de adsorción.

Finalmente, se discute los resultados obtenidos tras la experimentación y se comparan con estudios previos que evalúan otros bioadsorbentes. Se resaltan las fortalezas y limitaciones de la totora como material adsorbente para la supresión del azul de metileno. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan al conocimiento en este campo y brinden una base para el desarrollo de estrategias efectivas y sostenibles para la eliminación de azul de metileno en el agua.

1.2. Justificación

Alrededor del mundo se producen cada año aproximadamente 700 000 toneladas de agua [9] producto de la industria textil y farmacéutica de cerca de 10 000 clases de colorantes y tintes, de los cuales 2 000 de ellos son descargados en los efluentes considerándose nocivos para el ambiente. En Ecuador no existen vertederos especializados [9]. En algunas investigaciones Fernández [9], [10] manifiesta que la industria textil descarga aproximadamente un millar de litros en efluentes con colorantes, metales pesados, ácidos, bases y otros químicos inorgánicos y orgánicos [10], [11].

Los jeans de algodón color índigo tinturados con azul de metileno requieren al menos 42 litros de agua para teñir, lavar y terminar su proceso de fabricación. El principal impacto de la industria textil sobre el medio ambiente es el elevado consumo de recursos hídricos y las aguas residuales que producen estos procesos contiene una alta carga de contaminantes [12], [13].

En la investigación se revisará la problemática en la manufactura textil, reconocida como una de las más importantes de nuestro país. Es una de las industrias que emplea gran cantidad de líquido y la que genera gran cantidad de contaminantes de diferente naturaleza entre ellos [14], destacan los colorantes [15],[14]. Estos compuestos son muy resistentes a la degradación debido a su composición química, lo que dificulta su eliminación en las plantas de tratamiento convencionales y los diversos enfoques para reducir la contaminación del agua con el colorante azul de metileno usado como tinturante de algodón. La adsorción colorante es un nuevo método de biorremediación que permite a partir de estructuras porosas atrapar complejos, sólidos en suspensión logrando reducir la contaminación de aguas [16].

Los beneficiarios de este proyecto de investigación serán las industriales textiles que utilizan azul de metileno, quienes podrán usar ese material poroso para tratar el agua

residual proveniente del lavado. El presente trabajo beneficia directamente a las personas que viven de la comercialización de la totora, mediante el cual se podrían potenciar su comercialización en el mercado, además este producto será un gran aporte a la biorremediación de aguas contaminadas, ya que permitirá eliminar colorantes de las aguas usando un material compuesto natural, biodegradable y económico denominado *Schoenoplectus californicus*, gracias a sus amplias bondades adsorbentes, dando cabida al desuso progresivo de filtros de una sola vida útil.

1.3. Objetivos

General

Verificar la adsorción de azul de metileno mediante el *Schoenoplectus californicus* a través de una columna de lecho fijo.

Específicos

Obtener el *Schoenoplectus californicus* modificada mediante hidrólisis química para determinar sus propiedades adsorbentes.

Caracterizar el *Schoenoplectus californicus* mediante técnicas instrumentales avanzadas para determinar sus propiedades fisicoquímicas e identificación botánica.

Evaluar las propiedades adsorbentes de *Schoenoplectus californicus* mediante estudios de adsorción en columnas de lecho fijo para determinar la capacidad de adsorción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

a) ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1. Totorá (Schoenoplectus californicus)

Pertenece al taxón totora es una planta acuática perenne perteneciente a la familia Cyperaceae. Es común encontrarla en los lagos y pantanos de América del Sur [17].

Esta planta acuática (es considerada como un producto no maderable, el tallo de longitud entre 20 a 30 cm, presenta un rápido crecimiento, fuerte capacidad de regeneración [18]. Se puede volver a cosechar cada seis meses fuente de gran valor socioeconómico ya que con sus tallos se fabrican artesanías [14].



Figura 2.1: Totorá (*Schoenoplectus californicus*)

Realizado: Estrada A. 2023

Según Hidalgo de acuerdo con, las pruebas realizadas a este espécimen se determina las siguientes propiedades físicas.

Tabla 2. 1. Propiedades físicas de la Totora

Propiedades	Análisis
Densidad	180 kg/m ³
Resistencia a la tensión	38 kg/cm ²
Presión	40 kg/cm ²
Adsorción	Aumenta en estado seco
Velocidad de adsorción	0.3 %/ minuto.
Compresión.	15 kg/cm ²

Fuente: Hidalgo, 2019[18]

Su estructura debajo de la corteza de los tallos es esponjosa esto se debe a que está constituida por cámaras de aire, que derivan a que tenga una buena adsorción [18].

2.2. Taxonomía

Este género de plantas acuáticas marginales o palustres, perennes y caducas, existen alrededor de 10 especies, todas estas pueden formar densas matas alrededor de espejos de aguas como: estanques, lagunas y arroyos de curso lento [20].

La totora presenta la siguiente clasificación taxonómica y se indica en la **Tabla 2. 2**

Tabla 2. 2 Taxonomía de la planta totora

A continuación, se detalla la clasificación taxonómica [21]

Taxón	Nombre
Nombre científico	<i>Schoenoplectus californicus</i>
Nombre común	Junco
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Sub- División	Plantas con semilla
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Cyperaceae
Sub- familia	-----
Género	<i>Schoenoplectus</i> (Rchb.) Palla
Especie	<i>Schoenoplectus californicus</i>

Fuente: Cas et. al, 1972

2.3. Composición química de la Totora

Dentro de las características que se denotan de la planta acuática se encuentran: densidad 19.75 g/cm³ · índice de rotura 0.11 J.m²/g, pH 7.85 conductividad térmica del 0.046 a 0.058 W/mK acuerdo con, Hidalgo su estructura contiene hemicelulosa 30.71%, x-celulosa 66.79, lignina 27.8 %, proteína total 13.87% [26] [26], [27]

2.4. Usos y aplicaciones de la Totora

Gracias a las cámaras de aire que están formando parte de los tallos de la totora, hace que sea un material muy liviano y que pueden ser utilizados como aislantes térmicos, en construcciones [18].

En la construcción de casas, herramientas artesanales, almohadas, etc.

De acuerdo con, la cultura Urus-Perú esta planta es comestible su tallo se puede masticar el cual contine un líquido dulce además esta fibra ayuda a la digestión, disminuir el estreñimiento y el cáncer de colon [28].

Según Zambrano, la totora también sirve como forraje para el ganado y es muy rica en proteínas, además afirma que al, descomponerse, se convierte en un excelente abono orgánico[28].

2.5. Hidrólisis alcalina

La hidrólisis alcalina, es una reacción química en la cual un compuesto químico, de origen orgánico, se descompone en compuestos, más sencillos cuando se expone a una solución alcalina. Esta reacción se realiza a través del aumento de los iones hidroxilo (OH-) y/o la reducción del pH de la solución. Esto permite que, los enlaces químicos se descompongan y que los átomos se separen. En para la extracción de la fibra de celulosa es uno de los procesos en el cual se incluye una sustancia alcalina, por ejemplo, el hidróxido de sodio [29].

Reacción que se obtiene tras, la hidrólisis es la siguiente:



Fuente: CYDSA,[30]

b) FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

2.6 Azul de metileno

2.6.1. Estructura química

La estructura del azul de metileno se muestra a continuación:

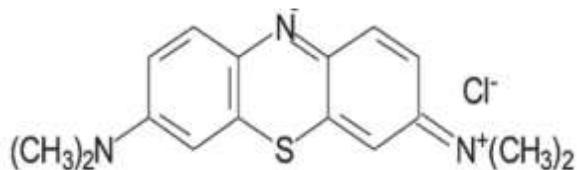


Figura 2.2: Estructura del azul de metileno

Fuente: Moreno et.al [31]

2.6.2. Especiación del azul de metileno

La capacidad de adsorción de un material celulósico en presencia del azul de metileno depende del pH de la solución en vista que, puede ser capaz de generar interacciones electrostáticas de carácter atrayente o repulsivo entre colorante y la superficie del bioabsorbente. En una solución de azul de metileno pueden estar presentes especies catiónicas (MB^+) y moléculas no disociadas (MB^0) [32].

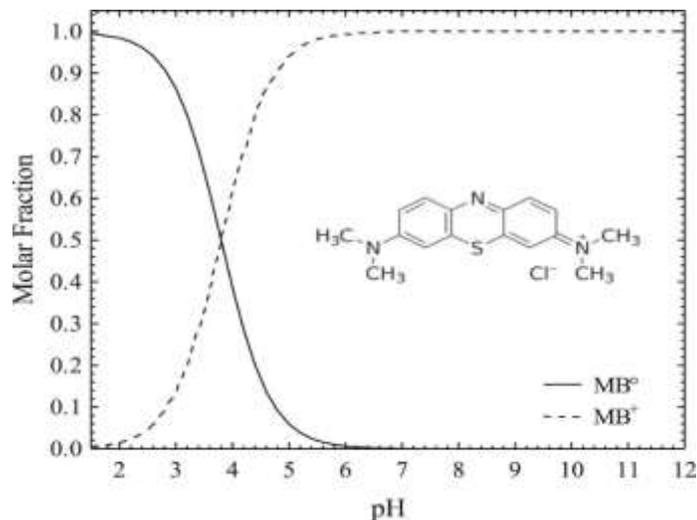


Figura 2. 3: Diagrama de especiación del azul de metileno

Fuente: Salazar,2017

2.6.3. Usos del azul de metileno

Dentro de los usos de este colorante se encuentran:

La utilización de tinción en los procesos de identificación microbiológica de bacterias Gram [33] .

De acuerdo con Rafatulllah, (2010) el azul de metileno es considerado como un potencial contaminante, de las aguas residuales provenientes de las industrias textil [34], algodones, lanas y pieles de animales gráfica en las ciudades de Isfahán e Irán [35], [36].

Debido a su gran intensa tonalidad, se encuentra en tintes para cabello y es usado en la aplicación de color en papel en la industria papelera [36].

