

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE TIANGUISTENCO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL

OPCIÓN IX

TESIS

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ADSORBENTES DE
SUBPRODUCTOS LIGNOCELULÓGICOS DE LA PURIFICACIÓN DE
CELULOSA**

**Que para obtener el Título de
INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA

Eduardo Villana Castañeda

DIRECTORA:

Dra. Miriam Jeniffer Jiménez Cedillo

ASESORA

Dra. Sagnite Ventura Cruz

Noviembre 2024

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, en el laboratorio de Instrumental de la División de Ingeniería Ambiental, como parte del proyecto 15374.22-PD “Celulosa microcristalina utilizando residuos lignocelulósicos y su aplicación en la remoción de contaminantes en fase acuosa”, bajo la responsabilidad de la Dra. Miriam Jeniffer Jiménez Cedillo.

Este trabajo de investigación fue registrado con el título: “Evaluación de las propiedades adsorbentes de subproductos lignocelulósicos de la purificación de celulosa”, con el número CA-IA/PI-012 ante la Academia de Ingeniería Ambiental.

El trabajo se inscribe en la línea de investigación: Ingeniería Ambiental y energías renovables del Programa de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN.....	vii
Planteamiento del problema, Justificación, Hipótesis y Objetivos.....	v
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	vi
JUSTIFICACIÓN.....	viii
OBJETIVOS	x
OBJETIVO GENERAL	x
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	x
HIPÓTESIS	xi
Capítulo 1.	1
Generalidades.....	1
GENERALIDADES.....	2
1. Agua	2
1.1 Problemas relacionados con el agua	2
1.2 Contaminación	2
1.3 Fuentes de contaminación	2
1.3.1 Naturales.....	3
1.3.2 Antropogénicas	3
1.4 Contaminación directa	3
1.5 Contaminación Indirecta.....	3
1.6 Tipos de Contaminantes.....	4
1.6.1 Contaminantes químicos.....	4
1.6.2 Colorantes	4
1.6.2.1 Índigo carmín.....	4
1.6.2.2 Estructura química del índigo carmín	5
1.6.3 Metales.....	5
1.6.3.1 Cromo hexavalente	5
1.7 Residuos lignocelulósicos	6
1.7.1 Celulosa	6
1.8 Celulosa microcristalina.....	8

1.8.1	Formas de obtención de celulosa microcristalina	8
1.9	Adsorción	9
1.9.1	Adsorbente natural	9
1.9.2	Microcelulosa cristalina como adsorbente.....	9
Capítulo 2.		12
Desarrollo Experimental		12
2.1	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	13
En la Figura 2.1, se muestra un diagrama general del desarrollo experimental llevado a cabo en este trabajo.		13
2.2	Estudio preliminar de adsorción con los subproductos de la obtención de la celulosa microcristalina del tallo de rosa	14
Tabla 2.1 Identificación de los subproductos de la		14
obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa		14
Subproducto		14
Tipo de proceso		14
RS		14
Tallo de rosa natural		14
MCC3		14
Hidrólisis alcalina.....		14
B1-MC3.....		14
Blanqueamiento 1.....		14
B2-MC3.....		14
Blanqueamiento 2-celulosa purificada		14
2.2.1	Cuantificación de índigo carmín y Cr(VI)	15
2.3	Acondicionamiento y obtención del subproducto B1-MC3 de la obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa	16
2.4	Proceso de adsorción de los subproductos lignocelulósicos con los contaminantes.	17
2.4.1	Efecto del tamaño de partícula de los subproductos lignocelulósicos en el proceso de sorción	17
2.4.2	Efecto de la masa de los subproductos lignocelulósicos en el proceso de sorción	18
2.4.3	Efecto del pH en el proceso de sorción	18
2.4.4	Efecto del tiempo de contacto	18
Capítulo 3.		20

Resultados y discusión	20
3.1 Estudio preliminar de adsorción con los subproductos de la obtención de la celulosa microcristalina del tallo de rosa	21
3.2 Acondicionamiento y obtención del subproducto B1-MC3 de la obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa	25
3.3 Proceso de adsorción del subproducto B1-MC3 con los contaminantes.	27
3.3.1 Efecto del tamaño de partícula en el proceso de adsorción de los contaminantes	27
3.3.2 Efecto de la masa del adsorbente en el proceso de adsorción de los contaminantes.....	28
3.3.3 Efecto del pH en el proceso de adsorción de los contaminantes	30
3.3.4 Efecto del tiempo de contacto en el proceso de adsorción de los contaminantes	32
Conclusiones.....	35
Recomendaciones.....	37
Referencias	39

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura química del índigo carmín.....	5
Figura 1.2. Estructura de la celulosa.....	6
Figura 1.3. Estructura química de la hemicelulosa.....	7
Figura 1.4. Estructura molecular de la lignina.....	7
Figura 2.1 Diagrama general del desarrollo experimental.....	13
Figura 3.1. Cambio de coloración de las soluciones acuosas con índigo carmín, después del proceso de sorción.....	21
Figura 3.2. Cambio de coloración de las soluciones acuosas con Cr (VI), después del proceso de sorción.....	21
Figura 3.3. Comparación de las concentraciones finales del índigo carmín, después del proceso de sorción con los materiales.....	23
Figura 3.4. Comparación de las concentraciones finales del Cr (VI), después del proceso de sorción con los materiales.....	24
Figura 3.5. Tallos de rosa molidos y tamizados a malla No. 100.....	25
Figura 3.6. Material MCC3 obtenido de la primera hidrólisis de los tallos de rosa..	26
Figura 3.7 Tallos de rosa después del primer blanqueamiento.....	26
Figura 3.8 Efecto del tamaño de partícula en la remoción de índigo carmín con B1-MC3.....	27
Figura 3.9 Efecto del tamaño de partícula en la remoción de Cr (VI) con B1-MC3.....	28
Figura 3.10 Efecto de la masa del adsorbente B1-MC3 en la remoción de índigo carmín.....	29

Figura 3.11 Efecto de la masa del adsorbente B1-MC3 en la remoción de Cr (VI).....	30
Figura 3.12 Efecto del pH en la remoción de índigo carmín con B1-MC3.....	31
Figura 3.13 Efecto del pH en la remoción de Cr (VI) con B1-MC3.....	32
Figura 3.14 Efecto del tiempo en la remoción de índigo carmín con B1MC3.....	33
Figura 3.15 Efecto del tiempo en la remoción de Cr (VI) con B1-MC3.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los métodos.....	8
Tabla 2.1. Identificación de los subproductos de la obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa.....	14
Tabla 3.1. Concentraciones de índigo carmín después del proceso de sorción.....	22
Tabla 3.2. Concentraciones de Cr (VI) después del proceso de sorción.....	24

RESUMEN

En este trabajo se obtuvieron los subproductos del proceso de obtención de celulosa microcristalina a partir del tallo de rosa residual (*Rosa spp.*), a los cuales se les hizo un estudio preliminar de adsorción con dos contaminantes, que presentan una problemática de importancia significativa en el ambiente y salud de los seres vivos, siendo estos el colorante índigo carmín, y el cromo hexavalente. El mejor material de acuerdo a la evaluación preliminar fue el que se obtuvo con el blanqueamiento 1 denominado B1-MC3, a este material se le realizó la evaluación del proceso de sorción estudiando los parámetros de tamaño de partícula del material, masa del adsorbente, efecto del pH y tiempo de contacto, y determinar las condiciones óptimas del proceso de sorción tanto para el colorante como el Cr(VI) en solución acuosa. Donde resultó que el tamaño de partícula del material no tiene un efecto en la adsorción de ambos contaminantes, la masa si tiene un efecto en la remoción de Cr(VI) no así para la remoción del colorante índigo carmín, por otra parte el pH si tiene un efecto en la adsorción de los contaminantes estudiados, siendo a el pH 2 donde hay una mayor remoción para ambos contaminantes, y el tiempo también tiene un efecto, ya que el material adsorbe de una manera más rápida al Cr(VI) que al índigo carmín.

ABSTRACT

In this work, the byproducts of the process of obtaining microcrystalline cellulose were obtained from the residual rose stem (*Rosa spp.*), to which a preliminary adsorption study was carried out with two contaminants, which present a problem of significant importance in the environment and health of living beings, these being the indigo carmine dye, and hexavalent chromium. The best material according to the preliminary evaluation was the one obtained with bleaching 1 called B1-MC3. The evaluation of the sorption process was carried out on this material, studying the parameters of particle size of the material, mass of the adsorbent, effect . of the pH and contact time, and determine the optimal conditions of the sorption process for both the dye and Cr(VI) in aqueous solution. Where it turned out that the particle size of the material does not have an effect on the adsorption of both contaminants, the mass does have an effect on the removal of Cr(VI) but not for the removal of the indigo carmine dye, on the other hand the pH does. has an effect on the adsorption of the studied contaminants, with pH 2 being where there is greater removal for both contaminants, and time also has an effect, since the material adsorbs Cr(VI) more quickly. than to carmine indigo.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del desarrollo de la humanidad, se han presentado diferentes problemáticas que perjudican el bienestar del ser humano, de las más marcadas hoy en día se encuentran las ambientales, estas problemáticas tienden a afectar recursos naturales que son sustento fundamental para la vida y el soporte ecológico.

En la actualidad existe una enorme variedad de contaminantes que afectan recursos naturales, ejemplo de ello es el recurso agua, pues la presencia de estos en cuerpos de agua, pone en riesgo la salud humana, al igual que el de los factores bióticos y abióticos que se encuentran cerca, de estos se resaltan los metales pesados como el cromo hexavalente, los colorantes, como el índigo carmín, que por sus características de resistencia, presentan una alerta, derivado de esto ,innumerables grupos de investigación se han dedicado a evaluar tecnologías que sea eficientes para el tratamiento de aguas dañadas con estos contaminantes.

Otra de las problemáticas existentes es la mala gestión de residuos, o un mal aprovechamiento, de entre ellos se encuentran los residuos agrícolas, caracterizados como residuos lignocelulósicos, por tener la característica de poseer lignina, compuesto que generalmente es utilizado para la obtención de diferentes productos naturales, como bio-adsorbentes.

En los últimos años, ha salido a la luz la utilización de materiales obtenidos de residuos lignocelulósicos, como por ejemplo la celulosa microcristalina, en la cual diferentes investigadores han evaluado su adsorción, al ponerla en contacto con diferentes contaminantes.

En este trabajo, se encuentra una amplia información para comprender un poco más del tema y entrar en contexto, con la importancia de los contaminantes, y la utilización de productos lignocelulósicos, que a través de ensayos se demuestra la eficiencia de estos.

A lo largo del proyecto se evaluaron diferentes materiales obtenidos de los residuos lignocelulósicos, atacando el problema de su gestión y obteniendo un producto de ayuda al tratamiento de agua contaminada, estos productos se pusieron a prueba con los contaminantes: cromo hexavalente y el índigo carmín.

