



UNIVERSIDAD ESAN
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Bioadsorción del colorante textil Azul de Metileno mediante la utilización de cáscaras de limón

Tesis para optar por título de Ingeniera en Gestión Ambiental que presenta:

Autora:
Mayling Carolina Palomino Falconi

Asesora:
Mayra Arauco Livia
Código ORCID: 0000-0003-3196-9351

Lima, marzo de 2023

Resultados de informe de similitud

Tesis de grado

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	15 %	4 %	8 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	ojs.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	2 %
2	1library.co Fuente de Internet	1 %
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
4	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1 %
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
7	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
8	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

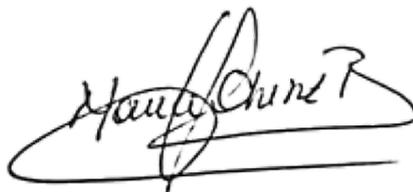
Excluir bibliografía

Activo

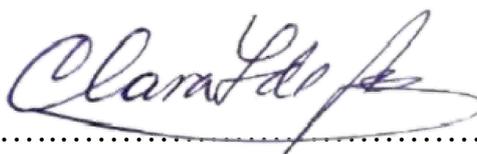
Esta tesis denominada:

**BIOADSORCIÓN DEL COLORANTE TEXTIL AZUL DE METILENO
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS DE LIMÓN**

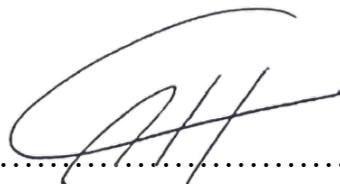
ha sido aprobada.



.....
Mónica Patricia Chávez Rojas (Jurado Presidente)



.....
Clara Gabina Figueroa Cornejo (Jurado)



.....
Alberto Huiman Cruz (Jurado)

Universidad ESAN

2023

**BIOADSORCIÓN DEL COLORANTE TEXTIL AZUL DE METILENO
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS DE LIMÓN**

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la bendición de culminar esta etapa de mi vida, con subidas y bajadas, pero Él siempre me daba las fuerzas para ponerme de pie nuevamente. Agradezco a mis padres por su amor incondicional, apoyo y provisión en toda mi etapa universitaria. Agradezco también a todos aquellos amigos y hermanos que estuvieron alentándome y animándome a hacer las cosas con excelencia, como para Dios. Agradezco a todos los que oraron por mí y a todos los que se alegran conmigo por culminar esta etapa. Agradezco a la universidad Esan por todos los conocimientos brindados y sobre todo a mi querida asesora Mayra quien me apoyó y animó siempre con paciencia. Solo a Dios sea la gloria.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1	Descripción de la Realidad Problemática.....	5
1.2	Formulación del Problema	9
1.2.1	Problema General.....	9
1.2.2	Problemas Específicos	10
1.3	Objetivos de la Investigación	10
1.3.1	Objetivo General.....	10
1.3.2	Objetivos Específicos.....	10
1.4	Justificación de la Investigación	10
1.4.1	Teórica	10
1.4.2	Práctica.....	11
1.4.3	Metodológica	12
1.5	Delimitación del Estudio.....	12
2	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	13
2.1	Antecedentes de la investigación	13
2.2	Bases teóricas	16
2.2.1	Proceso de adsorción.....	16
2.2.2	Isotermas de adsorción.....	18
2.2.3	Colorantes	19
2.2.3.1	Clasificación de colorantes.....	19
2.2.3.2	Colorante Azul de Metileno	21
2.2.4	Bioadsorbente: Limón.....	22
2.2.4.1	Generalidades	22
2.2.4.2	Partes del limón.....	23
2.3	Contexto de Investigación.....	24
2.3.1	Características del sector: Industria textil	25
2.3.1.1	El sector en el mundo	25
2.3.1.2	El sector en el Perú.....	26
2.4	Hipótesis.....	26
2.4.1	Hipótesis General.....	26
2.4.2	Hipótesis Específica.....	27
2.4.3	Variables e indicadores	27

3	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1	Diseño de Investigación	28
3.1.1	Diseño	28
3.1.2	Tipo – Nivel	28
3.1.3	Enfoque	28
3.2	Población y Muestra	29
3.3	Instrumentos de Medida	29
3.4	Operacionalización de Variables	32
3.5	Técnicas de Recolección de Datos	35
3.6	Técnicas para el Procesamiento y Análisis de la Información	36
3.6.1	Espectrofotometría	36
3.6.2	Diseño factorial	39
3.7	Cronograma de actividades y presupuesto	42
4	CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	44
4.1	Etapa de Planeamiento	44
4.2	Etapa de Laboratorio	44
4.2.1	Preparación del bioadsorbente	45
4.2.2	Preparación del colorante AM	49
4.2.3	Determinación de curva de calibrado	49
4.2.4	Desarrollo de los experimentos	50
4.2.5	Determinación de la concentración final de colorante AM	51
4.2.6	Determinación de la isoterma de adsorción	52
5	CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
5.1	Análisis de resultados de etapa de planeamiento	54
5.1.1	Determinación de la concentración final del colorante AM	54
5.1.2	Determinación de la isoterma de adsorción	58
5.2	Análisis estadístico de los resultados	59
5.3	Análisis sobre los resultados y su impacto a nivel de políticas públicas	67
6	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
6.1	Conclusiones	69
6.2	Aplicación	71
6.3	Recomendaciones	72
7	FUENTES DE INFORMACIÓN	74
8	ANEXOS	82
8.1	Anexo 1: Diagrama Causa-Efecto (Árbol de problema)	82

8.2	Anexo 2: Tabla de concentraciones y remociones por cada repetición	83
-----	--	----

Índice de Figuras

Figura 1: Vías del proceso de adsorción	17
Figura 2: Modelo de isotermas de adsorción por Foo y Hameed	18
Figura 3: Partes de un limón observadas desde un corte transversal	23
Figura 4: Diagrama esquemático de experimento espectrofotométrico de haz simple	37
Figura 5: Diagrama esquemático de espectrofotómetro de barrido de doble haz	39
Figura 6: Pasos de la etapa de laboratorio	45
Figura 7: Etapas de preparación del bioadsorbente	46
Figura 8: Cáscaras de limones lavadas	46
Figura 9: Cáscara de limones en el horno	47
Figura 10: Cáscaras de limón secas	47
Figura 11: Cáscaras de limón en licuadora	48
Figura 12: Proceso de tamizado	48
Figura 13: Partículas de cáscara en bolsas ziploc	49
Figura 14: Solución matriz	49
Figura 15: Solución en vaso precipitado	50
Figura 16: Solución en agitador de imán	51
Figura 17: Celda con muestra para medir absorbancia	51
Figura 18: Proceso de fangos activados con adición de carbón activo o resinas decolorantes	71

Índice de Tablas

Tabla 1: Composición de la piel de naranja y limón por la cada 100 g	23
Tabla 2: Variables e indicadores	27
Tabla 3: Descripción de experimentos	30
Tabla 4: Descripción de las variables diseño factorial	33
Tabla 5: Descripción del diseño factorial	33
Tabla 6: Descripción de experimentos	34
Tabla 7: Técnica de recolección de datos	36
Tabla 8: Datos de condiciones de experimentos	39
Tabla 9: Matriz de Experimentos del planeamiento factorial 23	40
Tabla 10: Cronograma de actividades	42
Tabla 11: Presupuesto del proyecto de investigación	43
Tabla 12: Determinación de la longitud de onda	50
Tabla 13: Concentración de colorante Azul de Metileno	52
Tabla 14: Concentración de colorante Azul de Metileno a diferente cantidad de masa	53
Tabla 15: Porcentaje de remoción promedio	54
Tabla 16: Porcentajes de remoción de colorante AM	55
Tabla 17: Factores y niveles del modelo	60
Tabla 18: Resumen de modelo	60
Tabla 19: Análisis de varianza	60
Tabla 20: Investigaciones sobre adsorción usando cáscara de limón	65
Tabla 21: Comparativo de valor agregado de la investigación	68