Al suministrar una dosis baja y aislada de azul de metileno puede [34]. revertir el síndrome vasopléjico refractario [37]

2.6.4. Impacto ambiental y en la salud del azul de metileno

El colorante conocido como azul de metileno, dentro de su estructura contienen grupos azo, también usados en: fertilizantes y plaguicidas entre otros [6][38], la presencia de este grupo genera cierto grado de toxicidad en las aguas. De acuerdo con Ramos et.al. (2017), la coloración de las aguas residuales se considera un indicador de la contaminación causada por azocolorantes tales como: Azul de metileno, rojo congo, naranja de metileno, se considera que incluso a una concentración de 0.5 ppm en el medio acuático, el color es perceptible, por lo que el vertido de estas aguas residuales al ecosistema supone una grave fuente de contaminación, provocando perturbaciones en los organismos acuáticos y bloqueando el paso de la luz, imposibilitando la vida acuática, estableciendo los procesos microbianos necesarios para el equilibrio del ecosistema [5], [6]

Posee características fototóxicas, produce oxígeno en estado activado, potente compuesto carcinógeno que provoca la oxidación del ADN [36].

2.7. Adsorción

La adsorción es un fenómeno en el que [39], un átomo, ion o molécula se transfiere a, un material poroso permitiendo que elimine de la fase líquida donde reside originalmente [40].

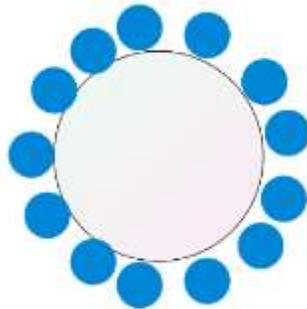


Figura 2. 4: Fenómeno de la adsorción

Realizado por: Estrada A. 2023

Es una fuerza de enlace, que permite la interacción entre la fase adsorbente y el adsorbato, es un fenómeno interfacial, en la que uno o varios sólidos presentes en una solución quedan retenidos sobre una superficie, la cual depende de factores, como: 1) naturaleza del material

adsorbente, 2) sitios activos vacíos, 3) distancia entre partículas retenidas, 4) superficie de contacto [40].

2.8. Adsorción de lecho fijo

En un lecho se añade material adsorbente granular, por la parte superior se adiciona un líquido que se filtra y deja a su paso el soluto retenido, sobre el sólido adsorbente, a la salida de la columna, se recogen alícuotas a partir de, las cuales se determina la concentración $[C]$, con determinado volumen de líquido tratado (V) a cierto tiempo (t) [41].

2.9. Curva de ruptura de absorción de lecho fijo

Los datos recolectados durante la práctica, se representa mediante una curva de ruptura de adsorción de lecho fijo en donde se plasma la concentración relativa del adsorbato vs. el volumen de agua tratada [41]

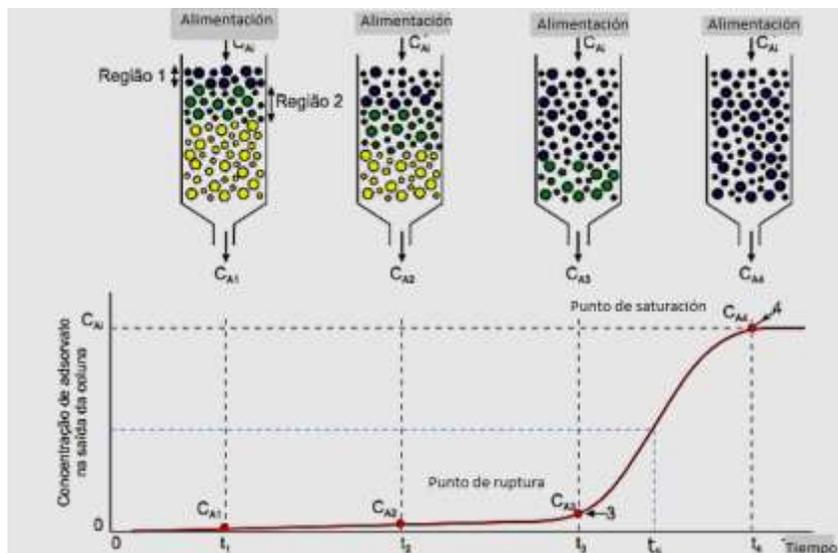


Figura 2. 5: Esquema de la columna de lecho fijo y curva de ruptura de contaminante en agua

Fuente: Guevara et al., 2016

2.10. Modelo de Thomas

El modelo de Thomas se usa principalmente para identificar la capacidad máxima de adsorción de un adsorbente en una columna vertical de lecho fijo [42].

La ecuación del modelo es la siguiente[42]:

$$\frac{C}{C_i} = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{K_{Th}}{Q}(q_0 * W * C_i * V_{ef})\right)}}$$

Ecuación: Modelo de Thomas

Donde:

K_{Th} : Constante cinética (mL/min*mg).

W : Masa de adsorbente en la columna (g)

C : Concentración inicial del efluente (mg/L)

C_i : Variación de la concentración del efluente en el tiempo (mg/L)

q_0 : Cantidad adsorbida por gramo de adsorbente (mg/g)

v_{ef} : Caudal de entrada (mL/g)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

Experimental: La presente investigación se desarrolló dentro de la modalidad experimental ya que las variables a evaluarse, por medio de la toma de datos de origen numérico en el laboratorio.

3.2. Población o muestra:

Para el presente proyecto se usó 700 g de biomasa Totora *Schoenoplectus californicus*

3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

Pregunta científica

A medida que aumenta la concentración de azul de metileno en el agua, la capacidad de adsorción de *Schoenoplectus californicus* aumenta.

Idea a defender

La *Schoenoplectus californicus* modificada mediante hidrólisis química aporta favorablemente en la adsorción del azul de metileno en agua.

3.4. Recolección de información:

- a) Para el desarrollo del trabajo se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos y tesis usando bases de datos como science, scopus, scielo.
- b) Las hojas de totora en buen estado secadas al medio ambiente, se retiró la corteza (**Anexo 1**). A continuación, el material celulósico se molió, y tamizó, luego se lavó el material con agua destilada para retirar impurezas, los mismos se reservaron en frascos esterilizado
- c) En la parte experimental, mediante un proceso de reducción utilizando agentes oxidantes, se hidrolizó parcialmente la fibra natural, posteriormente se realizó varias

lavadas con agua destilada para disminuir del pH. Finalmente, se secó la fibra hidrolizada a una temperatura de 28°C, por 24 h.

- d) Se construye una columna de lecho fijo, usando una jeringa de 20 mL, en su interior se coloca la fibra hidrolizada, se adiciona como fase móvil una solución del colorante azul de metileno a: 0.01 M; 0.025 M y 0.05 M, en la que cada una se miden la absorbancia usando el espectrofotómetro UV-VIS, a diferentes tiempos (0; 15; 30; 60; 90) min.

3.5. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

El modelo aplicado para el procesamiento de datos para el trabajo con diseño experimental, con un análisis de correlación de Pearson.

Variables respuesta o resultados alcanzados:

- **Variable independiente.** Concentración de azul de metileno
- **Variable dependiente.** Adsorción

Tabla 3. 1. Variable independiente. –Concentración de azul de metileno

Variable Independiente	Definición conceptual	Definiciones operacionales	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Técnica instrumento
Concentración de azul de metileno	Cantidad de azul de metileno medida en unidades de mol/L, para identificar la adsorción	Cantidad de colorante industrial en textiles en la industria farmacéutica, un nivel alto se considera	Concentración de azul de metileno.	Concentración de azul de metileno en 3 concentraciones: 0.010 M; 0.025 M y 0.05 M. Rango Precisión Tiempo	Molaridad Minutos Longitud de onda nm	Técnica Cuantitativa Instrumentos: Reactivos Espectrofotómetro UV vis

Tabla 3. 2. Variable dependiente. –Adsorción

Variable Dependiente	Definición conceptual	Definiciones operacionales	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Técnica instrumento
Adsorción	La adsorción es un proceso físico por el cual una sustancia se consolida a la superficie de otra, formando una capa delgada sobre ella. Esta unión se debe a la atracción entre los átomos o moléculas de la sustancia adsorbida y la superficie de la sustancia adsorbente.	Acción de la fibra natural debido a su estructura porosa que permite actuar como quelante para reducir la toxicidad de los contaminantes y facilitar su remoción, generando la biorremediación.	Condiciones de absorción	Tiempo de adsorción. Sensibilidad	Minutos Longitud de onda (nm)	Técnica Cuantitativa Instrumentos: Reactivos Espectrofotómetro UV vi

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la Totora modificada

4.1.1. Análisis de la Microscopía de Barrido (SEM)

La microscopía SEM de la **Figura 4. 1** ofrece una representación visual de la morfología de la fibra de Totora (*Schoenoplectus californicus*). Esta estructura presenta un entrelazamiento de fibras de celulosa, y la concentración de estas fibras puede relacionarse con la capacidad de permeabilidad del filtro. Esto implica que el mecanismo de adsorción física, facilitado por la porosidad de la fibra, está influido por la interacción electrostática entre el material y el azul de metileno.