Finalmente se presentan el procedimiento llevado a cabo y los resultados obtenidos en los experimentos, donde se manipularon factores como temperatura, concentración de contaminantes, formas de contacto y agitación y tiempo; por último, se plantean las conclusiones, respecto a los datos presentados

Planteamiento del problema, Justificación, Hipótesis y Objetivos

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha visto una creciente preocupación por el tema ambiental y la contaminación que se presenta en este medio, uno de los recursos que más ha sufrido daños es el hídrico, por lo tanto, es evidente que la humanidad se preocupe, pues el hablar de agua hace referencia a la vida.

Las industrias son unos de los factores que aceleran desmedidamente el proceso de contaminación, pues muchas de las aguas residuales que desechan no llevan un tratamiento, teniendo concentraciones altas de contaminantes que llegan a distintos cuerpos de agua, afectando la flora y fauna presentes en ellos. Un ejemplo es la industria textil, la cual genera entre 200 y 500 litros de agua residual por tonelada de un producto terminado, afectando parámetros como, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), pH, color, entre otros, presentando una baja degradabilidad (Victoria, *et al.*, 2018). Un contaminante que se puede encontrar es el índigo carmín, tinte azul oscuro de la clase indigoídes ácidos, sustancia que se clasificada como material peligroso debido a que otorga alta coloración a las aguas, perturba la vida acuática; además de ser resistente a la acción de agentes químicos, luz y al calor, también considerada una sustancia cancerígena (Hernández, *et al.*, 2016).

Otro tipo de contaminantes que afectan son aquellos productos que contienen cromo hexavalente [Cr (VI)], proveniente de industrias dedicadas a la galvanoplastia, coloración de tintes, entre otros; el Cr (VI), este es desechado en el medio ambiente, por medio de las aguas residuales, causando daños firmes y graves a los humanos y organismos cercanos (Kexin, *et al.*, 2019); este se caracteriza por ser una sustancia química altamente toxica, carcinógena y mutagénica, el cual se trasportan con facilidad por sistemas acuáticas y mantos freáticos, poniendo en riesgo la salud y el ambiente (Yaozong, *et al.*, 2021).

Por otro lado, la eliminación de desechos es una problemática que se enfrenta consecutivamente, los residuos agrícolas son algunos de los cuales no tiene un cierto

control, y al no considerarlos de un peligro amplio, por año se generan grandes cantidades de toneladas, teniendo un problema de gestión, resultando de ello una fuente de contaminación.

Dados los ejemplos anteriores, se busca evaluar la eficiencia de adsorción en soluciones acuosas de los contaminantes anteriormente mencionados, pues resultan ser contaminantes con un alto impacto y de riesgo a la salud. Por otra parte, se hace el aprovechamiento de los desechos lignocelulósicos, poniéndolos como una solución, contrarrestando así la problemática de residuos y generando una nueva tecnología de tratamiento de agua.

JUSTIFICACIÓN

El uso de la biomasa agrícola lignocelulósica es una alternativa frente a ciertas problemáticas ambientales, estos materiales pueden utilizarse como productos adsorbentes de origen natural.

Estudios demuestran que dichos adsorbentes, como la celulosa microcristalina, presentan una alta eficiencia partiendo aproximadamente desde el 86% de efectividad para la adsorción, eliminando satisfactoriamente contaminantes químicos, como metales pesados, colorantes, hidrocarburos, etc. además de tener un bajo costo (Hashem, *et al.*, 2020). Los estudios realizados hacia la celulosa microcristalina tienen como resultado que el porcentaje de efectividad depende en gran parte del tipo de material lignocelulósico del cual se este obteniendo la celulosa microcristalina.

Estos contaminantes mencionados provocan afecciones a la flora y fauna en el medio acuático, en el caso de los metales pesados, son potencialmente devastadores en el medio ambiente, contaminado tierra, agua, aire, poniendo en riesgo incluso la salud del ser humano, un ejemplo de esto es el Cr (VI), caracterizado por ser citotóxico, cancerígeno y no degradable (Pérez, *et al.*, 2020); por otra parte, los colorantes, presentan un problema, no solo afectando el cuerpo de recepción final, si no que afecta a los procesos y sistemas que se desarrollan en la vida acuática, incluso ocasionando el impedimento del paso de la luz, en algunas de las ocasiones cuando llegan a las plantas tratadoras de agua municipal, llega afectar su operación, siendo difíciles de eliminar, o por su parte llegando a generar productos surfactantes (Zaruma, *et al.*, 2018).

Por tanto, en este trabajo se busca evaluar la sorción de dichos contaminantes, siendo objeto de estudio el Cr (VI) y el colorante índigo carmín, en soluciones acuosas, esto por medio celulosa microcristalina, producto adsorbente de origen lignocelulósico y sub productos residuales que se generen a partir del tratamiento, para la obtención de la celulosa microcristalina del tallo de rosal, con la finalidad de

conocer el más eficiente y ponerlo a estudio con diferentes parámetros, proponiéndolo como una solución a la problemática de la contaminación en el agua con metales pesados y colorantes.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de sorción de índigo carmín y Cr(VI) con los mejores subproductos del proceso de obtención de celulosa microcristalina a partir de tallo de rosa, tomando en cuenta los parámetros de tamaño de partícula del material, masa del adsorbente, pH, tiempo de contacto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Obtener celulosa microcristalina a partir del tallo de rosa residual, por medio de una hidrólisis alcalina.
- b) Evaluar el efecto del tamaño de partícula de la celulosa microcristalina en el proceso de sorción del colorante índigo carmín y el cromo hexavalente en medio acuoso.
- c) Evaluar el efecto de la masa de la celulosa microcristalina en el proceso de sorción del colorante índigo carmín y el cromo hexavalente en medio acuoso.
- d) Evaluar el efecto del pH en las soluciones acuosas de índigo carmín y cromo hexavalente, en contacto con la celulosa microcristalina
- e) Evaluar el efecto del tiempo de contacto en el proceso de sorción del colorante índigo carmín y con el cromo hexavalente en medio acuoso.

HIPÓTESIS

Los subproductos del proceso de obtención de celulosa microcristalina a partir del tallo de rosa serán capaces de remover tanto colorante índigo carmín como Cr(VI) de soluciones acuosas.

Capítulo 1. Generalidades

GENERALIDADES

1. Agua

El agua es una sustancia líquida, con una composición química formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno formando un enlace covalente, es el recurso natural con mayor porcentaje en el planeta, esta forma el 70% de la tierra, se puede encontrar en cualquiera de sus tres estados de segregación, líquido, sólido o gaseoso. Es un recurso muy importante pues cumple con un doble propósito, uno es el de ser el fundamento para la vida biológica y fuente para la vida humana.

1.1 Problemas relacionados con el agua

Una de las problemáticas que se ven muy a menudo con el agua, es la creciente contaminación que se puede apreciar tanto a simple vista, como por el estudio de muestras en laboratorios, ya sea porque presente turbiedad o algún mal olor y a nivel laboratorio por que presente algún contaminante que a simple vista no es visible.

Al tener concentraciones altas de estos contaminantes pueden generar perturbaciones significativas a factores bióticos y abióticos (Gomes, *et al.*, 2018).

1.2 Contaminación

Se le conoce como contaminación a toda perturbación, modificación que sufra algún medio o recurso natural, haciéndolo inaccesible para su aprovechamiento o uso, este generalmente se genera por el ser humano, derivado de las actividades que desarrolla, pesca, industria, agricultura, etc.

1.3 Fuentes de contaminación

Existen diversas fuentes de contaminación, de las cuales son donde se generan los contaminantes, algunos de ellos pueden ser por causa natural, ya sea por cadenas

alimenticias o algún fenómeno natural, a estas se les conoce como fuentes naturales, el otro es aquel provocado por el ser humano, donde por sus actividades cotidianas tiende a generar contaminantes, a este tipo de fuente se le conoce como antropogénicas.

1.3.1 Naturales

En el caso del recurso hídrico, se puede dar por la misma cadena del agua, desde el hecho que se transporte en río y pase por diferentes campos de cultivo, y que con ello llegue a arrastrar nutrientes, al generar el proceso de condensación, pueda arrastrar contaminantes en la atmosfera y que arrastre con ellos hasta su precipitación, los cuales pueden generar perturbaciones a los diferentes organismos que lo reciban.

1.3.2 Antropogénicas

Producida por el ser humano, en el que se aprecia mayormente el desarrollo industrial, el cual genera gran cantidad de residuos, que por mala gestión tienden a llegar a diferentes ecosistemas, generando una perturbación al medio.

1.4 Contaminación directa

Ocurre de manera inmediata, esta contaminación se da cuando su fuente se encuentra en el medio, ya sea por la generación de vertidos, fallas mecánicas en industrias, derrames o la misma acción de disponer un residuo en un lugar no adecuado.

1.5 Contaminación Indirecta

Aquella que se produce en un determinado tiempo, que por medio de proceso físico se llega a producir, ya sea por filtración, masas de aire o por medio de la lluvia, que arrastre el contaminante hasta algún ecosistema que presente riesgo.

1.6 Tipos de Contaminantes

Existen diferentes tipos de contaminantes, estos pueden clasificarse por su naturaleza, ya sean químicos, biológicos o físicos, y dentro de ellos se clasifican ya sea por su estructura molecular o bien biológica.

1.6.1 Contaminantes químicos

Se considera contaminante químico a aquel elemento o sustancia, que por su estado o características pueden generar un efecto adverso a la salud o medio ambiente, este por medio de las propiedades fisicoquímicas que posea, poniendo de ejemplo a colorantes o a metales pesados.

1.6.2 Colorantes.

Sustancias orgánicas que son capaces de generar tinción, estos se ocupan generalmente en industrial, para teñir diferente tipo de prendas o productos.

1.6.2.1 Índigo carmín

El índigo carmín o indigotina, es un colorante sintético utilizado por las industrias para diferentes aplicaciones de tinción, este presenta un peso molecular de 466.35, con una gran solubilidad en agua, su rango de pH esta entre 11.5 y 14, en las lecturas se encuentra a una longitud de onda de 610 nm, considerado una sustancia recalcitrante altamente contaminante (Caryn *et al.*, 2018).

Dicha sustancia es clasifica como material peligroso por impacto que tiene al tener contacto con el agua, pues presenta una alta coloración perturbando la vida acuática, presentando una alta resistencia a la acción de agentes químicos, luz y el calor, por otra parte, esta es considerada como sustancia cancerígena, ocasionando irritaciones en piel, ojos al punto de dañar la córnea (Victoria *et al.*, 2018).

1.6.2.2 Estructura química del índigo carmín

El colorante índigo carmín es el índigo sulfatado, polvo de un color azul oscuro y cristalino con fórmula química $C_{16}H_8O_8N_2S_2Na_2$, cuya estructura se muestra en la Figura 1.1.