Tabla 22: Cuadro de cálculo de concentración de colorante textil	72
--	----

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 1g a 80 minutos.....	56
Gráfico 2: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 1g a 120 minutos.....	56
Gráfico 3: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 3g a 80 minutos.....	57
Gráfico 4: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 3g a 120 minutos.....	57
Gráfico 5: Isoterma de Langmuir.....	58
Gráfico 6: Isoterma de Freundlich	59
Gráfico 7: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	61
Gráfico 8: Gráfico de probabilidad normal.....	61
Gráfico 9: Gráfico de cubos de respuesta (concentraciones finales)	62

RESUMEN

El objetivo de la investigación es determinar si la utilización de cáscaras de limón favorece la adsorción de colorantes provenientes de los efluentes de la industria textil. Se determinó elaborar una matriz de experimentos del Planeamiento Factorial 2^3 desarrollando así ocho experimentos con condiciones diferentes. Analizando así la influencia de tres variables independientes: el tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la concentración del bioadsorbente. Se conoció la relación que existe entre la adsorción del colorante Azul de Metileno (AM) y las tres variables independientes mencionadas. El estudio da como resultado una mayor remoción, con el 50.22% con un tamaño de partícula de 1mm. Así mismo, mediante el análisis estadístico se determina que el mejor rendimiento se da con un tamaño de partícula de 1 mm, el tiempo de contacto de 120 minutos y la concentración del adsorbente de 1g. Entonces, concluimos que la cáscara de limón es un efectivo e interesante bioadsorbente de colorantes textiles bajo determinadas condiciones y debido a su porosidad, estructura, accesibilidad y disposición, contribuyendo a la disminución de los colorantes del agua, los cuales son tóxicos y carcinogénicos. Así mismo, se alienta el uso de subproductos agrícolas de bajo costo como una alternativa eficiente.

ABSTRACT

The objective of the research is to determine if the use of lemon peels favors the adsorption of dyes from the effluents of the textile industry. It was decided to elaborate a 2^3 Factorial Planning experiment matrix, developing eight experiments with different conditions. Thus, analyzing the influence of three independent variables: particle size, contact time and bioadsorbent concentration. The relationship between the adsorption of Methylene Blue (MB) dye and the three independent variables mentioned above was found. The study resulted in a higher removal rate of 50.22% with a particle size of 1 mm. Likewise, through statistical

analysis it is determined that the best performance is given with a particle size of 1 mm, contact time of 120 minutes and adsorbent concentration of 1g. Then, we conclude that lemon peel is an effective and interesting bioadsorbent of textile dyes under certain conditions and due to its porosity, structure, accessibility and disposition, contributing to the decrease of dyes in water, which are toxic and carcinogenic. Likewise, the use of low-cost agricultural by-products is encouraged as an efficient alternative.

PALABRAS CLAVE

Adsorción, biorremediación, limón, diseño factorial, Azul de Metileno

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los más importantes recursos necesarios para la vida de nuestro planeta, cubre más del 71% de la superficie de la tierra y representa cerca del 70% de su masa. Lamentablemente, en las últimas décadas, el incremento poblacional y el crecimiento de las industrias han demandado mucho de este recurso limitado. Además, gran cantidad de agua contaminada es vertida a los diferentes cuerpos de agua, siendo este un gran problema para la fauna, flora y salud humana.

Dentro de las industrias más contaminantes, se encuentra la industria textil, la cual vierte cantidad de colorantes. Descargar estos contaminantes tiene grandes repercusiones en la biosfera, contando con características inmunogénicas, teratogénicas, mutagénicas y cancerígenas, como también se sabe que entre el 70% y el 80% de todos los casos de enfermedades en los países en desarrollo están relacionadas con la contaminación del agua (Azar et al., 2019 y Qadi y Faiq, 2020, como se citó en Elgarahy et al. 2021).

En nuestro país, diversas unidades hidrográficas que exceden los Estándares de Calidad del Agua, siendo el vertimiento de aguas residuales industriales, domésticas y municipales la principal causa. Esto indica que es un tema de relevancia para el país, si apuntamos a un desarrollo sostenible, donde nuestras actividades presentes no comprometan la disponibilidad de recursos de generaciones futuras.

Por esta razón, se planteó investigar el potencial de adsorción de la cáscara de limón, un residuo sólido muy común en la vida de cada peruano, frente a los colorantes de la industria textil. Este subproducto agrícola se escogió debido a su disponibilidad, se sabe que, en Lima Metropolitana, existen más de 2400 cevicherías, las cuales tiene como uno de los principales insumos, el limón. Además, se evidenció en previos estudios que la cáscara de limón cuenta con mayor potencial de adsorción que otro cítrico como la mandarina. Apoyando así la elección de cáscara de limón como bioadsorbente escogido para esta investigación.

Se realizó una investigación experimental correlacional, donde mediante un Diseño Factorial se investigó la relación entre el tamaño de partícula, tiempo de contacto y concentración del bioadsorbente. Los experimentos se realizaron a nivel de laboratorio usando la cáscara de limones y para el análisis, la técnica de la espectrofotometría, la Ley de Lambert-Beer y dos modelos de Isotermas de adsorción.

El objetivo de esta investigación es determinar si la utilización de las cáscaras de limón favorece la adsorción de colorantes provenientes de los efluentes de la industria textil. Además, de explicar la influencia de del tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la concentración del adsorbente en la adsorción del colorante Azul de Metileno.

1 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se profundizará sobre los detalles del problema de investigación y el contexto de este problema a nivel nacional e internacional. Se darán a conocer los objetivos de la investigación, la justificación y delimitación del problema.

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Cuando pensamos en las industrias más contaminantes del mundo, es común pensar en la petrolera, la de transporte o la alimentaria, pero una muy importante y la segunda más contaminante es la industria de la moda, según la Conferencia de la ONU sobre el Comercio y Desarrollo - UNCTAD (2019). La UNCTAD también indica que este rubro hace uso de 93000 millones de metros cúbicos de agua por año.

Para el año 2015, la población mundial ya había alcanzado los 7.400 millones de personas y el consumo textil per cápita llegó a los 13,1 kg/hab./año (Carrera, 2017). Lo cual significa una abundante producción de aguas residuales de la industria textil. Además, se sabe que esta industria es responsable del 20% del desperdicio total de agua a nivel global según Noticias ONU (2019).

En nuestro país, la magnitud verdadera del volumen de las aguas residuales de las industrias formales e informales es desconocida y a escala mundial los datos obtenidos también son escasos; sin embargo, sabemos que la industria textil es una de las que más agua, energía y reactivos químicos consumen. Se consumen 54 millones de toneladas de fibras naturales al año, un millón de toneladas de colorantes y siete millones de químicos para el procesamiento textil anualmente (Brañez, Gutierrez, Perez, Uribe y Valle, 2018).