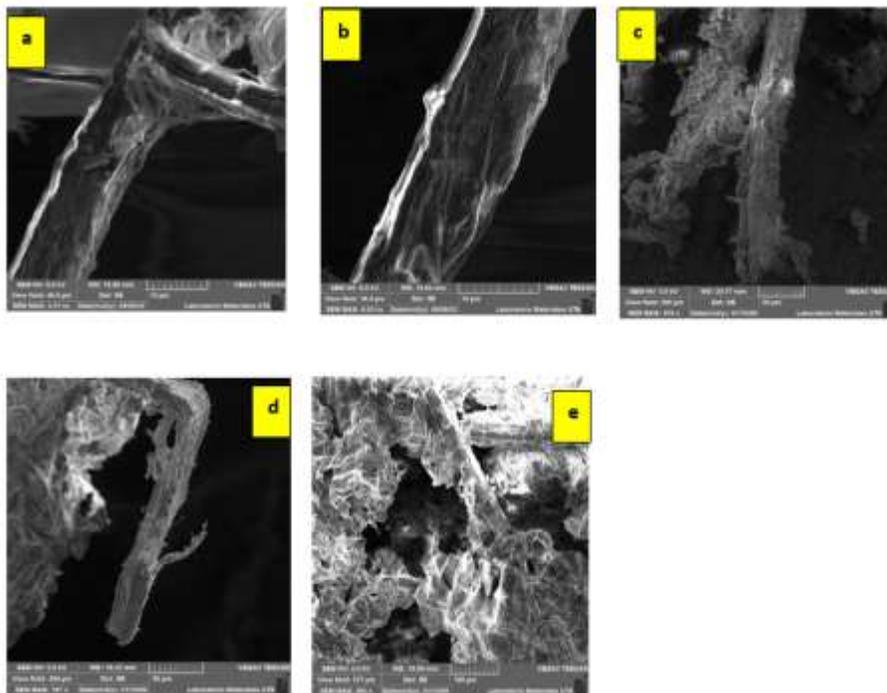


Figura 4. 1: Imágenes SEM de las fibras (*Schoenoplectus californicus*)

Realizado por : Estrada A. 2023

4.1.2 Análisis de Espectro Infrarrojo (IR)

En el espectro FTIR la fibra celulósica Totora seca que se presenta en la **Figura 4. 2**, se visualizó, a los 2900 cm^{-1} se puede apreciar el grupo C-H de la estructura de la celulosa, mientras que, a 1650cm^{-1} tiene un pico débil que pertenecía al grupo funcional C=O típico de la hemicelulosa [44]. A los 1638 cm^{-1} [45]se produce un pico del grupo OH que pertenece al agua destilada [46] y, a 1060 cm^{-1} hay un pico característico del grupo C-O-C [45]corresponde a la vibración del anillo de β -glucopiranososa de la estructura base de la celulosa (glucosa)[45]. A los 860 cm^{-1} , se puede verificar una señal proveniente del enlace β -glucosídico. En el rango de los 1600 existe una vibración del grupo C=C del anillo aromático de la lignina [47]. Un pico prominente y que diferencia del espectro de la totora seca es el que encuentra en el rango de $3300 - 3400\text{ cm}^{-1}$, por la presencia del grupo OH proveniente del hidróxido usado durante de proceso hidrólisis.

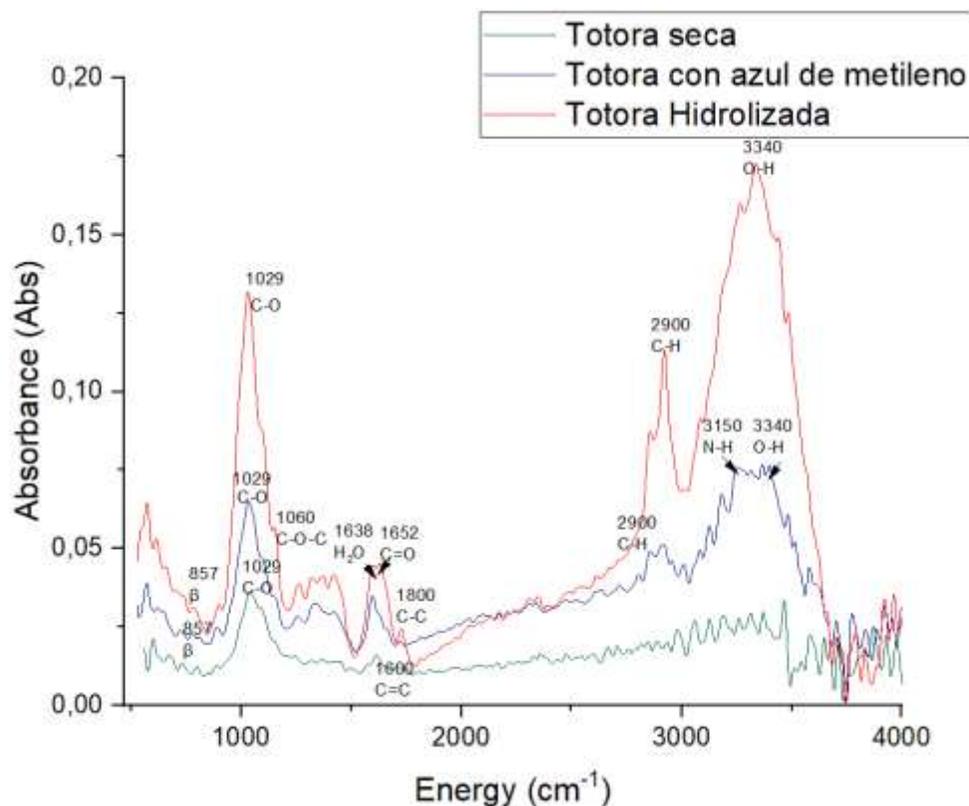


Figura 4. 2: Espectro FTIR Totora- Totora hidrolizada y Totora + azul de metileno

Fuente: Estrada A. 2023

4.2. Análisis del material celulósico modificado combinado con el azul de metileno

4.2.1. Cuantificación de la adsorción de azul de metileno por espectroscopía UV-VIS

El colorante azul utilizado en este experimento es el azul de metileno, que se analizó con el espectrofotómetro UV Thermo Scientific, Evolution 220. Se prepararon soluciones del colorante en medio acuoso y se sometieron a un barrido espectral de 400 a 800 nm. Se observó que existe un pico predominante a 664 nm , que contrasta con los valores obtenidos en la bibliografía.

La muestra el análisis espectroscópico de las distintas muestras tomadas durante su paso por la columna de lecho fijo. Este método versátil permitió la identificación cuantitativa y cualitativa de la adsorción del colorante azul de metileno.

Identificado la longitud de onda del colorante, se procedió a empaquetar la columna de lecho fijo con la totora modificada, en donde en la bureta se colocó 25 mL de azul de metileno.

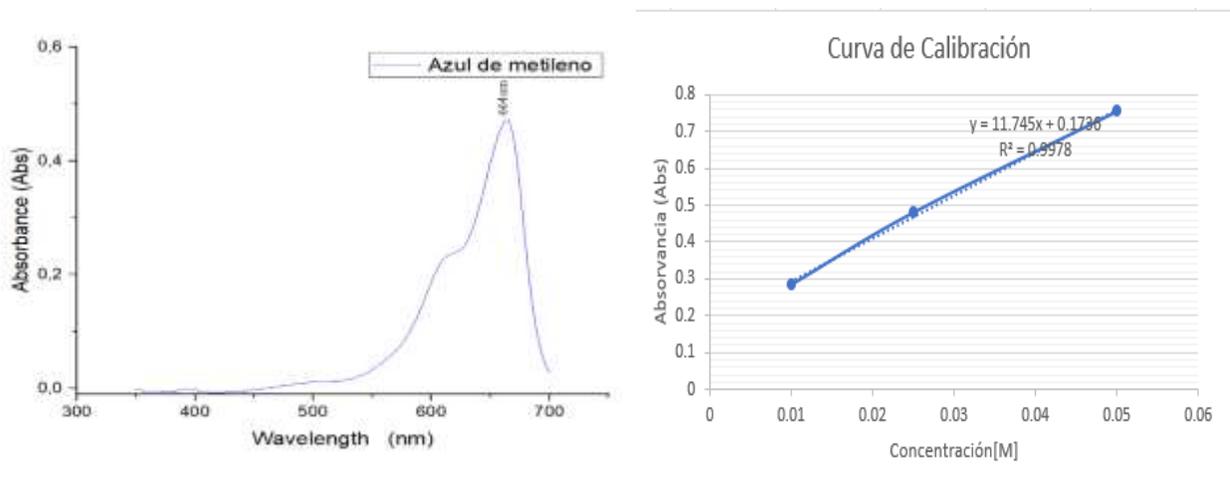


Figura 4. 3: Barrido espectral del azul de metileno por espectrofotometría UV-VIS y curva de calibración

Realizado por: Estrada A. 2023

En el registro fotográfico, en la **Figura 4.4** Error! No se encuentra el origen de la referencia. es casi imperceptible, la tonalidad de azul de metileno que van tomando las muestras con el pasar del tiempo denotando, la sobresaturación que existe en el lecho fijo de totora modificada.



Figura 4. 4: Muestras que ilustran el proceso de eliminación del azul de metileno expuesto a la totora modificada en (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90) min.

Realizado por: Estrada A. 2023

4.2.2 Análisis en el Espectro Infrarrojo (IR)

Constatando, con el espectro de la biomasa modificada con el azul de metileno se puede observar, una diferencia significativa entre estas, se señala el pico característico del grupo amino típico de la estructura del azul de metileno a los 3150 cm^{-1} .

4.2.3. Análisis botánico Totora (*Schoenoplectus californicus*)

Se recolectó un total de 500 g en 354°N, de los cuales 50 g se enviaron al herbario de la Escuela Politécnica de Chimborazo para la identificación taxonómica y botánica de la especie. El informe del espécimen indicaba que las características morfológicas y las comparaciones con otros especímenes confirmaban la muestra botánica en concreto pertenece a una especie nativa de Ecuador denominada *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Sojak, CYPERACEAE, como se muestra en el Anexo 3.

4.3. Evaluación de la capacidad de adsorción

4.3.1. Construcción y empaquetamiento de la columna de lecho fijo

Usando una jeringa clínica de 20 mL se construyó, la base de la columna en la cual, se colocó algodón para retener impurezas, luego se empaquetó con 2.5 g de totora hidrolizada, por la cual se dejó caer 10 gotas/ min de una solución concentrada de azul de metileno.