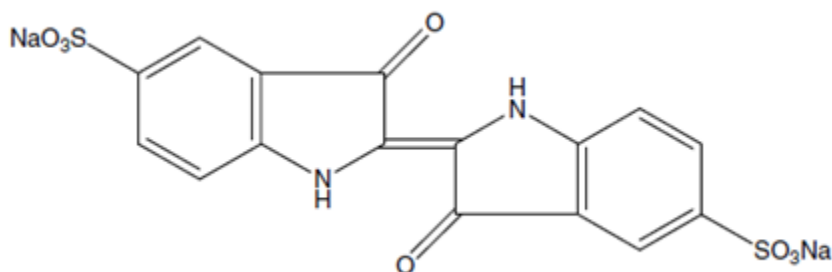


Figura 1.1. Estructura química del índigo carmín.

1.6.3 Metales

Elementos químicos que se caracterizan por la densidad que poseen, los cuales pueden ser tóxicos, dependiendo de las concentraciones en las que se encuentren.

1.6.3.1 Cromo hexavalente

El cromo hexavalente Cr (VI), es perteneciente al grupo de los metales pesados con características de ser inodoro e insípido, al ser un cromo hexavalente, es considerado un metal tóxico, el cual es generado por el efecto de procesos industriales, siendo de preocupación ambiental por su toxicidad.

El Cr (VI) existe en el medio acuático acumulándose en la cadena alimentaria, generando una afectación a la fisiología humana, ocasionando problemas a la salud como irritación a la piel, hasta problemas más graves como carcinoma de pulmón, este es clasificado en el grupo 1 de cancerígeno para los seres humanos por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (Carreño *et al.*, 2016).

1.7 Residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos son desechos agrícolas que se generan de flores, frutas o semillas, estos en su mayoría se encuentran conformados por biopolímeros como lignina, celulosa y hemicelulosa, las cuales se han vuelto de interés, pues en la actualidad se genera gran cantidad de productos a partir del aprovechamiento de las características que posee (Pérez *et al.*, 2020).

1.7.1 Celulosa

Polímero natural que se produce en el proceso de fotosíntesis, siendo las plantas una de las fuentes más importantes para su obtención, esta se encuentra en la pared celular de los vegetales, en forma de microfibras, la estructura de esta se presenta en la Figura 1.2, debido a que los enlaces de hidrogeno con pocos, se considera amorfa, mientras que ciertas disposiciones de dichos enlaces generan formas cristalinas.

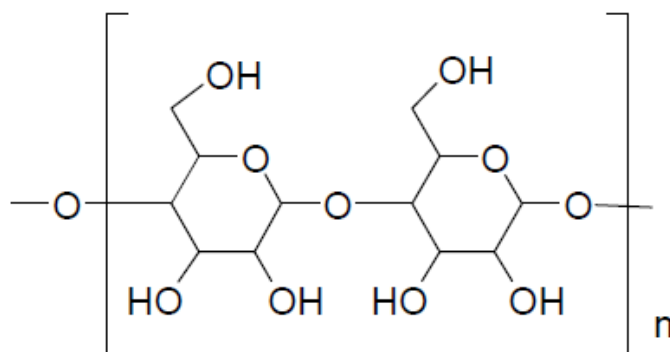


Figura 1.2. Estructura de la celulosa

1.7.2 Hemicelulosa

Heteropolisacárido constituido por diferentes monómeros formando cadenas de pentosas o hexosas, con una estructura química más compleja que la celulosa, como se muestra en la Figura 1.3, este puede reaccionar con mayor facilidad, debido a que su estructura no es cristalina.

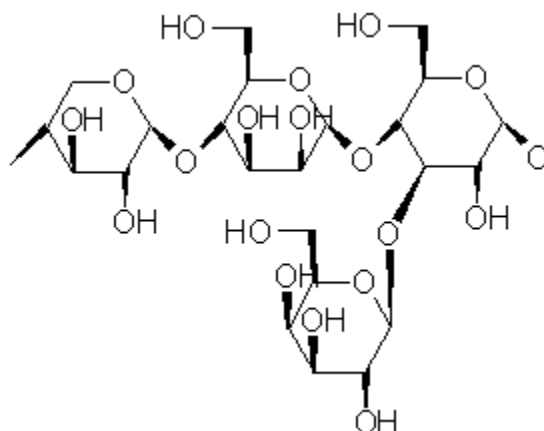


Figura 1.3. Estructura química de la hemicelulosa

1.7.3 Lignina

Polímero no soluble en agua, la cual se encuentra incrustada en las fibras de la celulosa y hemicelulosa, brindando protección a la celulosa, esta posee una variedad de compuestos, por lo que su estructura molecular es compleja (Figura 1.4), este se caracteriza por ser un polímero amorfo, insoluble y difícil de aislar en su forma natural.

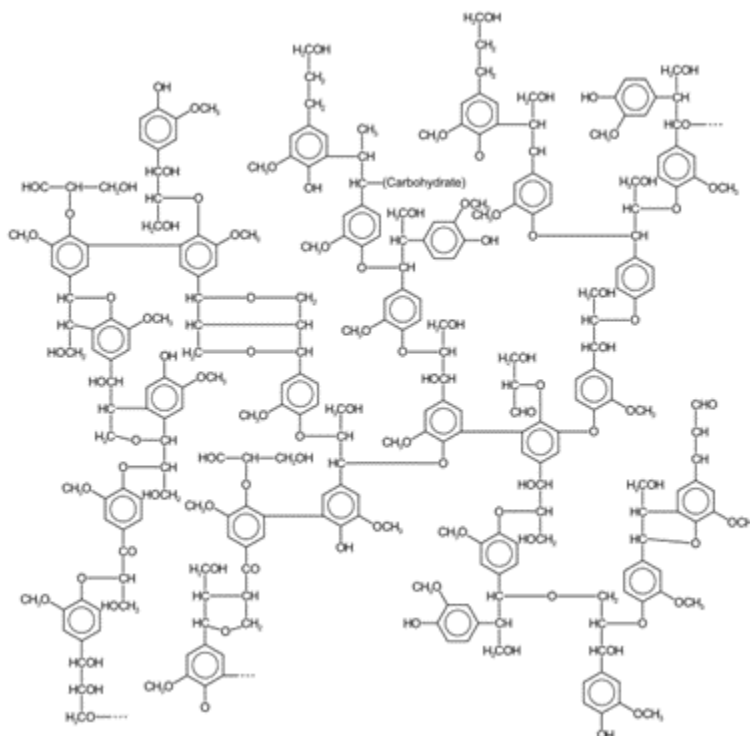


Figura 1.4. Estructura molecular de la lignina.

1.8 Celulosa microcristalina

Es una celulosa purificada, en la cual se fragmenta su pared celular, el cual se caracteriza por ser un polvo blanco, extraído de materiales orgánicos (Garba *et al.*, 2020).

1.8.1 Formas de obtención de celulosa microcristalina

Los procesos más utilizados para la obtención de celulosa microcristalina son por hidrólisis alcalina o hidrólisis ácida. De los cuales, la hidrólisis ácida con la alcalina, son las que presentan mejor rendimiento para la obtención de celulosa, ya que facilitan su degradación y separación (Garba *et al.*, 2020). En la Tabla 1, se mencionan las ventajas y desventajas entre los métodos con mejor rendimiento.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los métodos.

Proceso	Ventaja	Desventaja
Hidrólisis Alcalina	Reduce el grado de polimerización, elimina la región amorfa y aumenta la superficie de CMC, eficiencia en la remoción de hemicelulosa.	Algunas bases se convierten en sales durante el proceso, lo que impide su recuperación pasando a formar parte de la biomasa. (De la rosa, 2015).
Hidrólisis Ácida	Permite separar enlaces estructurales entre lignina y los carbohidratos, evita implicaciones de alta temperatura y presión, CMC más eficiente la cual llega a contener más de 97% de celulosa de alta cristalinidad en base seca (Viloria <i>et al.</i> , 2014).	

1.9 Adsorción

La adsorción es una propiedad que poseen ciertos materiales, la cual indica la capacidad de poder fijar en su superficie moléculas orgánicas o iones inorgánicos, dicha técnica se utiliza en tratamiento de aguas, mostrando ser un proceso eficiente para remover diferentes compuestos.

La capacidad de adsorción se llega a determinar en diversas ocasiones por la estructura morfológica que poseen los materiales, ya sea micro porosa, macro porosa o meso porosa, y el área de contacto superficial con la que cuentan.

1.9.1 Adsorbente natural

Aquellos materiales lignocelulósicos en los cuales su pared celular presenta principalmente celulosa, hemicelulosas y lignina, favorables para la adsorción, como investigaciones actuales lo han demostrado, poniéndolos en práctica y cada vez siendo más investigados y obtenidos.

1.9.2 Microcelulosa cristalina como adsorbente

Wu et al., (2020), prepararon un nuevo adsorbente a base de celulosa (MCC/TEPAA-BCTTC) con una alta densidad de múltiples de sitios activos de adsorción (N, O, S), el cual se preparó mediante la reticulación con epíclorhidrina de la celulosa microcristalina (MCC) con tetraetilenpentamina (TEPA), seguida de un injerto con tritiocarbonato de bis(carboximetilo) (BCTTC). Se demostró que las tasas de eliminación de MCC/TEPAA-BCTTC para Pb(II) (1 mg/L), Cu(II) (3 mg/L) y Cr (VI) (1 mg/L) alcanzaron el 100%, el 98% y el 99%, respectivamente. Sus resultados indican que la elevada tasa de eliminación de MCC/TEPAA-BCTTC de iones de metales pesados aniónicos y catiónicos en entornos de baja concentración de iones pesados mixtos de metales pesados de baja concentración se debe principalmente a la alta densidad de sitios de adsorción múltiples que actúan a través de múltiples mecanismos cooperativos.

Septevani et al., (2018), elaboraron una celulosa super adsorbente a partir del racimo de fruta vacía de la palma aceitera (EFB-NCS) obtenida por medio de una deslignificación, lo cual ayudo a reducir la cantidad de lignina y la hemicelulosa, la hidrolisis se llevó a cabo con ácido sulfúrico. Está mostrando una capacidad selectiva en la adsorción de metales pesados, en su caso tratándose del Pb (II), con una eficiencia del 86%, y una capacidad de adsorción de 24.94 mg/g con un tiempo corto de tratamiento, siendo de 180 s. La concentración inicial que se utilizó para las pruebas fue 30 ppm. La mayor adsorción que se tuvo se atribuye a un mayor número de sitios de unión en la superficie de las nanofibras, el diámetro trabajado fue en de un intervalo entre 9.6 a 2.5 nm. Las pruebas resultaron favorables y con ello se determinan que es un excelente adsorbente, sin embargo, al momento de realizar otras corridas, el material disminuía su eficiencia.