Según la Estrategia Nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos (ANA, 2016), se identificaron 41 unidades hidrográficas que exceden los Estándares de Calidad del Agua, siendo el vertimiento de aguas residuales industriales, domésticas y

municipales la principal causa. La industria textil es una actividad que genera muchos residuos contaminantes y para ser vertida al alcantarillado tiene que ser limpia de grasas, aceites, colorantes y otros productos químicos (Brañez, Gutiérrez, Pérez, Uribe y Valle, 2018). Y sus aguas son tema de estudio desde hace mucho tiempo debido a los problemas ambientales que ocasionan como sus altas demandas de oxígeno y la limitación en la penetración de la luz, afectando la actividad biológica (Vargas, Cabañas, Gamboa y Domínguez, 2009).

En un estudio de la toxicidad asociado al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del Valle de Aburrá en Colombia, se presentaron los efectos ecotoxicológicos asociados a la capacidad que poseen los colorantes de inhibir la transmisión de la luz en el medio acuático y la toxicidad asociada a la molécula que los constituye (Fabio et al., 2018). Los impactos negativos que se generan al verter estas sustancias generadoras de color afectan a los organismos acuáticos capaces de realizar procesos de fotosíntesis, estos a su vez son la base de la cadena trófica, pudiendo alterar los niveles superiores (Sharma et al., 2007; Verma, 2011).

Al referirnos a los daños que se producen en la flora y fauna, se hace referencia a que especialmente los colorantes de origen sintético son responsables de efectos nocivos, algunos de estos efectos son la disminución del oxígeno disuelto, la eutrofización, la formación de compuestos recalcitrantes y tóxicos para las células y la obstaculización del paso de la luz y su deterioro estético (Garay y Gómez, 2016). Una reciente revisión sobre bioadsorción de colorantes y metales pesados vuelve a remarcar que la descarga de este tipo de aguas residuales causa numerosos problemas ambientales y de salud para la flora, la fauna y la salud humana (Yin et al., 2019, como se citó en Elgarahy A. et al., 2021).

Así mismo, diversos estudios demuestran que aparte de los efectos negativos en la estética del agua, se ha reportado que los colorantes pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos

(Bae y Freeman, 2007) y que algunos de los colorantes tienen efectos carcinogénicos y mutagénicos (Mathur, Bhatnagar, Nagar y Bijarnia, 2005). Un reciente estudio determinó investigar los residuos peligrosos generados en la industria textil peruana, y para el caso de la alta costura, dentro del proceso de generación de residuos, se evidenció que en el proceso de estampado se utilizan colorantes acrílicos, que generan la liberación de colorantes y pigmentos al ambiente (Huiman, 2022).

Existen diversos métodos para tratar las aguas residuales de la industria textil, unos de los tradicionales son la adsorción con carbón activado, los sistemas de tratamiento con oxigenación inducida, la electrólisis y la digestión anaerobia (Aguilar et al., 2007). Estos procesos recurren a gastos de operación y mantenimiento elevados, que la mayoría de pequeñas industrias no pueden acceder. Dadas estas circunstancias, la bioadsorción es visto como un proceso alternativo, económico y con un impacto ambiental positivo (Vargas et al., 2009).

La bioadsorción es un proceso fisicoquímico que se empezó a desarrollar por los años 90, donde se adsorben las moléculas y los iones y su objetivo es eliminar contaminantes mediante la unión de estos a algas, hongos o desechos agrícolas como cáscaras de frutas o el arroz, ambos tratados previamente para potenciar su actuación como bioadsorbentes (Torres, 2019). La captación de compuestos por medio de una biomasa viva o muerta a través de mecanismos fisicoquímicos involucran una fase sólida (adsorbente) y una fase líquida (disolvente) que contiene especies que serán adsorbidas (adsorbato) (Vargas et al., 2009).

Diversos materiales de bajo costo y con potencial de ser utilizados como la madera, arcilla, cenizas, lodos activados, cáscaras de naranja y de plátano han sido analizados (Namasivayam, et al., 1996). Una característica de los residuos de la naranja es que se encuentra formada por celulosa, hemi-celulosa, sustancias de pectina, pigmentos de clorofila, entre otros elementos de bajo peso molecular que la hacen apropiada para la adsorción de colorantes (Xuan, Tang, Li,

Liu, y Luo, 2006). Además, Annadurai, Juang y Lee (2002), reportaron resultados positivos en el uso de cáscaras de plátano y de naranja para la remoción de colorantes como azul de metileno, naranja y violeta de metilo en aguas residuales.

Así como en la actualidad el tratamiento de aguas residuales en el país constituye un gran reto, la gestión de residuos sólidos en el Perú necesita ser de interés por todos los ciudadanos y autoridades, y claramente puede ser mejorada. Dentro de la clasificación de residuos sólidos en el ámbito municipal, se cuenta con el tipo de residuo orgánico, el cual se identifica con color marrón, que consta de restos de alimentos como cáscaras (Dirección de Normalización - Inacal, 2019). Estas cáscaras pueden ser útiles y aprovechadas para la realización de compost, quita grasas, líquidos de limpieza y en el caso del presente trabajo de investigación, como bioadsorbentes de colorantes.

Esta investigación apunta a llevar a la práctica uno de los principios de la gestión de residuos sólidos, el cual es la economía circular. Hoy en día el modelo económico lineal es el que está vigente, en cual consiste en “tomar, hacer y tirar”, este modelo ha llegado a niveles inimaginables y no es sostenible (Steffen et al., 2015). Por lo contrario, según Cerdá y Khalilova (2016), una economía circular es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, gestionando stocks finitos y flujos renovables, además funciona a cualquier escala. Esto hace que una economía circular sea una alternativa atractiva y viable y que empresarialmente ya se esté explorando (EMF, 2015).

En los últimos años, ha cobrado importancia el concepto de gestión de cadena de suministro verde o en inglés llamada Green Supply Chain Management (GSCM), la cual consiste en desarrollar prácticas y estrategias verdes que hacen posible que la cadena contribuya con la sostenibilidad, incluyendo un modelo de operación económica rentable, enfocada a la

productividad y la satisfacción de los clientes (Sbihi y Richard W., 2010). Dentro de la GSCM, el proceso que ha tomado mucha importancia es la logística inversa, la cual permite gestionar los retornos y devoluciones en la cadena de suministro con el fin de minimizar los impactos ambientales en la misma.

La utilización de cáscaras de frutas, en este trabajo de investigación usando las cáscaras de limones, para la elaboración de un bioadsorbente de colorantes de la industria textil es un claro ejemplo del uso de residuos orgánicos o agroindustriales como recursos para un nuevo proceso. Esta aplicación tendrá diversos beneficios como la minimización de los residuos sólidos municipales orgánicos o residuos agroindustriales (si se da en una proporción de industria), el tratamiento de efluentes de la industria textil mediante la adsorción de colorantes y también ayudará a alargar el tiempo de vida de los rellenos sanitarios.

En este proyecto de investigación se propone utilizar los residuos del limón (cáscaras) como bioadsorbente para la eliminación de colorantes de las aguas residuales de la industria textil del Perú, se propondrá la realización del experimento con el colorante Azul de Metileno.

1.2 Formulación del Problema

El problema existente es la presencia de colorantes de la industria textil en el agua. Los colorantes contaminan este recurso fundamental para la vida y dañan el ecosistema y su equilibrio natural. Por lo tanto, en este proyecto de tesis se pretende investigar sobre el efecto del uso de las cáscaras de limón como bioadsorbente de colorantes y analizar su capacidad de adsorción.