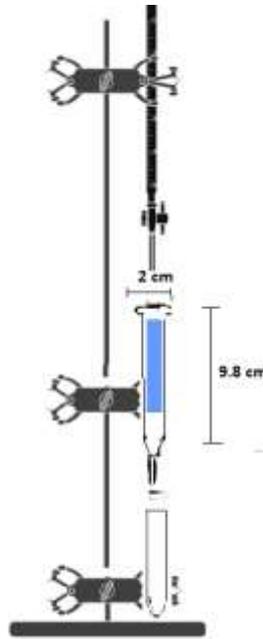


Figura 4. 5: Columna de lecho fijo

Realizado por: Estrada A. 2023

4.3.2 Análisis de la capacidad de adsorción por Método de Thomas

En primer lugar, para identificar las características de la adsorción, se utilizarán valores de absorbancia medidos en tres repeticiones a tres concentraciones diferentes de azul de metileno. Para ello se utilizará un espectrofotómetro UV-VIS a distintos intervalos de tiempo. A continuación, se realizará un análisis estadístico descriptivo de ambas variables: concentración y absorbancia. Los valores de concentración a lo largo del tiempo, C_t (M), se obtendrán a partir de la absorbancia en las tres repeticiones del mismo experimento, utilizando la Ley de Lambert-Beer [48], expresada en la ecuación 1.

$$A = \varepsilon * b * C \quad (1)$$

Ecuación 1: Expresión de Lambert Beer

En la ecuación, A representa la absorbancia, ε denota la absorptividad molar o coeficiente de extinción, b representa la distancia recorrida por la luz en la solución y c la concentración [48].

Tabla 4. 1. Descripción de la variable concentración del azul de metileno en el tiempo para la primera concentración de 0.01 M para cada instante de tiempo.

Tiempo (min)	Promedio	Min	Max	Rango	Precisión
15	0.00021	0.00019	0.00023	0.000042	0.000021
30	0.00028	0.00021	0.00032	0.000106	0.000061
45	0.00025	0.00025	0.00025	0	0
60	0.00047	0.00032	0.00063	0.000317	0.00016
75	0.00046	0.00032	0.00063	0.000317	0.00016
90	0.00065	0.00061	0.00070	0.000085	0.00004

Realizado por: Estrada A. 2023

Las medidas estadísticas de concentración para la concentración inicial de 0.01 M pueden verse en la **Tabla 4. 1**. Los valores medios de las mediciones en cada punto temporal se muestran en la columna 2. Los valores mínimo y máximo de cada medición [49] en cada punto temporal se muestran en las columnas tres y cuatro. Los valores de rango se muestran en la columna 5. Los valores de rango indican la diferencia entre los valores máximo y mínimo [49] de las mediciones. A partir de este análisis, puede determinarse la precisión de las mediciones calculando la desviación típica de la muestra. La medición realizada a los 45 minutos resultó ser la más precisa para la concentración inicial de 0.01 M.

Tabla 4. 2. Descripción de la variable concentración del azul de metileno en el tiempo para la primera concentración de 0.025 M para cada instante de tiempo.

Tiempo (min)	Promedio	Min	Max	Rango	Precisión
15	0.00024	0.000017	0.000463	0.000447	0.000224
30	0.00035	0.000281	0.000431	0.000149	0.000076
45	0.00025	0.000049	0.000414	0.000365	0.000186
60	0.00022	0.000050	0.000331	0.000282	0.000147
75	0.00035	0.000083	0.000546	0.000464	0.000238
90	0.00053	0.000447	0.000613	0.000166	0.000083

Realizado por: Estrada A. 2023

En la **Tabla 4.2** se pueden apreciar los indicadores característicos de la variable independiente Concentración del azul de metileno para el caso de la segunda concentración. Para el caso de las mediciones realizadas a una concentración inicial de 0.025 M, la medición con una mayor precisión es la que posee menor valor en la columna seis de la **Tabla 4.2.**, en este caso la medición más precisa fue la realizada a los 30 minutos.

Tabla 4. 3 Descripción de la variable concentración del azul de metileno en el tiempo para la primera concentración de 0.05 M para cada instante de tiempo.

Tiempo (min)	Promedio	Min	Max	Rango	Precisión
15	0.00036	0.00032	0.00038	0.000066	0.000034
30	0.00036	0.00032	0.00040	0.000077	0.000039
45	0.00027	0.00024	0.00031	0.000066	0.000033
60	0.00012	0.00005	0.00020	0.000143	0.000072
75	0.00015	0.00007	0.00022	0.000154	0.000078
90	0.00027	0.00018	0.00033	0.000143	0.000077

Realizado por: Estrada A. 2023

Para el caso del análisis de la variable independiente Concentración del azul de metileno, el análisis referente a las mediciones se puede apreciar en la **Tabla 4.3**, para el caso de la tercera concentración de 0.05 M, se puede observar que el menor valor de Precisión se obtiene para el tiempo de los 45 minutos, resultando la medición en este instante de tiempo la de menor variabilidad, con respecto al valor medio o de tendencia central que se representa en la columna dos de la **Tabla 4.3** . Para caracterizar la segunda variable, se usa el modelo matemático de Thomas. Las especificaciones del modelo se describen a continuación.

4.3.3. Descripción del experimento de adsorción usando el modelo de Thomas

El modelo Thomas es un modelo matemático utilizado habitualmente en ingeniería química para describir la adsorción en columnas de lecho fijo. Denominado "modelo de ruptura de Thomas" o "modelo de Thomas para columnas de lecho fijo", este modelo predice la capacidad y la velocidad de adsorción de un sólido adsorbente específico. Se basa en el supuesto de que la adsorción se produce en dos etapas principales[50]: una etapa inicial rápida en la que la concentración de soluto en la fase líquida es alta[51], seguida de una etapa más lenta en la que la concentración de soluto disminuye gradualmente [50]. Conociendo la ecuación que define el modelo de Thomas, se puede obtener el modelo cinético lineal de Thomas, expresado en la ecuación 2[8]. Esta ecuación diferencial describe la cinética de adsorción y se resuelve para determinar la concentración de soluto en la fase líquida en función del tiempo[8].

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = \left(K_{Th} * q_0 * \frac{W}{Q}\right) - K_{Th} * C_0 * t \quad (2)$$

Ecuación 2: Expresión que describe el modelo cinético de Thomas

Esta ecuación es igual a la ecuación de una recta [49], como se indica en la ecuación 3.

$$y = m * x + n, \quad (3)$$

Ecuación 3: Expresión de la recta

donde m es la pendiente y n el intercepto[49].Sustituyendo 2 en 3 se obtienen los parámetros expresados en las ecuaciones desde la 4 hasta la 7.

$$y = \ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) \quad (4)$$

$$m = -Kth * C_0 \quad (5)$$

$$n = Kth * q * \frac{W}{Q} \quad (6)$$

$$x = t \quad (7)$$

Es importante tener en cuenta que el modelo de Thomas es una simplificación y puede haber otros factores y fenómenos que deben considerarse en situaciones reales de adsorción en columnas de lecho fijo. Sin embargo, este modelo proporciona una aproximación útil y ampliamente utilizada en el diseño y análisis de procesos de adsorción. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores sobre el modelo de Thomas, avanzamos en la obtención de los parámetros del modelo para cada concentración a partir de los datos adquiridos durante la experimentación.

Los valores de concentración en función del tiempo, C_t (M), se determinaron promediando la absorbancia obtenida en tres repeticiones del mismo experimento mediante la Ley de Lambert-Beer, expresada en la ecuación 1. La absortividad para la concentración inicial es de $47.3 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, que se representa en la cuarta columna de la **Tabla 4.4**. Los valores de absorbancia se encuentran en la tercera columna de la **Tabla 4.4**, mientras que los valores de concentración calculados a partir de la ecuación 1 están en la quinta columna de la **Tabla 4.4**.

Tabla 4. 4. Parámetros de la experimentación para la primera concentración

Tiempo (min)	Co (M)	A	ε (L*mol ⁻¹ *cm ⁻¹)	Ct (M)	Co/Ct	$y=\ln(\text{Co}/\text{Ct}-1)$
0	0.010	0	47.3	0		
15	0.010	0.10879	47.3	0.0023	4.347826	1.208311
30	0.010	0.24596	47.3	0.0052	1.923077	-0.080043
45	0.010	0.31218	47.3	0.0066	1.515152	-0.663294
60	0.010	0.403469	47.3	0.00853	1.172333	-1.758327
75	0.010	0.466851	47.3	0.00987	1.013171	-4.329721
90	0.010	0.472054	47.3	0.00998	1.002004	-6.212606

Realizado por: Estrada A. 2023

Los valores de concentración calculados y mostrados en la quinta columna de la **Tabla 4.4**, junto con la concentración inicial mostrada en la columna dos, se utilizan para determinar los valores de las columnas seis y siete. Estos valores se utilizan para aproximarse al modelo cinético lineal de Thomas. A continuación, se representa gráficamente la relación entre los valores de la columna siete (y) y el tiempo en minutos, indicado en la columna uno de la **Tabla 4.4**. Esta relación se representa mediante los puntos de datos de la **Figura 4. 3**. Mediante un análisis de optimización utilizando la regresión lineal [8] y los puntos de datos representados en la **Figura 4. 3**, se estima la línea que mejor se ajusta, representada por la línea azul de la misma figura. Las características de la recta que mejor se ajusta se muestran en el recuadro de la figura. La pendiente de la recta (m) es igual a -0.09705 y la intercepción (n) es igual a 3.122. La recta se ajusta a la distribución de los puntos con una precisión del 95.10%.