Caryn et al., (2018), utilizo celulosa cristalina extraída de hojas de palma aceitera como un adsorbente novedoso (OPF MCC) el cual se encontraba inmovilizado por una placa de vidrio, esto con el fin de reducir el paso de filtrado después de su tratamiento, removiendo el colorante azul de metileno, revelando una capacidad de adsorción de 12.85 mg/g en la isoterma de Laingmuir, la adsorción se preparó en 25 ml de 10 mg/L de solución de colorante, manipulando un pH final de 10, aireada a 200 ml/min, por 150 minutos a una temperatura ambiente, en el cual concluyen que el MCC OPF, puede explotarse como una tecnología para el tratamiento de agua.

Pérez et al., (2018), elaboraron celulosa a partir de la cascara de cacao, esta para remover cromo, obteniendo una adsorción máxima de 24.7% a una temperatura ambiente de 28°C, manejando un tamaño de partícula de 8 mm. La solución utilizada fue elaborada con dicromato de potasio a una concentración de 10 ppm, Los resultados del estudio cinético de adsorción de cromo se presentan una velocidad de remoción alta a la temperatura indicada, pero solo durante 120 minutos, pasados los 240 minutos esta empieza a disminuir, esto debiéndose al

agotamiento de sitios activos, después de 6h de contacto se obtuvo un equilibrio de adsorción cercano a 0.83 mg de metal.

Capítulo 2.

Desarrollo Experimental

2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la Figura 2.1, se muestra un diagrama general del desarrollo experimental llevado a cabo en este trabajo.

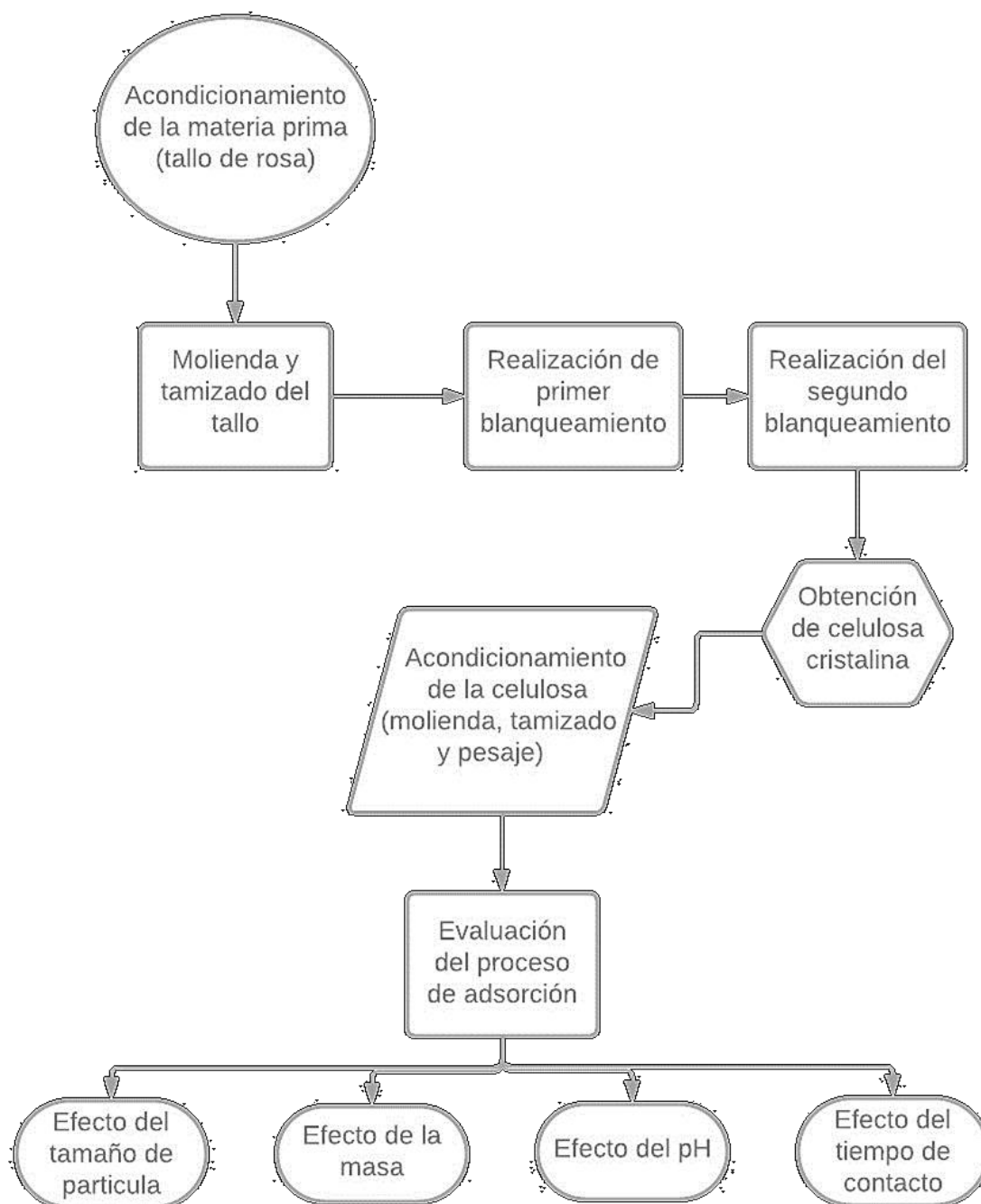


Figura 2.1 Diagrama general del desarrollo experimental.

2.2 Estudio preliminar de adsorción con los subproductos de la obtención de la celulosa microcristalina del tallo de rosa

Se evaluó de manera preliminar el grado de adsorción de los subproductos (RS, B1-MC3, B2-MC3 y MCC3) de la celulosa microcristalina obtenida a partir de los tallos de rosa residual, por medio de un proceso de deslignificación sucesiva con peróxido de hidrógeno alcalino obtenidos por Ventura-Cruz y colaboradores en 2020. En la Tabla 2.1 se muestra la identificación de cada uno de los subproductos antes mencionados

Tabla 2.1 Identificación de los subproductos de la obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa

Subproducto	Tipo de proceso
RS	Tallo de rosa natural
MCC3	Hidrólisis alcalina
B1-MC3	Blanqueamiento 1
B2-MC3	Blanqueamiento 2-celulosa purificada

Para la evaluación preliminar de la adsorción de colorante índigo carmín y cromo hexavalente, se tomaron en cuenta factores como el tiempo de contacto, concentración de los contaminantes y la temperatura. En primer lugar se prepararon soluciones del colorante índigo carmín de una concentración de 20 mg/L y de Cr(VI) de 20 mg/L. En estos experimentos, se trabajó con los materiales tamizados a malla 80, se pesaron 0.05 g de RS, B1-MC3, B2-MC3 y MCC3 por duplicado en tubos cónicos de 15 mL, después se les adicionó a cada tubo 10 mL de la solución de 20 mg/L de IC y se pusieron en contacto por un tiempo de 24 horas en un rotor mecánico de la marca Glas-Col a 40 rpm a temperatura ambiente (18 a 20 °C), el procedimiento anterior se realizó también con la solución de 20 mg/L de Cr(VI), terminado el tiempo de contacto se separaron las fases, y con la fase líquida se realizó la cuantificación del colorante índigo carmín y cromo hexavalente en un

espectrofotómetro UV-Vis marca Hach DR-6000 a una longitud de onda de 610 nm y 540 nm respectivamente. Los materiales bajo estas condiciones se les denominó RS-A1, B1-MC3-A1, B2-MC3-A1 y MCC3-A1 para índigo carmín y RS-A2, B1-MC3-A2, B2-MC3-A2 y MCC3-A2 para Cr(VI).

Después se pesaron 0.05 g de RS, B1-MC3, B2-MC3 y MCC3 por duplicado en tubos cónicos de 15 mL, después se les adicionó a cada tubo 10 mL de la solución de 20 mg/L de IC y se pusieron en contacto por un tiempo de 24 horas en un baño maría marca Lab-Tech a 28.2 °C a 115 rpm, el procedimiento anterior se realizó también con la solución de 20 mg/L de Cr(VI), terminado el tiempo de contacto se separaron las fases, y con la fase líquida se realizó la cuantificación del colorante índigo carmín y cromo hexavalente en un espectrofotómetro UV-Vis marca Hach DR-6000 a una longitud de onda de 610 nm y 540 nm respectivamente. Los materiales bajo estas condiciones se les denominó RS-B1, B1-MC3-B1, B2-MC3-B1 y MCC3-B1 para índigo carmín y RS-B2, B1-MC3-B2, B2-MC3-B2 y MCC3-B2 para Cr(VI).

2.2.1 Cuantificación de índigo carmín y Cr(VI)

Para la cuantificación del colorante por medio de UV-Vis, se elaboró una curva de calibración, con concentraciones de 0.5, 1.5, 5, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 mg/L, y se procedió a determinar las absorbancias de cada muestra de los experimentos realizados a una longitud de onda de 610 nm.

En el caso de la cuantificación de Cr(VI), se realizó una curva de calibración, partiendo de una solución madre de 5 ppm en 100 mL, a partir de esta se tomaron diferentes alícuotas, con el fin de obtener 5 concentraciones, las cuales fueron de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 mg/L, a cada una de las concentraciones se les agrego 0.5 mL de ácido sulfúrico, 0.5 mL de difenil carbazida y 0.5 mL de ácido nítrico. En cuanto a las muestras, se tomaron 0.2 mL de cada una, agregándole 1 mL de ácido sulfúrico, 1 mL de ácido nítrico y 1 mL de difenil carbazida, posteriormente se les agrego agua destilada hasta obtener 5 mL de volumen total y se determinaron las

absorbancias tanto de la curva como de las muestras en el espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 540 nm.

2.3 Acondicionamiento y obtención del subproducto B1-MC3 de la obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa

Conociendo el material más eficiente de los subproductos del apartado anterior, se realizó el proceso de obtención modificando condiciones tanto de concentración de los reactivos químicos, como el tiempo de reacción y temperatura de reacción. El tallo de rosa utilizado en este proceso se obtuvo de diferentes mercados municipales, uno ubicado en la comunidad de Santiago Tianguistenco y del mercado de Ocoyoacac, ambos en el Estado de México.

A los tallos se le retiró las espinas y se cortaron en tamaños más pequeños, después se trituraron para disminuir el tamaño de partícula entre sus fibras y tener una mejor superficie de contacto con los tratamientos a los cuales fue sometido. Este material triturado se lavó con agua destilada para poder desprender impurezas del material, que podrían ser acarreadas en su trayecto, luego se secó a temperatura de 45°C, durante 5 días o hasta que no existió presencia de humedad. Posteriormente se realizó una molienda mecánica y por último el material se tamizó a malla No. 100. A este material se le denominó RS.