1.2.1 Problema General

¿En qué medida la utilización de cáscaras de limón favorece la adsorción de colorantes provenientes de los efluentes de la industria textil?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Cuál es la influencia del tamaño de partícula del bioadsorbente de cáscara de limón en la adsorción del colorante Azul de metileno?

¿Qué efecto produce un mayor tiempo de contacto del bioadsorbente de cáscara de limón en la adsorción del colorante Azul de metileno?

¿Existe influencia de la concentración del bioadsorbente de cáscara de limón en la adsorción del colorante Azul de metileno?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar si la utilización de las cáscaras de limón favorece la adsorción de colorantes provenientes de los efluentes de una industria textil.

1.3.2 Objetivos Específicos

Explicar la influencia del tamaño de partícula del bioadsorbente de cáscara de limón en la adsorción de colorantes de la industria textil.

Evaluar la influencia del tiempo de contacto del bioadsorbente de cáscara de limón en la adsorción de colorantes de la industria textil.

Analizar la influencia de la concentración del bioadsorbente de cáscara de limón en la adsorción de colorantes de la industria textil.

1.4 Justificación de la Investigación

1.4.1 Teórica

Con esta investigación se podrá llenar el vacío de conocimiento que se tiene con respecto a la cáscara del limón como un adsorbente de colorantes. Tras una ardua investigación bibliográfica y por recomendación de algunos investigadores, se recomienda realizar

experimentaciones con un sustrato como el limón ya que cuenta con similares características a la naranja, y con este sustrato ya se han hecho diversas investigaciones. Además, se podrá conocer en mayor medida el comportamiento de estos sustratos ponerlos en contacto con el colorante elegido, Azul de metileno.

Se espera generar más investigaciones en el área de la bioadsorción de colorantes por sustratos como los residuos orgánicos de diferentes frutas. Con lo cual se generarán resultados más amplios en esta área de investigación y se contribuirá a la reutilización de desechos, contribuyendo de esta forma al principio de economía circular de la gestión de residuos sólidos.

1.4.2 Práctica

Esta investigación contribuirá con el aporte de una alternativa de bajo costo y con la mejora de la calidad del agua, debido a que se podrían utilizar las cáscaras de estos cítricos para ayudar en la limpieza del agua de colorantes. Esto prevendría las alteraciones en el cuerpo de agua, con lo cual se cuida a las especies tanto de fauna y de flora que habitan en él y también a las personas que los consumen.

También, la presencia de más de 2435 cevicherías en Lima Metropolitana evidencia el gran consumo de limón (Infopesca, 2010). Siendo esta realidad importante para escoger el limón como el subproducto agrícola indicado para la investigación debido a su disponibilidad. De igual manera, la investigación bibliográfica manifestó que los cítricos cuentan con una interesante capacidad de adsorción. Dentro de los estudios realizados, la mayoría fueron hechos con naranja, sin embargo, se sugería la experimentación con limón y con mandarina (Melo, Ramón y Saavedra, 2019). Se determinó utilizar cáscara de limón debido a que fue el segundo material con mayor capacidad de adsorción.

Así mismo, aportará a la mejora de la inadecuada gestión de residuos sólidos. Con la utilización de las cáscaras de productos cítricos como el limón, se reducirá el volumen de

residuos generados que tienen que ir a un relleno sanitario, alargando de esa manera el tiempo de vida de los rellenos sanitarios.

1.4.3 Metodológica

Con la realización de este trabajo de investigación se contribuye a la definición de la variable y se le puede atribuir propiedades de adsorción de colorantes. Igualmente, se pueden lograr mejoras en el proceso de tratamiento de aguas contaminadas con colorantes de la industria textil. Se conocerá aún más las bondades de las cáscaras del limón sugiriendo así nuevos temas de investigación en este campo.

1.5 Delimitación del Estudio

La investigación tiene el propósito de realizarse de manera experimental a nivel de laboratorio, usándose el laboratorio de la Universidad Esan. Primero se realizará una revisión bibliográfica y se tomará como punto de referencia las investigaciones hechas en diversos cítricos a nivel mundial. Los datos recopilados son de investigaciones realizadas previamente de aproximadamente máximo 10 años de antigüedad; sin embargo, se cuenta con datos de investigaciones muy recientes realizadas entre 2019 y 2022.

Este trabajo de investigación está centrado en la evaluación de la cáscara de limón como adsorbente del colorante Azul de metileno, colorante presente en los efluentes de la industria textil. Se detallarán los procedimientos para llevar a cabo los experimentos en circunstancias habituales en el laboratorio de la Universidad Esan. Así mismo, se correlacionarán variables como el tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la concentración del adsorbente para poder verificar en qué condiciones se podría considerar a la cáscara de limón como un adsorbente de colorantes de la industria textil.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se mencionarán algunos antecedentes importantes que fortalecen la importancia de la investigación sobre la cáscara de limón como un bioadsorbente de colorantes de la industria textil. Se han desarrollado diversas investigaciones con cáscaras de naranja en su mayoría, pero también a continuación se registra una investigación de cáscaras de naranja, limón y mandarina. También, se mencionarán los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo de este proyecto de tesis y se hablará sobre el contexto de la investigación.

2.1 Antecedentes de la investigación

Antecedente I: Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico

Candelaria Tejada Tovar, Ángel Villabona Ortiz y Luz Garcés Jaraba elaboraron este artículo en el año 2015, en el cual se estudia la adsorción como un proceso alternativo para la remoción de contaminantes en solución y a las biomasas comúnmente usadas para estos procesos. Además, se estudian algunas modificaciones realizadas para la mejora de la eficiencia de la adsorción.

Se concluyó que el uso de la adsorción en la remoción de contaminantes en solución acuosa mediante la biomasa residual es aplicable en procesos de descontaminación, evitando problemas como la generación de lodos químicos, y generando un uso alternativo a los desechos. También se resalta que la bioadsorción es una de las alternativas de tratamiento de aguas residual más eficientes, debido a los bajos costos de implementación y mantenimiento en relación a los tratamientos tradicionales de recuperación de metales pesados en efluentes acuosos.

El estudio menciona que el proceso de bioadsorción realizado por biomasas vivas puede presentar una variedad más amplia de mecanismos de acumulación de metales, sin embargo,

esto pueden verse dañados por altas concentraciones de contaminantes provocando la muerte. Por lo tanto, el uso de biomasa no viva es el principal tema de investigación, siendo de fácil acceso, bajo costo y de gran capacidad. Además, sus propiedades físicas y químicas pueden ser modificadas para mayor adsorción (Tejada, Villabona y Garcés, 2015).

Antecedente II: Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil

Esta investigación fue realizada por Vargas Rodríguez, M., Cabañas Vargas, D., Gamboa Marrufo, M. y Domínguez Benetton, X., en la cual se utilizaron cáscaras de naranja como medio de bioadsorción en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Estas cáscaras fueron secadas, trituradas y tamizadas. Se evaluó el impacto de diferentes tamaños de partícula, tiempos de contacto y concentración de material bioadsorbente (cáscara de naranja). Como resultados, se obtuvo que la mayor remoción de colorante se obtuvo con partículas de 1mm de diámetro y durante los primeros 60 minutos de contacto. También se observó que la relación entre la cantidad de bioadsorbente y de la concentración de colorante removido fue de comportamiento lineal.