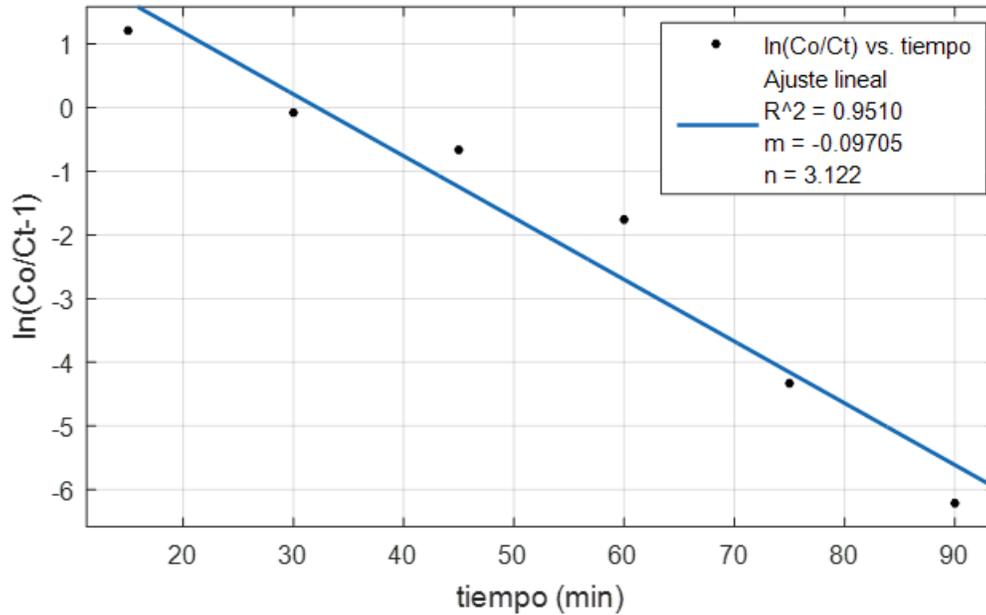


Figura 4. 3: Modelo lineal cinético de Thomas para la primera concentración

Realizado por: Estrada A. 2023

A partir de la ecuación 5, como se conoce m , se puede determinar la constante de velocidad, K_{Th} , como se muestra a continuación.

$$K_{Th} = \frac{m}{C_0} = \frac{0.09705}{0.010} = 9.705 \text{ mL} * \text{min}^{-1} * \text{mg}^{-1}$$

Ecuación 5: Constante de velocidad

Para determinar la capacidad de adsorción se despeja q en la ecuación 6. La totora tiene una densidad de 0.1975 gramos/cm³, por lo que la masa de la totora es de 3.95 gramos en las jeringas de 20 mL.

$$q = \frac{n * Q}{(K_{Th} * W)} = \frac{3.122 * 25 \text{ mL} * \text{min}^{-1}}{9.705 \text{ mL} * \text{min}^{-1} * \text{mg}^{-1} * 3.95 \text{ g}} = \frac{78.05}{38.33} = 2.036 \text{ mg} * \text{g}^{-1}$$

Ecuación 6: Capacidad de adsorción

Para la segunda concentración de 0.025 M se procede de la misma manera, se encuentra la recta que mejor se ajusta al modelo cinético lineal de Thomas usando regresión lineal.

Tabla 4. 5. Parámetros de la experimentación para la segunda concentración

tiempo (min)	Co (M)	A	ϵ (L*mol ⁻¹ *cm ⁻¹)	Ct (M)	Co/Ct	y=ln(Co/Ct-1)
0	0.025	0	60.35	0	5.5556	
15	0.025	0.271575	60.35	0.0045	2.477	1.51634749
30	0.025	0.20911255	60.35	0.010093	1.3172	0.38998879
45	0.025	0.145443	60.35	0.01898	1.1416	-1.1482985
60	0.025	0.0321665	60.35	0.0219	1.0288	-1.9550845
75	0.025	0.0466505	60.35	0.0243	1.0081	-3.5471513
90	0.025	0.049668	60.35	0.0248	5.5556	-4.8202816

Realizado por: Estrada A. 2023

La relación entre los valores de la séptima y la primera columna de la

Tabla 4. 5 se ilustra con los puntos de la **Figura 4. 4**. La recta de regresión ajustada a los datos experimentales tiene en este caso una precisión del 99.55%. Los valores de pendiente (m) e intercepción (n) se expone a continuación, en el recuadro de la **Figura 4. 4**.

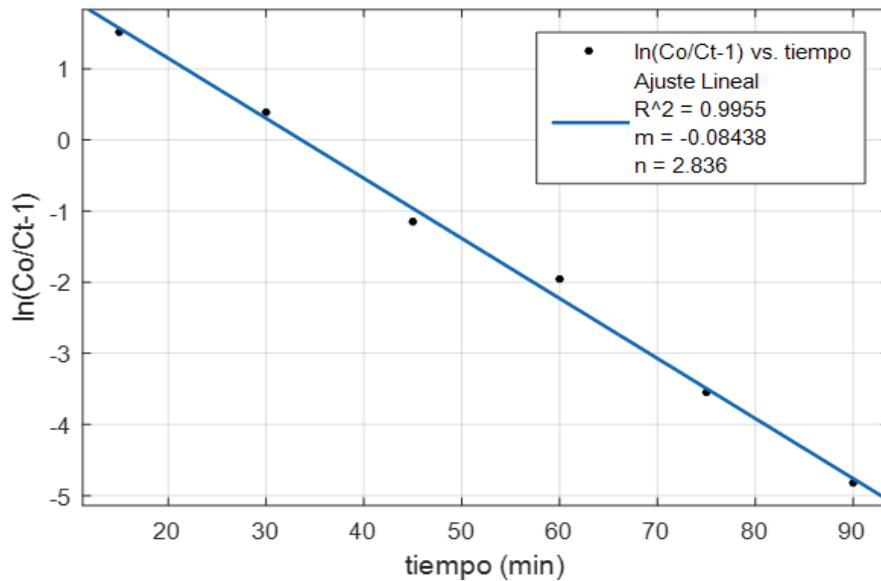


Figura 4. 4: Modelo lineal cinético de Thomas para la segunda concentración

Realizado por: Estrada A. 2023

A partir de los valores de m y n se pueden calcular la constante de velocidad y la capacidad de adsorción para esta segunda concentración[8]. Estos resultados se muestran a continuación.

$$K_{Th} = \frac{m}{C_0} = \frac{0.08438}{0.025} = 3.3752 \text{ mL} * \text{min}^{-1} * \text{mg}^{-1}$$

$$q = \frac{n * Q}{(K_{Th} * W)} = \frac{2.836 * 25 \text{ mL} * \text{min}^{-1}}{3.3752 \text{ mL} * \text{min}^{-1} * \text{mg}^{-1} * 3.95 \text{ g}} = \frac{70.9}{13.33} = 5.32 \text{ mg} * \text{g}^{-1}$$

En la **Tabla 4.6.** se muestran los datos experimentales para la tercera concentración de 0.05 M.

Tabla 4. 6. Parámetros de la experimentación para la tercera concentración

Tiempo (min)	Co	A	ε (L*mol ⁻¹ *cm ⁻¹)	Ct	Co/Ct	y=ln(Co/Ct-1)
0	0.050	0	90.92	0		
15	0.050	0.5104	90.92	0.0012	41.6666667	3.70540876
30	0.050	0.4300996	90.92	0.00913	5.47645126	1.4988306
45	0.050	0.63656	90.92	0.018	2.77777778	0.57536414
60	0.050	0.463992	90.92	0.0326	1.53374233	-0.6278421
75	0.050	0.27732	90.92	0.0421	1.18764846	-1.673185
90	0.050	0.345976	90.92	0.0478	1.0460251	-3.0785683

Realizado por: Estrada A. 2023

La línea de regresión puede verse en la **Figura 4. 5,** y muestra un impresionante ajuste del 98.32%. La pendiente (m) posee un valor de -0.08503, mientras que el intercepto (n) se determina en 4.531.

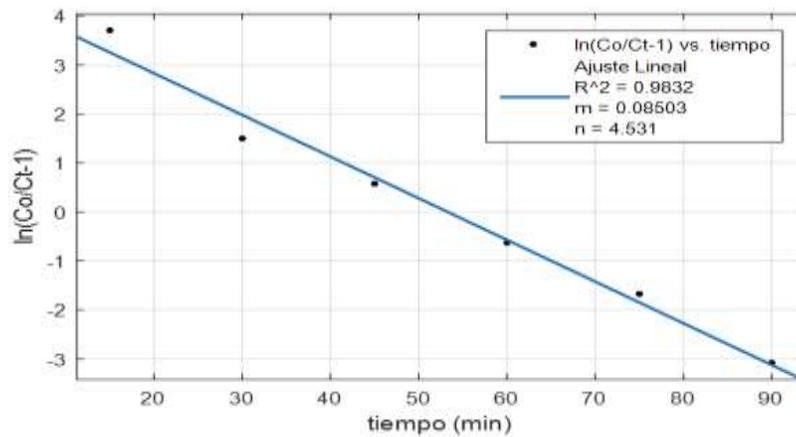


Figura 4. 5: Modelo lineal cinético de Thomas para la tercera concentración

Realizado por: Estrada A. 2023

De forma similar a los procedimientos anteriores, las ecuaciones 5 y 6 se resuelven a partir de la estimación de la pendiente (m) y el intercepto (n) para determinar la capacidad de adsorción y la constante de velocidad.

$$K_{Th} = \frac{m}{C_0} = \frac{0.08503}{0.05} = 1.7006 \text{ mL} * \text{min}^{-1} * \text{mg}^{-1}$$

$$q = \frac{n * Q}{(K_{Th} * W)} = \frac{4.531 * 25 \text{ mL} * \text{min}^{-1}}{1.7006 \text{ mL} * \text{min}^{-1} * \text{mg}^{-1} * 3.95 \text{ g}} = \frac{113.275}{6.71737} = 16.86 \text{ mg} * \text{g}^{-1}$$

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados experimentales ajustados al modelo de Thomas[43], para analizar como variable principal el efecto de las distintas concentraciones puede observarse en la **Figura 4. 6**. Estas curvas fueron obtenidas mediante un análisis de regresión no lineal [8]. El objetivo es determinar las características principales y las mejores condiciones de operación del sistema.