20 g del material RS, fue tratado con una solución de NaOH 0.375 M, con el fin de solubilizar de forma parcial la hemicelulosa y eliminar las ceras residuales, pectina y grasas naturales, después, se le agregaron 400 mL de la solución de NaOH con 5 mL de peróxido de hidrógeno a una concentración de 8 M, esta mezcla se colocó en un horno de calentamiento a una temperatura de 50 °C, por tres horas a 110 rpm. Una vez pasado el tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se realizaron lavados con agua destilada, separando la fase sólida de la líquida, hasta ajustar el pH a 7, la parte sólida obtenida se colocó en charolas y se puso en horno de secado, a 45°C por una semana para quitar la humedad, a este material se le denominó MCC3.

Una vez secado el material se le aplicó un segundo tratamiento alcalino, llamado lignificación o bien conocido como blanqueamiento, en el cual se elimina la lignina de las fibras lignocelulósicas (esto es necesario para eliminar la hemicelulosa residual), a 5 g del material MCC3 se agregaron a un matraz Erlenmeyer y se le adicionaron 50 mL de las soluciones de NaOH a una concentración 8 M y 50 mL de H_2O_2 a una concentración de 2 M, esta mezcla se colocó en baño maría bajo las mismas condiciones de la primera hidrólisis, mencionadas anteriormente, solo reduciendo el tiempo a dos horas, terminado este tiempo, el material resultante denominado B1-MC3 se lavó con agua destilada hasta que el agua de lavado tuviera pH de 7 y después se colocó en un horno de calentamiento, para quitar la humedad presente, posteriormente se molió y con el material B1-MC3 seco se volvió a repetir el procedimiento anterior para obtener la celulosa microcristalina (B2-MC3), el cual ya seco se molió y tamizó a un tamaño de malla No. 100.

2.4 Proceso de adsorción de los subproductos lignocelulósicos con los contaminantes.

2.4.1 Efecto del tamaño de partícula de los subproductos lignocelulósicos en el proceso de sorción

Los materiales en su forma natural se molieron y tamizaron en dos tamaños de partícula diferentes, malla No. 80 y 100. De cada tamaño de partícula se pesaron por triplicado 0.1 g del material en tubos cónicos de 15 mL, a los cuales se les agregó 10 mL de una solución de 50 mg/L de colorante índigo carmín y se pusieron en contacto por 24 horas en un rotor mecánico a temperatura ambiente, terminado el tiempo de contacto, se separaron las fases y a la fase líquida se cuantificó la concentración final de índigo carmín por UV-Vis a 610 nm. El proceso anterior se llevó a cabo también con una solución de Cr(VI) de concentración inicial de 5 mg/L, la cuantificación de este contaminante se llevó a cabo por UV-Vis de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-044-SCFI-2014 a 540 nm.

Con este experimento se pretendió conocer si el tamaño de partícula del material tiene un efecto en el proceso de sorción.

2.4.2 Efecto de la masa de los subproductos lignocelulósicos en el proceso de sorción

Las masas que se utilizaron fueron: 0.05, 0.075, 0.1, 0.15, 0.25, 0.5, 0.75 y 1 g de los subproductos lignocelulósicos de la obtención de la CMC a partir del tallo de rosa, se pesaron por triplicado en tubos cónicos de 15 mL (con el mejor tamaño de partícula para cada contaminante), a los cuales se les agregó 10 mL de una solución de 50 mg/L de colorante índigo carmín y se pusieron en contacto por 24 horas en un rotor mecánico a temperatura ambiente, terminado el tiempo de contacto, se separaron las fases y a la fase líquida se le cuantificó la concentración final de IC por UV-Vis a 610 nm. El proceso anterior se llevó a cabo también con una solución de Cr(VI) de concentración inicial de 5 mg/L, la cuantificación de este contaminante se llevó a cabo por UV-Vis de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-044-SCFI-2014 a 540 nm.

2.4.3 Efecto del pH en el proceso de sorción

Se pesaron por triplicado con la mejor masa del material obtenida del apartado anterior en tubos cónicos de 15 mL, a los cuales se les agregó 10 mL de soluciones de 50 mg/L de colorante índigo carmín a diferentes pH (2, 4, 6, 7, 8 y 10) y se pusieron en contacto por 24 horas en un rotor mecánico a temperatura ambiente, terminado el tiempo de contacto, se separaron las fases y a la fase líquida se le cuantificó la concentración final de índigo carmín por UV-Vis a 610 nm. El proceso anterior se llevó a cabo también con una solución de Cr(VI) de concentración inicial de 5 mg/L, la cuantificación de este contaminante se llevó a cabo por UV-Vis de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-044-SCFI-2014 a 540 nm.

2.4.4 Efecto del tiempo de contacto

Se pesaron por triplicado con la mejor masa de CMC en tubos cónicos de 15 mL, a los cuales se les agregó 10 mL de solución de 50 mg/L de colorante índigo ajustada al mejor pH y se pusieron en contacto a diferentes tiempos (5, 10, 15, 20, 30 min, 1, 3, 5, 8, 12, 24 y 48 horas) en un rotor mecánico a temperatura ambiente, terminado

el tiempo de contacto, se separaron las fases y a la fase líquida se le cuantificó la concentración final de índigo carmín por UV-Vis a 610 nm. El proceso anterior se llevó a cabo también con una solución de Cr(VI) de concentración inicial de 5 mg/L, la cuantificación de este contaminante se llevó a cabo por UV-Vis de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-044-SCFI-2014 a 540 nm.

Capítulo 3.

Resultados y discusión

3.1 Estudio preliminar de adsorción con los subproductos de la obtención de la celulosa microcristalina del tallo de rosa

Al finalizar los experimentos de la evaluación preliminar de los subproductos de la obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa, físicamente se observó un cambio de coloración de las soluciones acuosas lo que se atribuye a un aumento en la adsorción de los contaminantes con los diferentes materiales (Figuras 3.1 y 3.2).



Figura 3.1. Cambio de coloración de las soluciones acuosas con índigo carmín, después del proceso de sorción.

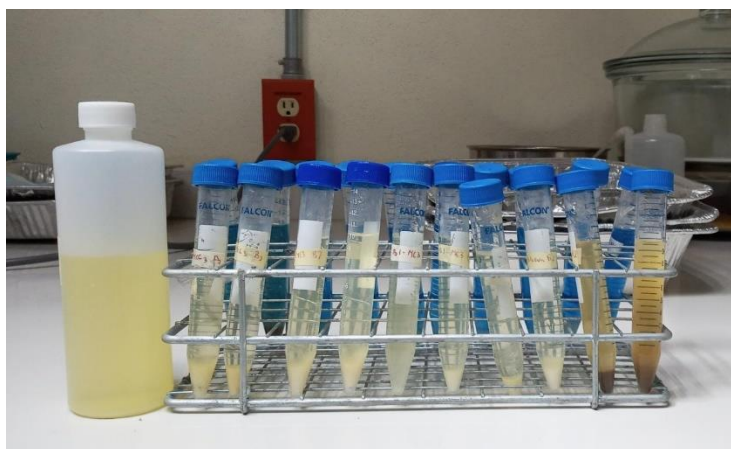


Figura 3.2. Cambio de coloración de las soluciones acuosas con Cr (VI), después del proceso de sorción.

Los valores de concentración obtenidos de índigo carmín al finalizar el tiempo de contacto de la prueba preliminar, tanto para las muestras que fueron sometidas a temperatura como a las que estuvieron a temperatura ambiente, se muestran en la Tabla 3.1, en donde se observan cambios entre las diferentes condiciones. Con la ecuación del gráfico obtenido de la curva de calibración, se despejó “y” para conocer la concentración del contaminante de cada una de las muestras y comparar cada valor con la concentración inicial del índigo carmín que fue de 18 mg/L. La concentración del colorante en cada muestra analizada está por debajo de la concentración inicial.

Tabla 3.1. Concentraciones de índigo carmín después del proceso de sorción.

Materiales	Concentración (mg/L)
RS - A1	15.04
RS - B1	17.31
MCC3 - A1	13.06
MCC3 - B1	14.93
B1 - MC3 - A1	9.55
B1 - MC3 - B1	16.35
B2 - MC3 - A1	17.36
B2 - MC3 - B1	16.88

Se observó que el blanqueamiento 1 (B1-MC3-A1) puesto a temperatura ambiente, tuvo un porcentaje de remoción del 47%, el material que obtuvo menor remoción fue el blanqueamiento 2 (B2-MC3-A1) puesto a temperatura ambiente, teniendo un porcentaje de remoción de apenas el 3.62%, y el cual tiene una remoción semejante al de la rosa residual (RS - B1), con un porcentaje de 3.84 (ver Figura 3.3)

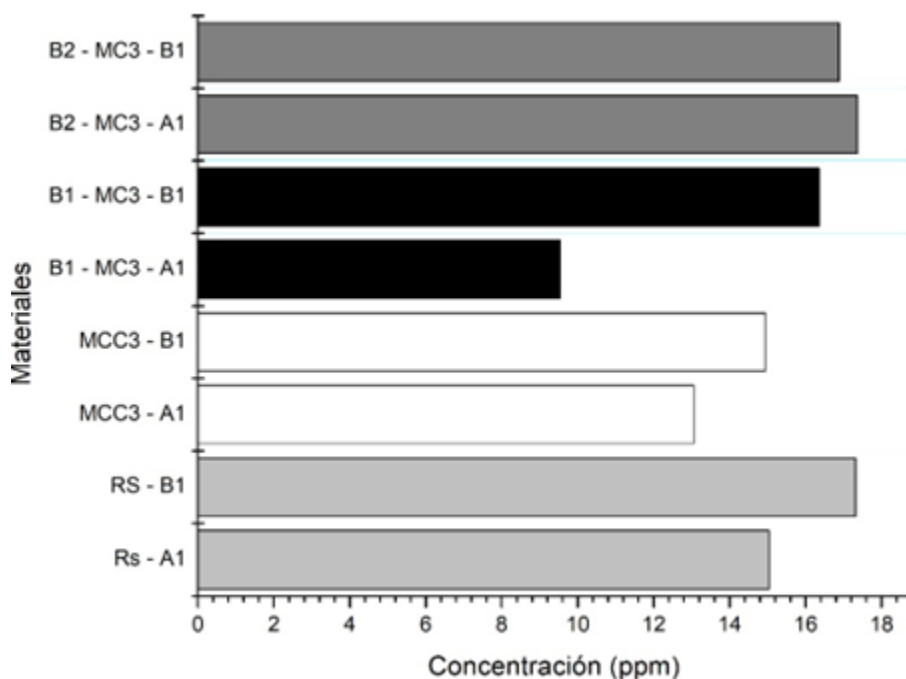


Figura 3.3. Comparación de las concentraciones finales del índigo carmín, después del proceso de sorción con los materiales.