Como resultado se logró la remoción del colorante Reactive Black utilizando cáscaras de naranjas secas y molidas. El mejor porcentaje de remoción de colorante se logró con partículas de <1mm. Además, la mayor remoción del colorante se alcanzó en la primera hora de contacto y la relación entre la concentración de bioadsorbente y el colorante removido se comportó en forma lineal para altas concentración del adsorbente (Vargas et al., 2009).

Antecedente III: Estudio y determinación de las condiciones óptimas para la recuperación de colorantes dispersos mediante bioadsorbentes

Nadia Torres Domínguez desarrolló esta investigación con el principal objetivo de este proyecto es la eliminación de los colorantes dispersión de las aguas residuales provenientes de los baños de tintura mediante en bioadsorbente obtenido a partir de cáscara de naranja. Para llevar a cabo el objetivo, se determinaron las condiciones óptimas para realizar el tratamiento químico que va a recibir la cáscara para que el producto final ofrezca el máximo rendimiento posible.

La autora menciona que se avanzó en la línea de investigación centrada en la adsorción de moléculas de colorante iónicas (aniónicas y catiónicas) para tratar aguas residuales de tintura con colorantes no iónicos (colorantes dispersos), y se ha demostrado que es posible para este caso preparar un bioadsorbente sin tratamiento químico con lo cual se reduce el consumo de productos químicos. Con este bioadsorbente se mejoró la eficacia obteniendo el agua residual de tintura sin coloración, y se cumplieron los requerimientos de la legislación sobre vertidos industriales. Así mismo, la autora propuso el mismo tipo de ensayos bioadsorbentes obtenidos a partir de cáscara de limón y también la realización de procesos en continuo con bioadsorbentes tanto naranja y limón (Torres, 2019).

Antecedentes IV: Evaluación de la adsorción de Cu^{+2} y azul de metileno en biosorbentes de bajo costo obtenidos a partir de biomasa residual de la agroindustria de cítricos

En este trabajo de investigación se desarrollaron materiales adsorbentes a partir de la cáscara de limón, naranja y mandarina con actividad para remover el colorante azul de metileno y demostrar su potencia para ser usado en la eliminación de contaminantes orgánicos del agua. Los adsorbentes fueron preparados con los procesos de secado, molienda y macerado de los residuos cítricos.

En el estudio se determinó que el uso de materiales obtenidos a partir de residuos de la agroindustria de los cítricos como cáscaras de limón, naranja y mandarina para la remoción de

moléculas contaminantes era viable, debido a que presentan habilidad para la adsorción en batch del colorante orgánico azul de metileno (Melo, Ramón y Saavedra, 2019). El residuo que más adsorbió fue la mandarina, seguido de los limones y por último la naranja, la razón de esta capacidad está relacionada con la cantidad de grupos oxigenados (-C-O), como alcoholes y ácidos carboxílicos, en la superficie del material adsorbente.

2.2 Bases teóricas

En esta sección del documento se describirán algunos conceptos clave para el entendimiento de la investigación y para el correcto desarrollo de los experimentos. También se dará una breve descripción del bioadsorbente elegido, el limón.

2.2.1 Proceso de adsorción

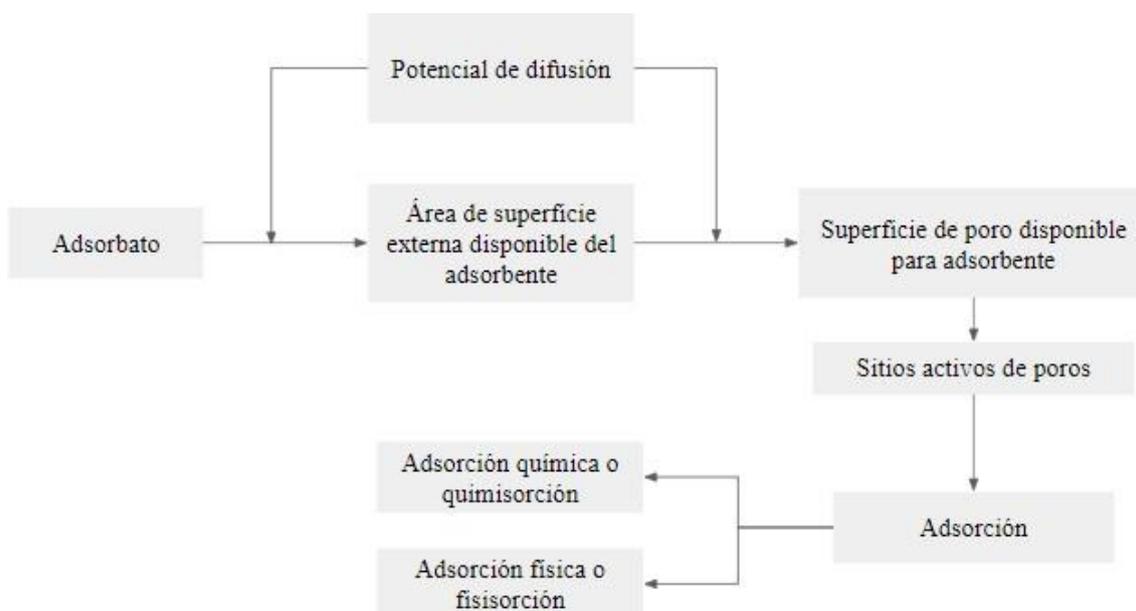
Durante el proceso de adsorción es necesario clarificar los siguientes (Singh, Nagpal, Agrawal, y Rachna, 2018):

- Adsorción: Es un proceso que ocurre cuando un soluto gaseoso o líquido se acumula en la superficie de un sólido o un líquido (adsorbente), formando una película molecular o atómica (adsorbato). Dependiendo del tipo de atracciones entre adsorbato y adsorbente, la adsorción se puede dividir en dos tipos: adsorción física y química, también conocida como fisisorción y quimisorción.
- Adsorbato: la sustancia que se concentra en la superficie se llama adsorbato.
- Adsorbente: El material sobre cuya superficie tiene lugar la adsorción se llama adsorbente.
- Isoterma de adsorción: el gráfico de la cantidad de adsorbato en el adsorbente en función de su presión (si es gas) o concentración (si es solución) a temperatura constante se conoce como isoterma de adsorción.

En el tratamiento del agua, las moléculas o iones se eliminan de la fase líquida por adsorción en fase sólida y se ha demostrado como un proceso eficiente de eliminación de contaminantes. Los procesos de adsorción proceden a través de diferentes pasos como se puede ver en la Figura 1 (Lata y Samadder, 2016). También, es necesario recordar los fundamentos fisicoquímicos, ya que debemos distinguir tres clases de adsorción.

La adsorción por el intercambio iónico, se da por que los iones de la sustancia de interés se concentran en la superficie del material adsorbente en respuesta de la atracción electrostática entre ambos y sería una adsorción de tipo eléctrico, si la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie sino que está libre en la interfase se dice que la adsorción se debe a las fuerzas de Van der Waals y es llamada la fisisorción y si el adsorbato forma enlaces fuertes localizados en los centros activos del adsorbente, la adsorción tiene naturaleza química, o sea es una quimisorción dando lugar una especie distinta (Tejada, Villabona y Garcés, 2015).

Figura 1: Vías del proceso de adsorción



Fuente: Elaboración propia

Los adsorbentes usados para la purificación del agua pueden ser divididos en las categorías siguientes: adsorbentes naturales, adsorbentes de biomasa, residuos industriales, residuos agrícolas y adsorbentes sintéticos (Singh, Nagpal, Agrawal, y Rachna, 2018).