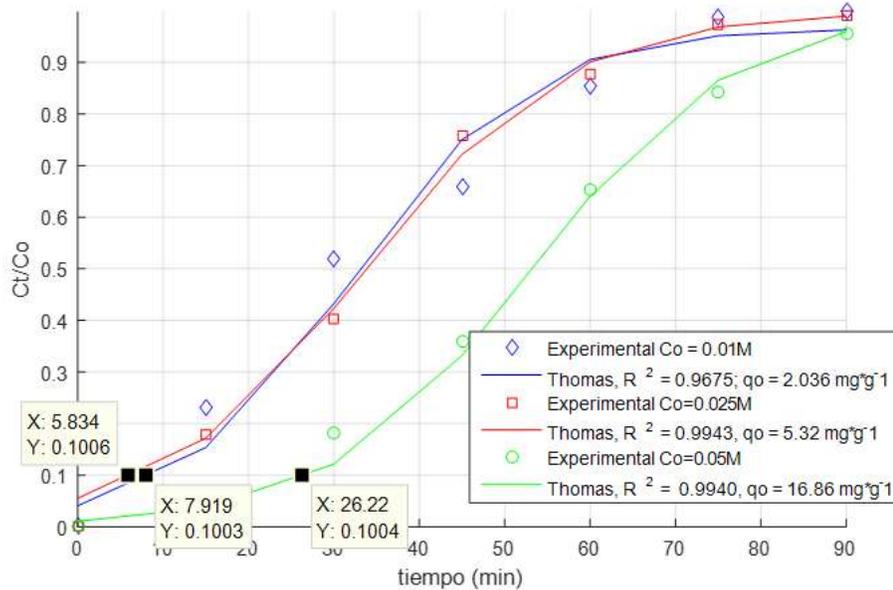


Figura 4. 6: Curvas de ruptura a partir del Modelo de Thomas y los datos de la fase de experimentación

Realizado por: Estrada A. 2023

La **Figura 4. 6** muestra tres curvas de ruptura, en las que la curva azul representa la primera concentración de 0.01 M. La curva roja corresponde a la segunda concentración de 0.025 M, mientras que la curva verde representa la tercera concentración de 0.05 M. Se utilizó el factor de correlación R^2 como verificador del modelo. Los valores de ajuste obtenidos para las distintas curvas son 96.75%, 99.43% y 99.40% para la primera, segunda y tercera concentraciones, respectivamente. Estos valores de ajuste son altos en cada caso, lo que indica que el modelo de Thomas es una aproximación fiable para describir el comportamiento del sistema.

En la **Figura 4. 6**, se indican los tiempos de ruptura para cada concentración en una relación del 10% entre la concentración de salida (C_t) y la concentración de entrada (C_o). El tiempo de ruptura es un parámetro importante en el estudio de los procesos de adsorción y difusión en columnas de lecho fijo, ya que indica cuánto tarda la sustancia en llegar a la salida de la columna y, por tanto, cuánto tiempo sigue siendo eficaz el lecho para retener la sustancia.

En el modelo se obtiene que la mayor concentración tiene el mayor tiempo de ruptura. Esto significa que se requiere más tiempo para que la sustancia alcance la salida de la columna en

concentraciones detectables o por encima de un umbral establecido. Esto suele ocurrir debido a que una mayor concentración implica una mayor carga de sustancia que debe ser adsorbida por el lecho de adsorción antes de que pueda aparecer en la salida de la columna. Cuanto mayor sea la concentración inicial, más tiempo tomará que la sustancia se transporte a través del medio poroso y se adsorba en las superficies del lecho, lo que resulta en un retraso en el tiempo de ruptura.

El tiempo de ruptura está relacionado con la capacidad de adsorción del lecho y la velocidad de transporte [8] de la sustancia a través del medio poroso. A medida que la concentración inicial aumenta, el lecho debe adsorber una mayor cantidad de sustancia antes de que este alcance la salida de la columna. Además, a concentraciones más altas, la velocidad de adsorción puede disminuir debido a limitaciones en la capacidad de adsorción o a fenómenos de saturación de los sitios de adsorción. Como se puede apreciar en la **Figura 4. 6** el aumento de la concentración desplaza la curva de ruptura hacia la derecha, indicando una menor retención del colorante, lo cual conduce a una ineficiencia del proceso comparada con las dos primeras concentraciones. El comportamiento de la concentración de 0.01M y de 0.025M es similar.

La **Tabla 4.7**, resume los principales parámetros estimados para cada una de las concentraciones.

Tabla 4. 7. Tiempo de ruptura, capacidad de adsorción y constante de velocidad para las diferentes concentraciones

Concentración inicial (M)	Tiempo de ruptura (min)	Capacidad de adsorción(mg*g ⁻¹)	Constante de velocidad (mL*min ⁻¹ *mg ⁻¹)
0.01	7.919	2.036	9.705
0.025	5.834	5.32	3.3752
0.05	26.22	16.86	1.7006

Fuente: Estrada A. 2023

En el primer caso el tiempo de ruptura fue de 7.919 min, para la segunda concentración fue de 5.834 min y para la tercera de 26.22 min. En este caso se evidenció una disminución del tiempo de ruptura a menores valores de concentración de la sustancia. Es crucial tener en cuenta que

el tiempo de ruptura puede verse influido por diversos factores que pueden acelerar o retrasar el proceso. Uno de estos factores es la concentración inicial de la sustancia. Cuanto mayor sea la concentración, más rápido puede producirse el proceso de ruptura. Otro factor son las propiedades del medio poroso, que pueden determinar la facilidad con que la sustancia puede fluir a través de él. La velocidad del flujo también es un factor importante que puede influir en el tiempo de ruptura[52], ya que un flujo más lento puede provocar un tiempo de ruptura más prolongado. Además, las condiciones de la experimentación, como la temperatura y la presión, también pueden afectar al tiempo de ruptura. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta estos factores al investigar el tiempo de ruptura de una sustancia a través de un medio poroso.

Dos factores adicionales que son importantes analizar y que se incluyen en la **Tabla 4. 7**, son la capacidad de adsorción y la constante de velocidad [39], [43]. Los resultados del modelo de Thomas en columnas de lecho fijo usando diferentes concentraciones mostró que existe una dependencia entre la capacidad de adsorción y la concentración inicial. Una concentración más alta puede llevar a una mayor capacidad de adsorción, ya que hay más moléculas de sustancia disponibles para ser adsorbidas por el medio poroso. Este resultado se puede visualizar en la tercera columna de la **Tabla 4.7**. En el modelo de Thomas, la constante de velocidad (K_{Th}) representa la velocidad a la cual la sustancia se adsorbe en el medio poroso de la columna de lecho fijo. Los valores de la constante de velocidad se encuentran en la cuarta columna de la **Tabla 4. 7 4.7**. La constante de velocidad está relacionada con la capacidad de adsorción del lecho y la afinidad entre la sustancia y el adsorbente. En general, se espera que la constante de velocidad disminuya al aumentar la concentración de salida en el modelo de Thomas. Esto se debe a que a medida que aumenta la concentración de salida, la capacidad de adsorción puede alcanzar su límite, con lo que hay menos sitios disponibles para la adsorción. Como resultado, la velocidad de adsorción disminuye y, por lo tanto, la constante de velocidad también disminuye.

En el análisis se obtiene que, a mayor concentración, disminuye la constante de velocidad y aumenta la capacidad de adsorción, las características de la columna de lecho fijo se mantienen constantes. En un mismo instante de tiempo la capacidad de remoción es diferente. El tiempo de saturación de la columna a un 80 % es mayor para la tercera concentración. Los resultados obtenidos sugieren que la totora puede catalogarse como un material adecuado para la remoción eficiente del colorante mediante columnas de lecho fijo de concentraciones de hasta 0.025 M.

La sensibilidad en una medición describe la medida en que el valor estimado de un variable de salida, en este caso la variable dependiente, adsorción, se ve influenciado por los cambios en otra variable, en este caso el tiempo de adsorción y la concentración. Este valor de sensibilidad es determinado a partir del modelo matemático usado para describir el proceso.

Tabla 4. 8. Valores de sensibilidad de las mediciones para cada concentración inicial según el tiempo de adsorción.

Concentración (M)	Sensibilidad
0.010	0.0102
0.025	0.0104
0.050	0.0105

Fuente: Estrada A. 2023

Los valores de sensibilidad de adsorción para cada concentración se muestran en la **Tabla 4.8** en función del tiempo transcurrido. El mayor valor de sensibilidad se obtiene para la tercera concentración. Esto indica una mayor influencia del tiempo de adsorción en la capacidad de adsorción del *Schoenoplectus californicus* cuando la concentración inicial de azul de metileno es mayor.

4.4. Mecanismo de adsorción sobre las partículas de totora

La capacidad de adsorción está influida por el pH de la solución[39], [43]. Debido a que los valores de pH más altos dan lugar a un predominio del carácter aniónico del colorante sobre la carga superficial positiva del material celulósico modificado por hidrólisis alcalina [32] .

El rápido aumento de la remoción del colorante dentro de los primeros minutos puede deberse a la adsorción inicial en la superficie del material, mientras que transcurre el tiempo existe la saturación del poro [53], provocando que comience a ser visible en la muestra una tonalidad característica del azul de metileno.

Según Castellar, (2023) la adsorción de colorante catiónico AM sobre un material granular durante el proceso de adsorción mejora al aumentar el pH y la concentración inicial de la solución. Dado que al aumentar el pH significa que habrá más sitios con cargas negativas disponibles en la superficie del material granular, por la presencia de cargas positivas en el colorante, estas interacciones electrostáticas favorecerán la adsorción del colorante en la superficie del material granular con carga negativa .

4.5. Mecanismo de adsorción de la Totora contrastando con la capacidad de adsorción de otros materiales.

Para determinar la viabilidad del uso de la totora como material bioadsorbente, es necesario comparar sus resultados de capacidad de adsorción con otros materiales bioadsorbentes disponibles en este mismo entorno de aplicación. Para establecer una comparación objetiva sería necesario establecer el mismo protocolo experimental en todos los casos, lo cual resulta muy difícil. No obstante, la totora manifestó un comportamiento similar a otros descritos en la literatura. Resultados similares al obtenido en la Tabla 4.7, son mostrados por [54], [55], donde se evalúa la capacidad de remoción del azul de metileno usando la cascarilla de arroz. El aumento de la concentración inicial de colorante provoca una disminución de los valores de la constante de velocidad, K_{Th} , y un aumento de los valores de la capacidad de adsorción, q_0 . Similares resultados son reportados por [56], donde se realiza un estudio de la asociación entre el colorante azul de metileno y el bioadsorbente tripa de brote de Palmyrah. En este caso, similar a esta investigación, a medida que aumentó la concentración inicial de azul de metileno, la capacidad de adsorción aumentó, pero la eficiencia disminuyó. Estos hallazgos también coinciden con estudios sobre la eliminación de azul de con la piel de brotes de bambú [57].

Los valores de correlación, R^2 , obtenidos en la evaluación del ajuste del modelo de Thomas para cada concentración son superiores al 96.75%, lo que demuestra que el modelo se ajusta bien a los datos experimentales [58] y es adecuado para describir la adsorción del azul de metileno en este contexto. En Boucherdoud et al. (2022) se obtienen resultados similares.