Con respecto a los resultados obtenidos para la remoción preliminar de Cr(VI), se obtuvieron las absorbancias de las muestras después del contacto para obtener la concentración del Cr(VI) a partir de estos valores, se despejó “y” de la ecuación que se obtuvo de la curva de calibración que se realizó para la cuantificación de este contaminante, obteniendo los valores que se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Concentraciones de Cr(VI) después del proceso de sorción.

Materiales	Concentraciones (mg/L)
Rs - A2	9.84
RS - B2	8.51
MC3 - A2	9.48
MCC3 - B2	6.27
B1 - MC3 - A2	4.43
B1 - MC3 - B2	2.90
B2 - MC3 - A2	5.14
B2 - MC3 - B2	7.08

De acuerdo con los resultados obtenidos que se observan en la Figura 3.3, el que mostró mayor eficiencia de adsorción, fue el blanqueamiento uno (B1-MC3), tanto para temperatura ambiente como a temperatura de 28 °C, teniendo un porcentaje de remoción del 77.52 y 91.28% respectivamente.

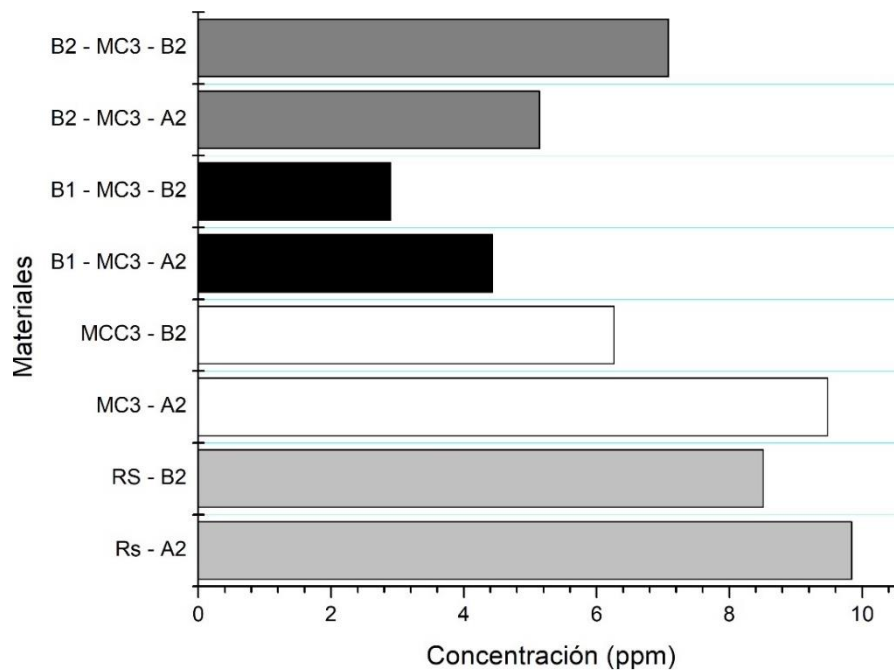


Figura 3.4. Comparación de las concentraciones finales del Cr(VI), después del proceso de sorción con los materiales.

3.2 Acondicionamiento y obtención del subproducto B1-MC3 de la obtención de celulosa microcristalina del tallo de rosa

De acuerdo con los resultados preliminares que se discutieron anteriormente el material denominado B1-MC3 (tallos de rosa con el blanqueamiento uno), fue el subproducto que mejores resultados de remoción presentó para ambos contaminantes, por lo que se procedió a obtener más de este material, cambiando las condiciones del proceso como se mencionó en el apartado 2.3. En la Figura 3.4, se muestran el tallo de rosa natural ya acondicionado.



Figura 3.5. Tallos de rosa molidos y tamizados a malla No. 100

La primera hidrólisis del material se llevó a cabo como se indicó en el capítulo anterior, una vez pasado el proceso de esta primera hidrólisis, se sacó del horno de secado y se dejó enfriar a temperatura ambiente, se observa un cambio de color de la fase líquida a un café intenso, así como también un cambio en el color de la fase sólida de color arena a un café claro tal como se aprecia en la Figura 3.5.



Figura 3.6. Material MCC3 obtenido de la primera hidrólisis de los tallos de rosa

Después del blanqueamiento 1, la parte sólida se lavó hasta ajustar el pH a 7, este se colocó en un horno de secado para retirar la humedad presente, una vez pasado este proceso se sacó del horno, obteniendo el material B1-MC3, con una coloración blanca, como se aprecia en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Tallos de rosa después del primer blanqueamiento

3.3 Proceso de adsorción del subproducto B1-MC3 con los contaminantes.

3.3.1 Efecto del tamaño de partícula en el proceso de adsorción de los contaminantes

A partir de la obtención del material denominado B1-MC3, este se tamizó a dos tamaños de partícula diferentes a malla No. 80 y No. 100, esto para evaluar si el tamaño de partícula del material tiene algún efecto en la adsorción de los contaminantes en estudio.

En la Figura 3.8 se observan los resultados obtenidos del porcentaje de remoción para el colorante índigo carmín con los dos diferentes tamaños de partícula del material, indicando que, no existe un efecto del tamaño de partícula del material en proceso de adsorción para el colorante índigo carmín.

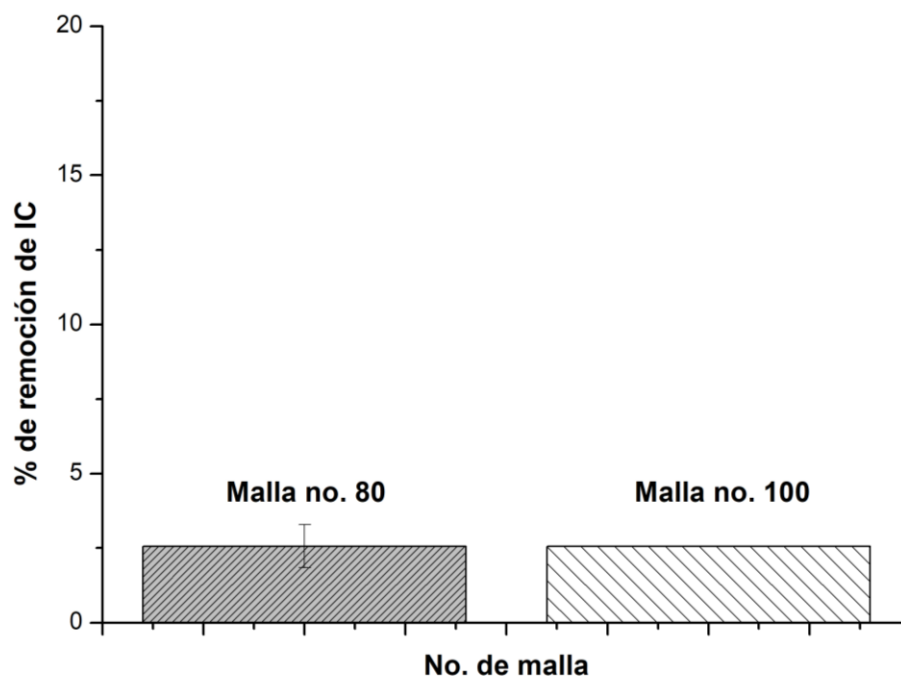


Figura 3.8 Efecto del tamaño de partícula en la remoción de índigo carmín con B1-MC3.

El mismo comportamiento se observó con el material en la remoción de cromo hexavalente para ambos tamaños de partícula (Figura 9), es decir, no existió un efecto en la remoción de cromo hexavalente por el tamaño de partícula del material, por lo tanto, para los experimentos siguientes se utilizó el material con el tamaño de partícula no. 100.

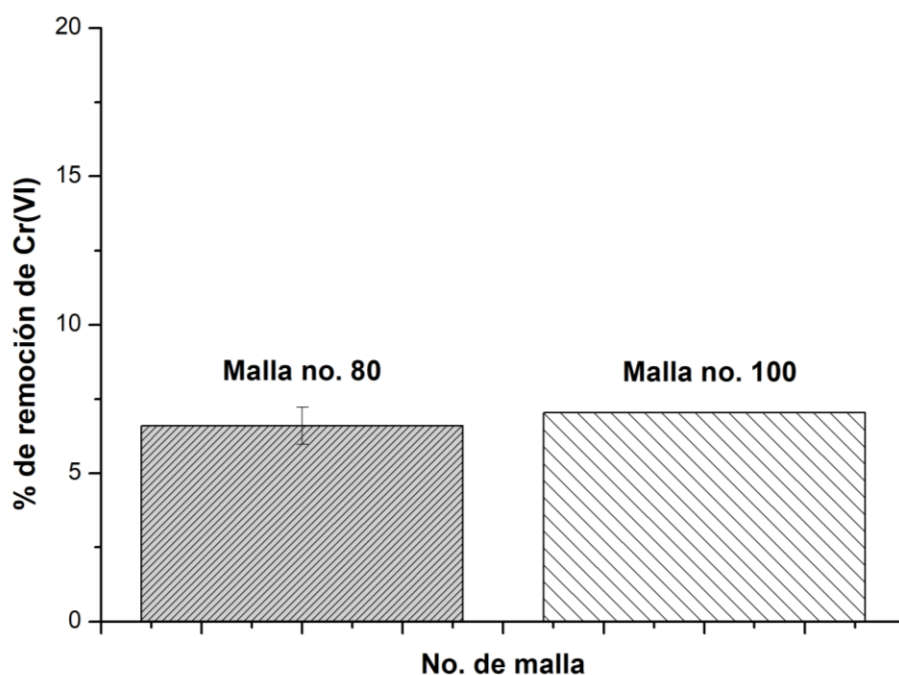


Figura 3.9 Efecto del tamaño de partícula en la remoción de Cr(VI) con B1-MC3.

3.3.2 Efecto de la masa del adsorbente en el proceso de adsorción de los contaminantes

Se evaluaron diferentes masas del material B1-MC3, de 0.05 a 0.5 g, los cuales al finalizar el contacto con la solución de índigo carmín de 50 mg/L y determinar la concentración final de este, se observa en la Figura 3.10, que no existe un efecto de la masa del adsorbente en el porcentaje de remoción del contaminante los resultados se observan en la Figura 3.10, se puede ver que en la mayoría de las masas evaluadas remueven entre 20 a 24% del contaminante.