2.2.2 Isotermas de adsorción

Una isoterma de adsorción es una curva que describe el fenómeno que rige la retención (o liberación) de una sustancia de los ambientes acuáticos a una superficie sólida a temperatura y pH constantes (Limousin et al., 2007). El equilibrio de adsorción se establece cuando una fase de adsorbato está en contacto con el adsorbente por mucho tiempo. La isoterma se representa graficando la concentración del adsorbente contra su concentración residual. Se presentarán diversos modelos en la Tabla 1 basados en diversas suposiciones (Foo y Hameed, 2010).

Figura 2: Modelo de isotermas de adsorción por Foo y Hameed

Isotermas	Nonlinear form	Linear form	Plot
Langmuir	$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e}$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b Q_D} + \frac{C_e}{Q_D}$ $\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_D} + \frac{1}{b Q_D C_e}$ $q_e = Q_D - \frac{q_e}{b C_e}$ $\frac{q_e}{C_e} = b Q_D - b q_e$	$\frac{C_e}{q_e} \text{ vs } C_e$ $\frac{1}{q_e} \text{ vs } \frac{1}{C_e}$ $q_e \text{ vs } \frac{q_e}{b C_e}$ $\frac{q_e}{C_e} \text{ vs } q_e$
Freundlich	$q_e = K_F C_e^{1/n}$	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$	$\log q_e \text{ vs } \log C_e$
Dubinin-Radushkevich	$q_e = (q_s) \exp(-k_{ad} \epsilon^2)$	$\ln q_e = \ln(q_s) - k_{ad} \epsilon^2$	$\ln q_e \text{ vs } \epsilon^2$
Tempkin	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T C_e$	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e$	$q_e \text{ vs } \ln C_e$
Flory-Huggins	$\frac{q}{C_0} = K_{FH} (1 - \theta)^{n_{FH}}$	$\log \frac{q}{C_0} = \log K_{FH} + n_{FH} \log(1 - \theta)$	$\log \frac{q}{C_0} \text{ vs } \log(1 - \theta)$
Hill	$q_e = \frac{q_m C_e^H}{K_D + C_e^H}$	$\log \left(\frac{q_e}{q_m - q_e} \right) = nH \log(C_e) - \log K_D$	$\log \left(\frac{q_e}{q_m - q_e} \right) \text{ vs } \log(C_e)$
Redlich-Peterson	$q_e = \frac{K_R C_e}{1 + a_R C_e^{\beta_R}}$	$\ln \left(K_R \frac{C_e}{q_e} - 1 \right) = g \ln(C_e) + \ln(a_R)$	$\ln \left(K_R \frac{C_e}{q_e} - 1 \right) \text{ vs } \ln(C_e)$
Sips	$q_e = \frac{K_S C_e^{\beta_S}}{1 + a_S C_e^{\beta_S}}$	$\beta_S \ln C_e = - \ln \left(\frac{K_S}{q_e} \right) + \ln(a_S)$	$\ln \left(\frac{K_S}{q_e} \right) \text{ vs } \ln(C_e)$
Toth	$q_e = \frac{K_T C_e}{(a_T + C_e)^{1/T}}$	$\ln \left(\frac{q_e}{K_T} \right) = \ln(C_e) - \frac{1}{T} \ln(a_T + C_e)$	$\ln \left(\frac{q_e}{K_T} \right) \text{ vs } \ln(C_e)$
Koble-Corrigan	$q_e = \frac{AC^B}{1 + BC^B}$	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{AC^B} + \frac{B}{A}$	-
Khan	$q_e = \frac{a_1 b C_e}{(1 + b_1 C_e)^{a_2}}$	-	-
Radke-Prausnitz	$q_e = \frac{a_{RP} b C_e^{\beta_{RP}}}{a_{RP} + b C_e^{\beta_{RP} - 1}}$	-	-
Frenkel-Halsey-Hill	$\ln \left(\frac{C_e}{C_e'} \right) = - \frac{\alpha}{RT} \left(\frac{a_1}{a_2 d} \right)^2$	-	-
MacMilla-Teller	$q_e = q_s \left(\frac{b}{a_1(C_e'/C_e)} \right)^{1/3}$	-	-

Fuente: Foo y Hameed (2010)

2.2.3 Colorantes

Gürses et al. (2016) citado en Nambela, Haule y Mgani (2020) menciona que los colorantes constituyen tintes y pigmentos. Los tintes son compuestos coloreados que cuentan con afinidad por un sustrato al que se aplican, estos tintes interactúan con los sustratos a través de diversos mecanismos dependiendo de las propiedades físicas y químicas de ambos. Los pigmentos son compuestos coloreados que no tienen afinidad para interactuar con los sustratos, por lo cual se recubren a la superficie del sustrato a través del aglutinante.

De esta manera, se puede decir que la afinidad y la naturaleza de la interacción entre un colorante y un sustrato diferencian a los tintes de los pigmentos. Y la semejanza básica entre los tintes y pigmentos es que ambos tienen un cromóforo. Los colorantes tienen estructuras que contienen un sistema deslocalizado con doble enlace conjugados llamados cromóforos y color llamado auxocromos. El cromóforo exhibe resonancias de electrones que le permite absorber la luz en la región visible del espectro electromagnético (Christie, 2014).

2.2.3.1 Clasificación de colorantes

Los colorantes pueden clasificarse según su origen en naturales o sintéticos. Un dato importante es que los sintéticos dominan el mercado debido a su disponibilidad y a que los métodos de aplicación son más sencillos (Christie, 2014).

Los colorantes naturales son materiales que imparten color derivados de la naturaleza sin modificación química o algún procesamiento. Estos no solo se usan para colorear textiles, también se usa en alimentos, cosméticos, cueros plásticos, madera y productos farmacéuticos (Shahid, Shahid-Ul-Islam y Mohammad, 2013). Según Vankar (2016), su clasificación se basa en su origen, su constituyente químico, método de aplicación y color. Sin embargo, la clasificación más común es por su origen y sus componentes químicos (Nambela et al., 2020).

Vankar (2016) también menciona que, en base al origen, los colorantes naturales se clasifican en cuatro categorías: de plantas/vegetales, de insectos/animales, de minerales y microbianos. Por otro lado, según Saxena (2014), la clasificación según la estructura química de los colorantes se da basándose en las similitudes en las estructuras, de tal manera que los colorantes se clasifican en carotenoides, índigoides, óxidos de quinón, flavonoides, taninos, dihidropiranos y betalaínas (Nambela et al., 2020).

De acuerdo a su método de aplicación, los colorantes naturales se pueden aplicar sobre textiles en diferentes tipos de material como fibra, hilo, tela o prenda. La mayoría de estos colorantes tienen baja afinidad con el sustrato, por lo cual se requiere un mordiente para que se mejore la propiedad de afinidad y solidez del colorante formando el complejo insoluble con el colorante y el sustrato (Manhita et al., 2011). Después de una revisión bibliográfica realizada por diversos autores, ellos concluyeron que muchos tonos se producen a partir del uso de mordientes naturales y sintéticos, este cambio de tono causado por el uso de mordientes puede minimizarse utilizando la modificación química de los tintes naturales, mejorando así su afinidad y solidez. Sin embargo, el mordiente aún puede cambiar el tono del colorante dependiendo de la naturaleza química del mordiente, la tela y lo formado entre colorante y sustrato (Tang, Tang y Yang, 2010).