4.6. Análisis estadístico

La **Tabla 4.9.** muestra la correlación entre la variable Adsorción y la variable Concentración del azul de metileno. Las correlaciones fueron estimadas usando el coeficiente de Pearson.

Tabla 4. 9. Análisis de correlación entre las variables

	Adsorción
Concentración 0.01	0.9844**
Concentración 0.025	0.9974**
Concentración 0.05	0.9978**

** . Correlación con significancia de 0.01.

Fuente: Estrada A. 2023

Los valores de correlación entre dichas variables son altos en todos los casos. Se puede evidenciar en la Tabla 2, que un aumento de la concentración de entrada incide directamente proporcional en la capacidad de la adsorción, según las mediciones realizadas. El mayor valor de correlación se obtuvo para la mayor concentración.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones

Se obtuvo, la *Schoenoplectus californicus* modificada mediante hidrólisis alcalina a un pH de 8, se pudo definir que la influencia del tamaño de partícula de las muestras determina las variaciones importantes de adsorción considerando que a mayor superficie de contacto mayor capacidad de adsorción,

La especie botánica, tras la evaluación de sus características morfológicas corresponde a *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Sojak, CYPERACEAE, especie nativa del Ecuador, dentro de los análisis se determinó que la Totorá obtenida mediante hidrólisis alcalina, con el uso de técnicas instrumentales avanzadas se pudo verificar características en el FTIR del material celulósico, los picos de los grupos funcionales corresponden a las vibraciones típicas de los grupos funcionales, como se reporta en la literatura.

Se evaluó las propiedades adsorbentes de *Schoenoplectus californicus* mediante estudios de adsorción en columnas usando distintas concentraciones de azul de metileno 0.01; 0.025 y 0.05; usando el modelo partir de Thomas se determinó que a una concentración más alta puede llevar a una mayor capacidad de adsorción, ya que hay más moléculas de sustancia disponibles para ser adsorbidas por el medio poroso.

5.2. Recomendaciones

Se puede analizar la posibilidad de que el biosorbente puede ser regenerado mediante un tratamiento ácido o alcalino y reutilizarlos sin perder significativamente su eficiencia.

Verificar la utilización de la totora como biosorbente para tratar aguas contaminadas con colorantes tiene ventajas ambientales como: la reducción del parámetro demanda de oxígeno, la toxicidad y el impacto visual de los efluentes y ventajas económicas como el bajo costo, la disponibilidad, la facilidad de manejo y la generación de valor agregado a un recurso natural.

Se podría reutilizar el colorante azul de metileno, obtenido tras el proceso de bioadsorción en la tinción de prendas, de lana y algodón.

Con la totora coloreada con azul de metileno, se podría elaborar aglomerados coloreados, por medio de la obtención de un biopolímero a base de la fibra celulósica.

5.3. Bibliografía

- [1] J. Fito, S. Abrham, and K. Angassa, “Adsorption of Methylene Blue from Textile Industrial Wastewater onto Activated Carbon of *Parthenium hysterophorus*,” *Int J Environ Res*, vol. 14, no. 5, pp. 501–511, 2020, doi: 10.1007/s41742-020-00273-2.
- [2] P. Farm, E. Carolina, F. Esp, M. Laura, F. Esp, and R. Elizabeth, “Azul de Metileno y Azul Patente V: consideraciones de seguridad relacionadas a sus aplicaciones y vías de administración - Methylene Blue and Patent Blue V: safety considerations related to their applications and routes of administration,” *Bitácora Digital*, vol. 1, no. 3, pp. 1–5, 2013.
- [3] L. Ana and Z. Mendoza, “Remoción de colorantes sintéticos de las aguas residuales de la industria alimentaria usando como material adsorbente biomasa de arroz,” 2018.
- [4] M. Lozano Moreno, “Utilización de los subproductos del beneficio del cacao: una revisión,” 2020.
- [5] A. L. H. K. M. E. E. ; G. C. M. J. Houas, “Vía de degradación fotocatalítica del azul de metileno en agua,” 2001.
- [6] F. Ramos and B. Blanco, “Decoloración y degradación de azul de metileno presente en agua,” 2017.
- [7] L. F. Barrios-Ziolo, L. F. Gaviria-Restrepo, E. A. Agudelo, and S. A. Cardona Gallo, “TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES Y PIGMENTOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES,” *Dyna (Medellin)*, vol. 82, no. 191, pp. 118–126, 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n191.42924.

- [8] Y. A. Villada-Villada, A. Hormaza-Anaguano, and N. Casis, “Uso de la cascarilla de arroz para la remoción de azul de metileno en columnas de lecho empacado,” *TecnoLógicas*, vol. 17, no. 33, p. 43, Aug. 2014, doi: 10.22430/22565337.545.
- [9] D. Cuevas and M. Garzón, “Tratamiento de aguas residuales que contienen colorantes utilizados en la industria textil mediante un proceso combinado de oxidación avanzada y un proceso biológico.” Accessed: Aug. 22, 2022. [Online]. Available: https://smbb.mx/congresos_smbb/acapulco09/TRABAJOS/AREA_IV/CIV-80.pdf
- [10] L. Fernández and E. Santos, “Capacidad acumuladora de cadmio en raíces de *Scirpus californicus* expuestas a diferentes concentraciones de nitrato de cadmio en condiciones de laboratorio,” *Revista REBIOLEST*, vol. 1, no. 2, pp. 14–22, 2014, [Online]. Available: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/472>
- [11] J. Orellana, “Estado del arte sobre la ocurrencia y riesgos de los colorantes en efluentes de fábricas textiles y su remoción,” 2010.
- [12] T. F. Juher and E. B. Pérez, “Revisión de los efectos beneficiosos de la ingesta de colágeno hidrolizado sobre la salud osteoarticular y el envejecimiento dérmico,” *Nutr Hosp*, vol. 32, pp. 62–66, 2015, doi: 10.3305/nh.2015.32.sup1.9482.
- [13] R. Pérez, R. Gutierrez, C. Uribe, and P. Valle, “Pollution of aquatic environments generated by textile industry Recibido:,” pp. 129–143, 2018.
- [14] F. ; M. I. Santillán, “Remoción de colorantes azoicos rojo allura (rojo 40) mediante el uso de perlas de quitosano magnetizadas en medio acuoso,” *Scielo*, vol. 84, 2018.
- [15] A. Cortazar, C. Coronel, A. Escalante, and C. González, “Contaminación generada por colorantes de la industria textil,” 2014, Accessed: Aug. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>
- [16] S. Wang and H. Li, “Kinetic modelling and mechanism of dye adsorption on unburned carbon,” *Dyes and Pigments*, vol. 72, no. 3, pp. 308–314, 2007. doi: 10.1016/J.DYEPIG.2005.09.005.
- [17] GADPtotoras, “Tоторa.” Accessed: Dec. 28, 2022. [Online]. Available: <https://gadtotoras.gob.ec/turismo/flora-y-fauna.html>

- [18] F. Hidalgo, “Aprovechamiento de la Totora como Material de Construcción,” 2007. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6180>
- [19] G. ; R. R. P. L. V. L. O. Pabón, “Relaciones morfológicas en *Schoenoplectus californicus* (Cyperaceae) en lagos alto - andinos de Ecuador,” *Jardín Botánico Nacional*, vol. 40, pp. 109–119, 2019.
- [20] E. Bouzon, “Typha angustifolia, la Totora.” Accessed: Dec. 28, 2022. [Online]. Available: <https://plantasyjardin.com/2020/11/typha-angustifolia-la-totora/>
- [21] J. Velasquez, “Adaptabilidad y rendimiento de diferentes pastos forrajeros en el municipio de Arandas, Jalisco,” 1983.
- [22] Odd. Prír. Cas. Nár. Mus., “*Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey.) Soják.”
- [23] D. Condori, “Evaluación de las propiedades físicas químicas y ópticas del papel tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*),” 2010.
- [24] D. Condori Quispe, “Evaluación de las propiedades físicas químicas y ópticas del papel tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*),” *Universidad Nacional del Altiplano*, 2017, Accessed: Dec. 25, 2022. [Online]. Available: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3274995#.Y6oWk8Ew29Y.mendeley>
- [25] L. Aza, “La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades,” Universidad Politecnica De Catalunya, 2016.
- [26] A. P. T. Carranza, “Tratamiento de los lixiviados generados en la planta de residuos sólidos de Cajamarca con humedales artificiales de *juncus balticus* willd *junco* y *shoenoplectus californicus* totora,” 2018.
- [27] A. A. V. Avila, “Evaluation of the efficiency of arsenic removal in groundwater using native cattail flour (*Schoenoplectus californicus*) in the rural area of Coata, Puno region,” 2020.
- [28] A. Zambrana, “La Totora, la planta sagrada de los Urus,” 2016.
- [29] J. Muñoz and D. Zapata, “Evaluación de la obtención de celulosa partiendo del buchón de agua (*eichhornia crassipes*) mediante la hidrólisis básica y el proceso enzimático del

- hongo *Pleurotus ostreatus*,” Fundación Universidad de América , Bogotá, 2019. Accessed: Apr. 07, 2023. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7605/1/6132185-2019-2-IQ.pdf>
- [30] CYDSA S.A, “Proceso para la fabricación de celulosa activada y sus derivados,” WO 01/04075, 2001 Accessed: Apr. 07, 2023. [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/31/f6/50/85d3605a15113b/WO2001004075A1.pdf>
- [31] A. Moreno, D. Figueroa, and A. Hormaza, *Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz**, vol. 7, no. 1. Corporación Universitaria Lasallista, 2012. Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- [32] J. J. Salazar, R. Leyva, J. Rivera, R. Ocampo, and F. J. Cerino, “Biosorption mechanism of Methylene Blue from aqueous solution onto White Pine (*Pinus durangensis*) sawdust: Effect of operating conditions,” *Sustainable Environment Research*, vol. 27, no. 1, pp. 32–40, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.serj.2016.11.009.
- [33] L. Corrales and L. Caycedo, “Principios fisicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología Principios fisicoquímicos de los colorantes,” *Nova*, vol. 18, no. 33, Feb. 2020, doi: 10.22490/24629448.3701.
- [34] M. Melgarejo, “Comportamiento de la bioadsorción del colorante Azul Brillante FCF, con la cascarilla de arroz y cáscara de piña, frente al carbón activado utilizado en el tratamiento de aguas residuales en Colombia,” 2000.
- [35] M. Rafatullah, O. Sulaiman, R. Hashim, and A. Ahmad, “Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review,” *J Hazard Mater*, vol. 177, no. 1–3, pp. 70–80, May 2010, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2009.12.047.
- [36] L. García, “Evaluación de la degradación del azul de metileno mediante fotocatalisis heterogénea (ZnO/TiO₂) y biodegradación con consorcios bacterianos,” 2022.