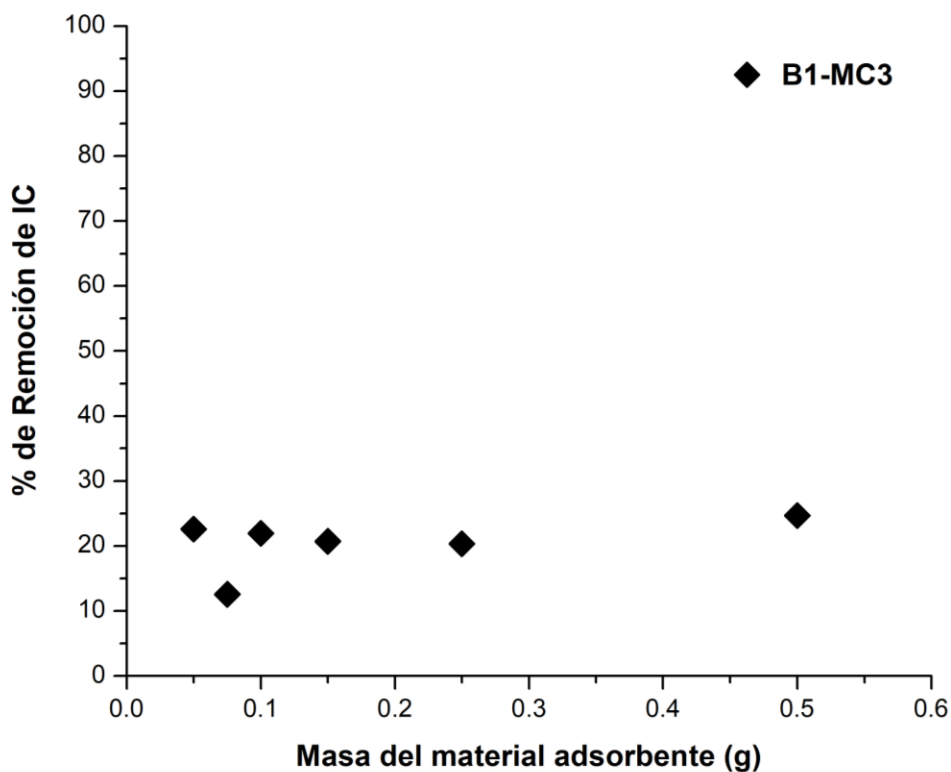


Figura 3.10 Efecto de la masa del adsorbente B1-MC3 en la remoción de índigo carmín.

Un comportamiento contrario se observó en el efecto de la masa del adsorbente en la remoción de Cr(VI) , de acuerdo con lo que se observa en la Figura 3.11, conforme va aumentando la masa de B1-MC3 aumenta el porcentaje de remoción de 5.99 a 36.84% del contaminante.

De acuerdo con los resultados anteriores, se decidió utilizar una masa del adsorbente de 0.1 g, para facilitar la separación de las fases en los siguientes experimentos.

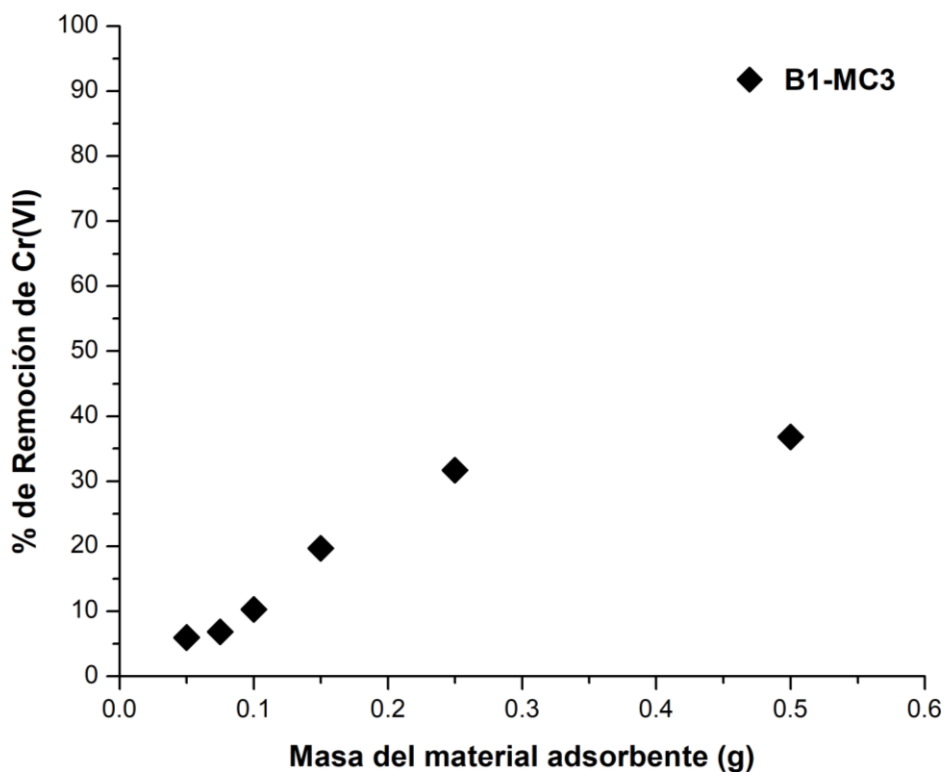


Figura 3.11 Efecto de la masa del adsorbente B1-MC3 en la remoción de Cr(VI).

3.3.3 Efecto del pH en el proceso de adsorción de los contaminantes

Para esta parte del trabajo, el resultado es importante, pues que siempre que se suele tratar agua, el efluente difiere de diferente pH, no siempre se tiene un pH neutro, en algunos casos puede llegar a ser alcalino o ácido según sea el caso.

En la evaluación del efecto del pH, se utilizó el tamaño de partícula del material adsorbente malla 100 y la masa del mismo de 0.1 g, y se colocaron en contacto con las soluciones de pH 2, 4, 6, 7, 8 y 10 de ambos contaminantes.

En la remoción de índigo carmín, se observa un efecto del pH en el porcentaje de remoción de dicho contaminante, este comportamiento se observa en la Figura 3.12. A pH 2 es donde se obtiene una mayor remoción con casi un 70%.

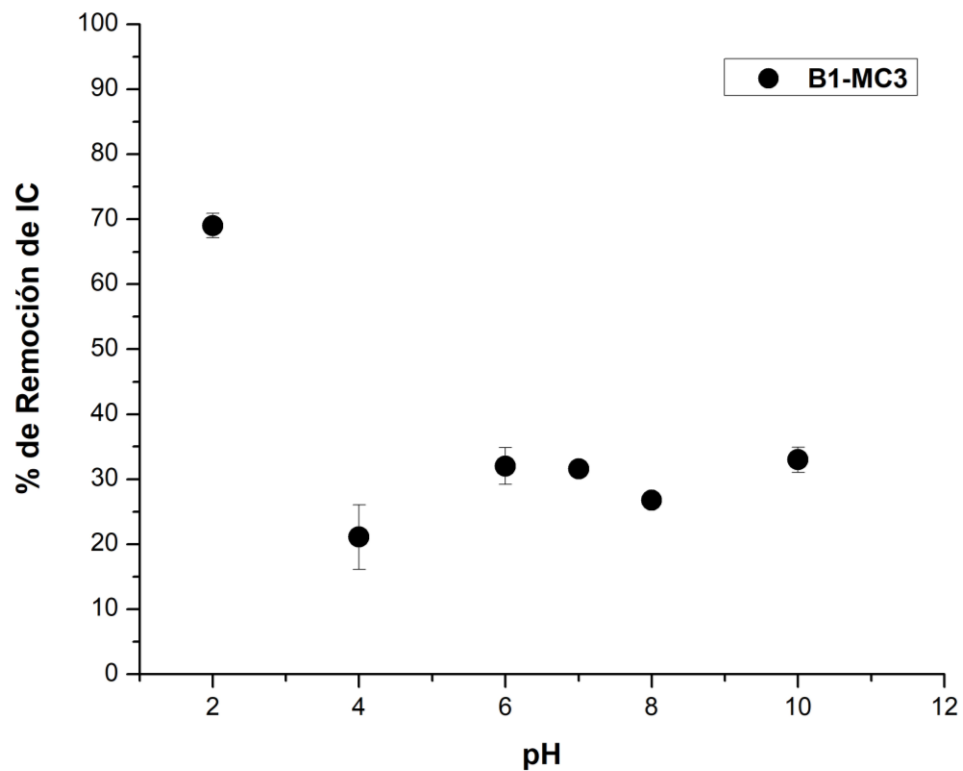


Figura 3.12 Efecto del pH en la remoción de índigo carmín con B1-MC3.

En la Figura 3.13, se observa el comportamiento del efecto del pH en la remoción de Cr(VI) con el material adsorbente B1-MC3, y también se observa que el pH tiene un efecto en la remoción de este contaminante, siendo el pH 2 el más efectivo, obteniendo un 32% de remoción aproximadamente.

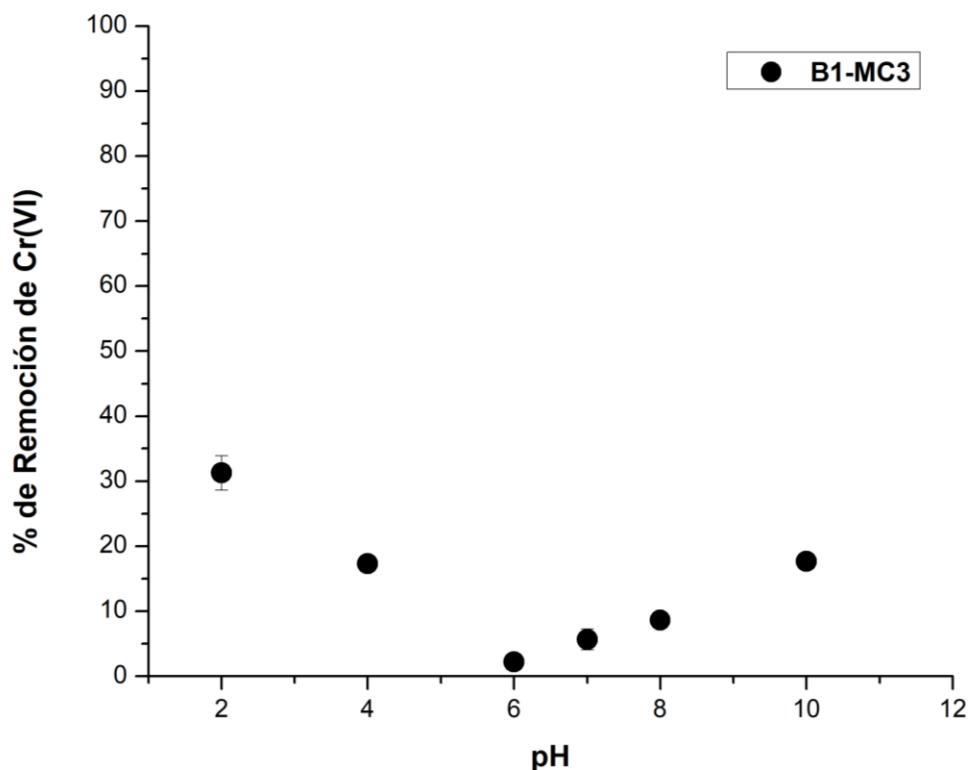


Figura 3.13 Efecto del pH en la remoción de Cr(VI) con B1-MC3.