Los colorantes sintéticos utilizados para la aplicación en la industria textil pueden clasificarse según la química, el uso o el método de aplicación y el tipo de fibras a las que se aplican los colorantes. Según Waring y Hallas (2013), los métodos de clasificación comunes se basan en la química y la aplicación (Nambela et al., 2020).

La clasificación basada en la estructura química identifica al colorante como perteneciente a un grupo que tiene propiedades particulares. Esto permite identificar la estructura del colorante específico. Los colorantes orgánicos más importantes en esta clasificación son los

azo y carbonilo. Algunas otras clases son los colorantes nitro, de ftalocianina, de polimetina, de estilbeno, de azufre y trifenilmetano (Allen, 2013).

Si nos basamos en una clasificación respecto al uso o los métodos de aplicación, los colorantes con ciertas características similares se agrupan para que se puedan usar en una aplicación particular. Algunos de estos son los tintes ácidos, tintes mordientes, premetalizados, directos, reactivos, de tina, dispersos y básicos (Christie, 2014).

Se pueden mencionar algunos retos para los colorantes sintéticos. A pesar de que estos son más económicos, eficientes y avanzados en tecnología, la producción de colorantes sintéticos depende de materias primas no renovable y no amigables con el ambiente. Por lo tanto, el futuro de este tipo de colorantes depende de la disponibilidad de recursos de hidrocarburos no renovables, en adición a que el proceso de producción de estos requiere mucha energía. Además, se dice que algunos metabolitos de colorantes sintéticos como los azo son cancerígenos (Saxena et al., 2017).

2.2.3.2 Colorante Azul de Metileno

El colorante escogido para la realización del experimento es Azul de Metileno, siendo este un colorante básico o catiónico. En los colorantes catiónicos o básicos, la acción colorante se encuentra a cargo del catión, mientras que el anión no tiene esa propiedad (Corrales y Caycedo, 2019). Estos colorantes son atraídos a los componentes celulares que son ácidos de forma natural (Tinciones y reconocimientos histoquímicos, s.f.).

El colorante azul de metileno no es un colorante muy peligroso, pero sí puede causar efectos nocivos, la exposición al agua puede causar aumento de la frecuencia cardíaca, vómitos, shock, formación de cuerpos de Heinz, cianosis, ictericia, cuadriplejía y necrosis tisular en humanos (Vadivelan, 2005). De esta manera, es importante encontrar alternativas de bajo costo para la remoción de este contaminante de los efluentes industriales antes de descargarlo al ambiente.

2.2.4 Bioadsorbente: Limón

2.2.4.1 Generalidades

Alrededor del mundo, el consumo de cítricos ha aumentado en las últimas décadas. Una gran cantidad de residuos cítricos se generan y pueden llegar a ser hasta el 50% del peso del fruto. No se están desarrollando formas ecológicas y económicas para tratar este tipo de desechos como producir productos básicos o de valor agregado como los adsorbentes (Gupta, et al., 2009), la mayoría de los residuos cítricos se depositan o eliminan simplemente por combustión o llegan a rellenos sanitarios, también se usan para la fabricación de alimentos de animales, lo que genera gran contaminación ambiental (Melo, Ramón y Saavedra, 2019).

El limón es un cultivo permanente, este se siembra y cosecha todo el año, principalmente en la zona norte del Perú. La cosecha se da después de 4 años del periodo de siembra y la vida económica del cultivo es de 15 años. En nuestro país se producen 2 variedades de limón, el limón Sutil con mayor volumen de producción y el limón Tahití (Minagri, 2017).

Según el Informe del Limón del Minagri (2017), su producción se ve afectada a inicios de año por el Fenómeno del Niño, lo que ocasiona una reducción en la producción. Sin embargo, la recuperación de este cultivo se da en los siguientes meses por las campañas agrícolas que se realizan y por el apoyo que el Minagri brinda a los productores a través del Programa de Recuperación de Plantaciones de Frutales en San Lorenzo, Chira y Alto Piura, dándoles insumos como semillas, plantones, fertilizantes y servicios de maquinaria.

En un estudio de determinación de las características físicas y químicas del Limón Sutil, se determinó que el porcentaje de cáscara del limón sutil en estado verde fue de 19.65%, en estado pintón con 19.98% y en estado maduro es de 18.91% (Puente Huera, 2006). Así mismo, en un estudio sobre la cáscara de naranja como adsorbente, también se estudió al limón, en el cual detallan la composición de la piel de estos dos cítricos (Torres, 2019).

Tabla 1: Composición de la piel de naranja y limón por la cada 100 g

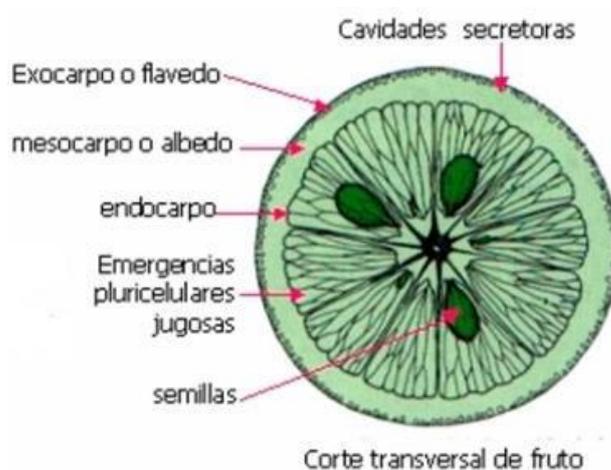
Nutriente	Naranja	Limón
Agua [g]	72,5	81,6
Calcio [mg]	161	134
Magnesio [mg]	22	15
Hierro [mg]	0,8	0,8
Fósforo [mg]	21	12
Potasio [mg]	212	160
Sodio [mg]	3	6
Zinc [mg]	0,25	0,25
Cobre [mg]	0.096	-
Selenio [mcg]	1	-

Fuente: Nadia Torres, 2019

2.2.4.2 Partes del limón

Los limones están constituidos diversas partes observadas en la Figura las cuales son: las cavidades secretoras, el exocarpo o flavedo, mesocarpo o albedo, endocarpo, emergencias pluricelulares jugosas y las semillas (Técnicas Agrícolas, 2011).

Figura 3: Partes de un limón observadas desde un corte transversal



Fuente: El blog de Cítricos La Paz

i. Exocarpo o flavedo

Es la parte más externa y está compuesta por la capa glandular presente en la corteza del fruto y en el flavedo son importantes los pigmentos y los aceites esenciales. Existen limones de color amarillo y verde, dependiendo del lugar de origen, estos alojan las vesículas oleaginosas, que son las hendiduras o los ojuelos presentes en la piel de los cítricos, son frágiles y contienen los aceites esenciales. En la corteza del limón existen flavonas (que son otros pigmentos) en mucha mayor proporción que en las naranjas con 1,5 miligramos en limón y 0,08 miligramos en naranjas (Técnicas Agrícolas, 2011).

ii. Mesocarpo o albedo

El albedo es la parte blanca de la piel del limón y es importante porque contiene sustancias pécticas que tienen la propiedad de embeber grandes cantidades de agua y formar un gel para la elaboración de mermeladas (Técnicas Agrícolas, 2011).

iii. Endocarpo

El endocarpo es la parte comestible de los cítricos. Mientras que en mandarinas, naranjas y pomelos la parte comestible supone el 80% del peso de la fruta, en el limón oscila del 65 al 70%. Contiene ácido cítrico, el cual viene a suponer el 90% de los ácidos totales (cítrico, málico oxálico y ascórbico) dependiendo de las especies y variedades. La proporción de ácidos sobre el total del zumo suele ser del 1% en naranjas y mandarinas, pero llega al 6% en limones. (Técnicas Agrícolas, 2011).