- [37] J. M. Mora-Ordóñez, F. Sánchez-Llorente, J. L. Galeas-López, B. Hernández Sierra, M. A. Prieto-Palomino, and A. Vera-Almazán, “Utilización de azul de metileno en el tratamiento del síndrome vasopléjico del postoperatorio de cirugía cardíaca,” *Med Intensiva*, vol. 30, no. 6, pp. 293–296, Sep. 2006, doi: 10.1016/S0210-5691(06)74527-2.
- [38] A.-R. Radwan, “Water treatment by heterogeneous photocatalysis an overview1 ,” 2005.
- [39] “Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica,” 2017.
- [40] L. Mendoza, N. Fuentes, and H. González, “Adsorption of Lead (ii) with stems and leaves of eichhornia crassipes in aqueous solution,” *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, pp. 435–444, 2017.
- [41] R. Rosal, “Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas -Google Libros,” *Ediciones Paraninfo S.A.*, pp. 5–6, 2018, Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.com.co/books?id=WUaCDwAAQBAJ&pg=PA252&dq=Los+lodos+o+fangos+son+residuos+que+se+generan+en+las+estaciones+depuradoras+de+aguas+y+consisten+en+una+mezcla+de+agua+y+sólidos+separada+del+agua+tratada.+Las+características,+así+como+las+ca>
- [42] M. Guevara, J. Juárez, and J. Díaz, “Simulador de isoterma de adsorción de Langmuir, Freundlich y Tempkin del colorante textil básico en diferentes bioadsorbentes,” 2016.
- [43] E. G. Domínguez, R. R. Noriega, J. L. Villanueva, and R. B. Francisco, “Modelo de Thomas para la cinética de adsorción del azul de metileno mediante el residuo del fruto de encino,” *South Florida Journal of Development*, vol. 3, no. 4, pp. 5250–5259, Aug. 2022, doi: 10.46932/sfjdv3n4-092.
- [44] P. Romero, S. Marfisi, P. Oliveros, B. Rojas, and G. Peña, “Obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del cambur (*Musa sapientum*). Síntesis de celulosa microcristalina,” 2014, Accessed: Sep. 24, 2023. [Online]. Available: <https://fddocuments.ec/document/obtencion-de-celulosa-microcristalina-a-partir-de-.html?page=5>

- [45] D. Munoz, “Obtención de celulosa microcristalina aplicando hidrólisis ácida a partir del bagazo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) proveniente de la Parroquia Balsapamba-Bolívar,” 2022.
- [46] A. Lozada, “Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de la cáscara de café para la elaboración de un biosorbente utilizado en la remoción de cadmio como metal pesado.,” 2020.
- [47] J. McMurry, “Química orgánica 7a. edición,” *Cengage*, pp. 431–432, 2008.
- [48] I. ;Pérez, D. G. S. M. S. Sierra, *Análisis Instrumental*. 2010.
- [49] B. ; L. R. Edwards, *Cálculo 1 de una variable Novena edición*. 2010.
- [50] V. Gómez, “Aerosoles formados por nanomateriales: Monitorización y evaluación de la exposición en entornos laborales,” 2014.
- [51] S. Pérez, “Estudio de la cinética de bacterias halófilas presentes en la maduración de *Engraulis anchoita* involucradas en la transformación de histidina/histamina,” Universidad Nacional de La Plata, 2018. doi: 10.35537/10915/66283.
- [52] A. Takeda, L. Ferraro, A. H. Rezende, E. J. Sadatsune, L. F. dos R. Falcão, and M. A. Tardelli, “Concentración mínima efectiva de bupivacaína para el bloqueo del plexo braquial vía axilar guiado por ecografía,” *Brazilian Journal of Anesthesiology (Edición en Español)*, vol. 65, no. 3, pp. 163–169, May 2015, doi: 10.1016/j.bjanes.2013.11.004.
- [53] G. A. E. Z. A. ; C. D. Castellar, “Equilibrio de adsorción del colorante azul de metileno sobre carbón activado,” vol. 16, pp. 263–271, 2013.
- [54] Y. A. Villada-Villada, A. Hormaza-Anaguano, and N. Casis, “Uso de la cascarilla de arroz para la remoción de azul de metileno en columnas de lecho empacado,” *TecnoLógicas*, vol. 17, no. 33, pp. 43–54, 2014.
- [55] N. L. Ahmad, U. Z. Zakariyya, N. G. Zaharaddeen, and others, “Rice husk as biosorbent for the adsorption of methylene blue,” *Science World Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 66–70, 2019.
- [56] D. Jayasuriya and K. Nadarajah, “Understanding association between methylene blue dye and biosorbent: Palmyrah sprout casing in adsorption process in aqueous phase,”

Water Science and Engineering, vol. 16, no. 2, pp. 154–164, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.wse.2022.12.006.

- [57] L. Zhu, P. Zhu, L. You, and S. Li, “Bamboo shoot skin: turning waste to a valuable adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution,” *Clean Technol Environ Policy*, vol. 21, no. 1, pp. 81–92, Jan. 2019, doi: 10.1007/s10098-018-1617-0.
- [58] L. Cuba. Ministerio de Educación Superior. *et al.*, *Revista cubana de química*, vol. 31, no. 1. Dirección de Información Científico-Técnica, Universidad de Oriente, 2019. Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100108&lng=es&nrm=iso&tlng=es

5.4. Anexos

ANEXO I

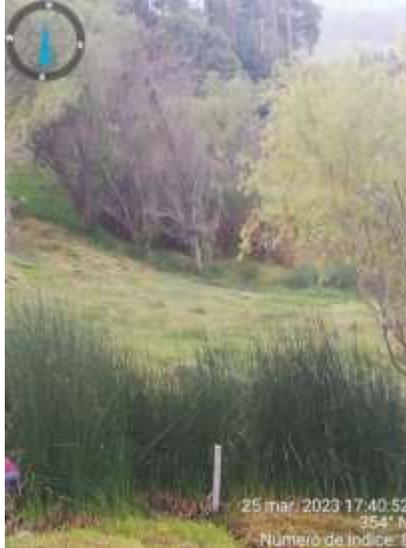
Material celulósico de la Totorá.



Realizado por : Estrada A. 2023

ANEXO II

Coordenadas de las muestras tomadas



Realizado por: Estrada A. 2022

ANEXO III

Certificado Herbario

HERBARIO POLITÉCNICA CHIMBORAZO (CHEP)
CALLE 123, CALI, COLOMBIA. TEL: +57 314 1234567. www.herbariochep.edu.co

Ofo.No.021.CHEP.2023
Píscamba, 04 de octubre del 2023

A QUIEN INTERESE:
De mis consideración:

Reciba un atento y cordial saludo, por medio de la presente certifico que la señora ANQY LISBETH ESTRADA ANDCA con CI:0625407113, entregó 1 muestra botánica infértil de *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják, CYPERACEAE identificada, comparando con muestras de la colección y verificación de nombres en el catálogo de plantas Vasculares del Ecuador. Número del Proyecto: LA ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO MEDIANTE EL *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják A TRAVÉS DE UNA COLUMNA DE LECHO FLUO, según autorización de Investigación N°. MAAE- ARSFC-2023-3202. La muestra infértil se archivará por el lapso de un año.

Me despido, atentamente

Ing. Jorge Caranqui A.
RESPONSABLE HERBARIO CHEP

FACULTAD DE INGENIERÍA

Fuente: Estrada A. 2023

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. Título

Elaboración de aglomerados coloreados a partir de los residuos de Totorá obtenidos tras el proceso de tratamiento de aguas tinturadas como material Ecoamigable

6.2. Descripción

La presente propuesta tiene como finalidad aprovechar los residuos de totora, desechada tras el proceso de tratamientos de aguas contaminadas con colorantes azoicos, con el fin de desarrollar un material innovador que pueda tener varias aplicaciones. El producto que se puede obtener es un aglomerado versátil, resistente y estéticamente atractivo, el cual podrá ser utilizado en la fabricación de muebles, elementos decorativos y otras aplicaciones industriales y artísticas. Además, cabe mencionar que los colorantes azoicos retenidos tras el proceso de tratamiento de aguas, permitirá una amplia gama de opciones estéticas, fomentando así la creatividad y la sustentabilidad en su uso, considerándose como una alternativa ecológica y sostenible para reemplazar los aglomerados asfálticos, obtenidos tras el proceso de destilación del petróleo disminuyendo así el impacto medio ambiental.

6.3. Desarrollo de la propuesta

Proceso

- 1. Recolección:** Recolectar los residuos y secar al medio ambiente.
- 2. Mezclado:** Combinar los residuos coloreados de totora con un aglutinante natural o eco amigable. Puede usarse almidón, resinas naturales u otros materiales compatibles.
- 2. Aglomeración:** Compactar la mezcla en moldes para dar forma al aglomerado.

3. Secado y curado: Colocar los aglomerados en un ambiente controlado para el secado y eliminar la humedad.

Curado: Permitir que los aglomerados se curen naturalmente para fortalecer su estructura y mejorar sus propiedades físicas.

4. Corte: Los aglomerados completamente secos y curados, se pueden cortar según las dimensiones requeridas.

5. Acabado: Aplicar procesos de lijado, pulido o tratamiento superficial para mejorar la estética y la textura del aglomerado.

6. Aplicaciones y usos:

Identificar las diferentes aplicaciones del aglomerado de totora en industrias como la fabricación de muebles, elementos decorativos y revestimiento de objetos.