3.3.4 Efecto del tiempo de contacto en el proceso de adsorción de los contaminantes

El tiempo es uno de los factores importantes en el proceso de adsorción, debido a que se obtiene el parámetro de tiempo de equilibrio, el cual, es el tiempo máximo donde el material adsorbente remueve a los contaminantes, además también se obtienen parámetros de velocidad.

Los tiempos evaluados fueron de 5 minutos hasta 72 horas, de acuerdo con la Figura 3.14, se observa que el material B1-MC3 remueve al índigo carmín a partir de 10 minutos y a partir de 16 horas se llega al equilibrio, es decir, el tiempo máximo que este adsorbente remueve al colorante en estudio y en la gráfica también se observa que la adsorción es rápida en los primeros tiempos estudiados.

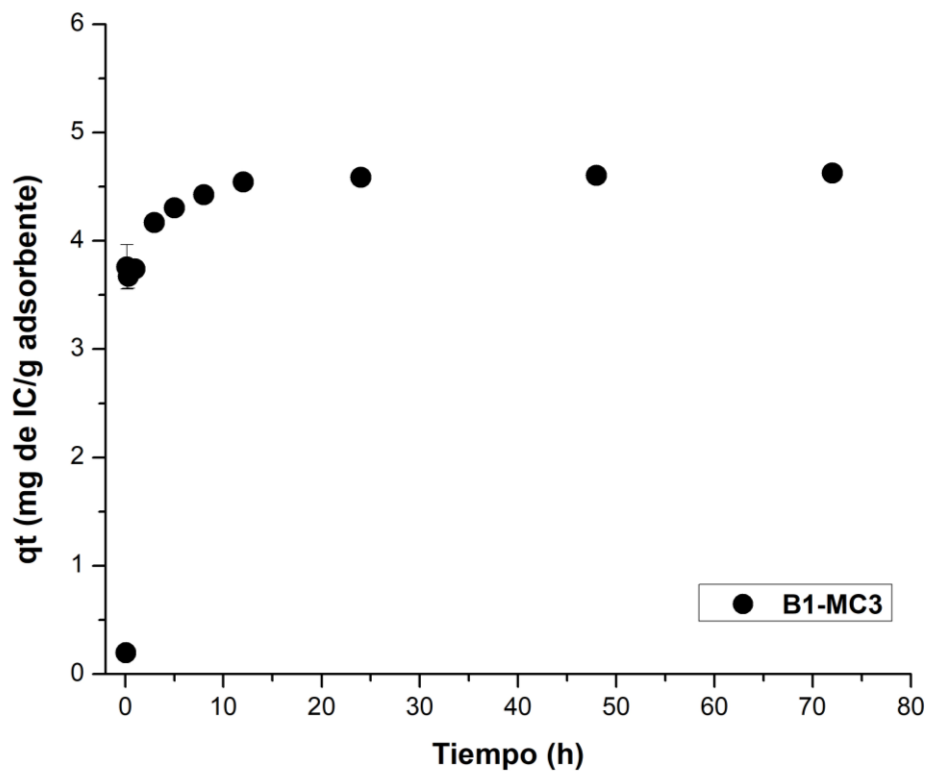


Figura 3.14 Efecto del tiempo en la remoción de índigo carmín con B1-MC3.

En la Figura 3.15, se observa que el material B1-MC3 remueve al cromo hexavalente a partir de 5 minutos y a partir de 10 minutos se llega al equilibrio, es decir, el tiempo máximo que este adsorbente remueve a este contaminante y en la gráfica también se observa que la adsorción es más rápida que la remoción con el colorante.

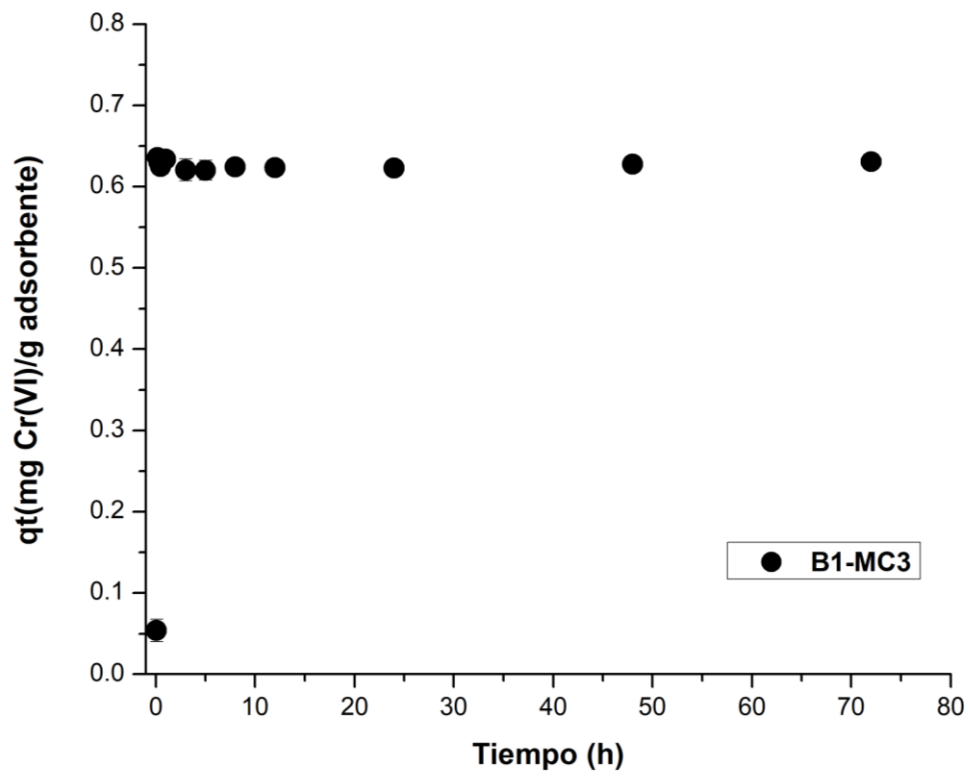


Figura 3.15 Efecto del tiempo en la remoción de Cr(VI) con B1-MC3.

Conclusiones

CONCLUSIONES

- a) De todos los materiales que se pueden obtener durante el proceso de obtención de celulosa a partir de tallos de rosa el material denominado B1-MC3 es el que presenta mejores propiedades como adsorbente.
- b) El tamaño de partícula del material adsorbente no tiene ningún efecto en la adsorción de ambos contaminantes.
- c) La cantidad de masa del adsorbente no tiene efecto en la remoción de colorante, pero si en la remoción de Cr(VI), a mayor masa del adsorbente mayor remoción de este contaminante.
- d) El pH si tiene un efecto en la remoción de ambos contaminantes con el material B1-MC3, a pH 2 se tiene una mejor remoción en ambos contaminantes.
- e) Ambos contaminantes se adsorben de manera rápida por el material adsorbente, para el colorante se obtiene un tiempo de equilibrio de 16 horas y para el Cr(VI) de 10 minutos.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- a) Evaluar el efecto de la concentración de los contaminantes (índigo carmín y Cr(VI)) en la remoción con el material adsorbente.
- b) Evaluar el efecto de la temperatura en la remoción de los contaminantes con el material adsorbente.
- c) Y evaluar la remoción de los contaminantes con el material adsorbente en condiciones en flujo en continuo.

Referencias

REFERENCIAS

1. Caryn, H.C., Sabar, S., Mohamad, H., Zaharaddeen, N. y Hussin, H. (2018). The improved adsorbent properties of microcrystalline cellulose from oil palm fronds through immobilization technique. *Surfaces and interfaces* 20, 1-8.
2. Garban, N., Lawam, I., Zhou, W., Zhang, M., Wang, L. y Yuan, Z. (2020). Microcrystalline cellulose (MCC) based materials as emerging adsorbents for the removal of dyes and heavy metals-A review. *Science of the Total Environment* 717, 1-92.
3. Gomes, H., Freire, P., Nascimento, R. y Teixeira, P. (2018). Removal of contaminants from water using *Moringa oleifera* Lam. As biosorbent: An overview of the last decade. *Journal of Water Process Engineering* 46, 1-9.
4. Hashem, A., Fletcher, A. J., Younis, H., Mauof, H. y Okeil, A.A. (2020). Adsorption of Pb(II) ions from contaminated water by 1,2,3,4-butanetetracarboxylic acid-modified microcrystalline cellulose: Isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *International Journal of Biological Macromolecules* 164, 3193-3203.
5. Hernández, A., Rodríguez, V., Socorro Oros. S. y Gómez, R. (2016). Photodegradation of Indigo Carmine dye by CdS nanostructures under blue-light irradiation emitted by LEDs. *Catalysis Today* 266, 27-35.
6. Kexin, L., Ziai, H., Suiyi, Z., Shenglian, L., Liushui, Y., Yuhua, D., Yihang, G. y Yuxin, Y. (2019). Removal of Cr(VI) from water by a biochar-coupled g-C₃N₄ nanosheets composite and performance of a recycled photocatalyst in single and combined pollution systems. *Applied Catalysis B: Environmental* 243, 386-396.
7. Septevani, A.A., Rifathin, A., Sari, A.A., Sampora, Y., Ariani, G.N., Sudiarmanto y Sondari, D. (2018). Oil palm empty fruit bunch-based nanocellulose as a super-adsorbent for water remediation. *Carbohydrate Polymers* 229, 1-9.
8. Pérez, L.L., Paz, I.C., Sandoval, A.P. y Peñaloza, G.C. (2020). Uso de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) para la remoción de cromo en solución acuosa. *Revista EIA* 34 (17), 1-13.

9. Victoria, D.D., Ospina, C.C., Zapata, M.V., Marriaga, N., Machuca, F., Peralta, J.M. y Martines, A.C. (2018). Electrocoagulation of indigo carmine dye solution with magnesium and AZ31 alloy anodes. DYNA 85 (206), 258-267.
10. Wu, Q., He, H., Zhou, H., Xue, F., Zhu, H., Zhou, S., Wang, L. y Wang, S. (2020). Multiple active sites cellulose-based adsorbent for removal of low-level Cu(II), Pb(II) and Cr(VI) via multiple cooperative mechanisms. Carbohydrate Polymers 233, 1-9.
11. Yaozong, C., Min, G., Pen, H., Ke, Z., Xu, W., Jinglei, Z., Mengfei, L., Fang, C., Jianyu, Z. y Nengwen, X. (2021). Efficient removal of Cr(VI) from aqueous solution by natural pyrite/ rhodochrosite derived materials: Performance, kinetic and mechanism. Advanced Powder Technology, On-line el 4 de septiembre de 2021.
12. Zaruma, P.E., Proal, J.B., Chaires, I. y Salas, H.I. (2018). Textile Industrial Dyes and optimal wastewater effluents treatments: A short review. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas 1