2.3 Contexto de Investigación

El presente trabajo de investigación está enfocado en la remoción de colorantes de la industria textil, la cual es una de las más intensivas en términos químicos en el mundo y la segunda más contaminante en el mundo. En esta sección se comentará un poco acerca de las

características del sector de la industria textil en el mundo y en nuestro país. Además, se describirá el ámbito de influencia del presente proyecto.

2.3.1 Características del sector: Industria textil

2.3.1.1 El sector en el mundo

La fabricación y uso de tintes sintéticos para teñir telas se ha convertido en una industria masiva desde hace ya varios años debido a que el color es la atracción principal de cualquier tela ya que, si tiene un color inadecuado será un fracaso como tejido comercial a pesar de su excelente constitución. Por consiguiente, se ha visto que el uso de colorantes sintéticos se ha incrementado en gran magnitud (Kant, 2012).

Según Castro y Favila (2019), China tiene constantemente una ventaja comparativa con respecto a otros países ya que cuenta con una alta especialización exportadora dentro de la industria textil y de la confección. También se sabe que el 60% de la producción mundial de prendas de vestir se concentra en Asia, pero las grandes pasarelas aún siguen siendo París, Nueva York, Milán y Londres (Coordinadora Estatal de Comercio Justo, 2014).

Según un informe de la Coordinación Estatal de Comercio Justo (2014), los textiles suponen un 1,6% de las exportaciones mundiales y un 2,5% en el caso de las manufacturas, mientras que las prendas de vestir suponen un 2,4% (3,7% para las manufacturas). Y en cuanto a la tendencia de este sector, el ritmo de producción textil y de confección ha crecido en el mundo en un aproximado del 1,2%, pero se ha concentrado en los países en desarrollo, con 2,7% anual y, más en concreto, en los países asiáticos en desarrollo, con un 3,6% anual. Cabe resaltar que esta tendencia se vio afectada por la pandemia actualmente vivida que paralizó la economía mundial por un tiempo.

2.3.1.2 El sector en el Perú

Según el Ministerio de la Producción (2015), la industria textil se encuentra concentrada en Lima con el 69% de las empresas en el sector y también se encuentra la mayor parte de las grandes empresas en ciudades intermedias y Lima. Para el 2014 ya había 9195 empresas de la industria en Lima. La principal fibra de origen vegetal es el algodón en dos variedades: Tanguis, sembrado en la costa central y el algodón pima, que crece en la costa norte del país.

Según el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2020), en 2019 la exportación de textiles disminuyó 3% por la menor demanda de productos de pelo fino (-18,0%) y tras alcanzar récord en 2018, la exportación de lana y pelo fino cayó 18% por la menor demanda de China. También se realizaron menores ventas de tops e hilados de alpaca con un -35% y 11% respectivamente. Sin embargo, se vio un aumento en la venta de productos de algodón: suéter (+10%), vestido (+2%), t-shirt (+2%).

Dada la coyuntura actual, la pandemia afectó mucho a la economía mundial y esto se puede ver reflejado en los resultados del Reporte Mensual de Comercio de abril de 2020. Se sabe que la exportación de textiles/confecciones disminuyó en 35% por la menor demanda de productos de algodón y alpaca. Las ventas de productos de algodón como camisas (-42%), t-shirts (-31%) y tejidos de punto (-27%) disminuyeron, y también las de lana y pelo fino como tops de alpaca (-62%) e hilados (-37%) (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2020).

2.4 Hipótesis

A continuación, se presentarán las hipótesis planteadas para la presente investigación referente a la bioadsorción de colorantes de la industria textil por la cáscara de limón.

2.4.1 Hipótesis General

La cáscara de limón es un potencial bioadsorbente y adsorberá el colorante Azul de Metileno proveniente de los efluentes de la industria textil.

2.4.2 Hipótesis Específica

A mayor tamaño de partícula del bioadsorbente de cáscara de limón, la adsorción del colorante Azul de Metileno aumenta.

La mayor adsorción del colorante Azul de Metileno se dará en un menor tiempo de contacto con el bioadsorbente de cáscara de limón.

A mayor concentración del bioadsorbente de cáscara de limón, la adsorción del colorante Azul de Metileno aumentará.

2.4.3 Variables e indicadores

Tabla 2: Variables e indicadores

Tipo	Variable	Indicador
Independientes	Tamaño de partícula	De 1 mm y 1.19 mm
	Tiempo de contacto	80 min y 120 min
	Concentración del adsorbente	1g /50 ml de solución y 3g/50 ml de solución
Dependiente	Adsorción de colorante Azul de Metileno	Ley de Lambert-Beer Ecuación de remoción Isoterma de adsorción de Langmuir y Freundlich

Fuente: Elaboración propia

3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de Investigación

3.1.1 Diseño

El diseño de la investigación se definió utilizando el libro “Metodología de la Investigación” de Hernández (2018). De acuerdo a lo consultado, se determinó que el diseño es experimental debido será un estudio donde se manipulen una o más variables independientes, para analizar las consecuencias de la manipulación sobre una o más variables dependientes. En esta investigación, se manipularán tres variables independientes como el tamaño de la partícula, el tiempo de contacto y la concentración del adsorbente para evaluar la adsorción de la cáscara de limón. Así mismo, se utilizó un diseño factorial, donde se analizó experimentalmente el efecto que la manipulación de más de una variable independiente tiene sobre la variable dependiente.

3.1.2 Tipo – Nivel

El alcance del presente trabajo de investigación será correlacional según Hernández (2018), debido a que se busca conocer la relación que existe entre la variable dependiente que es la adsorción del colorante Azul de Metileno y las condiciones de la muestra como la variación de variables independientes como el tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la concentración del adsorbente.

3.1.3 Enfoque

El enfoque de la investigación es cuantitativo debido a que será necesario utilizar la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. Se busca evaluar el comportamiento de la cáscara de limón como adsorbente del colorante Azul de Metileno, un colorante frecuentemente encontrado en los efluentes de la industria textil.

3.2 Población y Muestra

El presente trabajo de investigación no tiene una población debido a que se simularon los efluentes en un laboratorio. En cuanto a la muestra, la cantidad de limones que se usarán será definida como una muestra por conveniencia, término que es definido por Hernández (2018). En el proceso de experimentación, se determinó utilizar las cáscaras de 80 limones, los cuales idealmente se obtendrán de la cevichería llamada Pezkalo, ubicada en el distrito de San Luis. Así mismo, se prepara una solución matriz de 0.05 g de colorante Azul de Metileno diluido en 100 ml de agua destilada.

3.3 Instrumentos de Medida

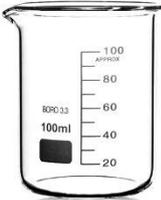
Para poder medir la capacidad de adsorción se utilizará la isoterma de Freundlich y la isoterma de Langmuir, como es utilizada también en diversos experimentos realizados con cáscara de limón. La capacidad de adsorción (q), entendida como la cantidad de colorante removida por el material adsorbente al alcanzar el equilibrio (Rodríguez et al., 2009). Por lo tanto, se utilizará la siguiente fórmula: Donde, C_0 y C_f son la concentración inicial y final de colorante (ppm o mg/L) respectivamente, V_0 y V_f son los volúmenes iniciales y finales respectivamente (L), y m es la masa del bioadsorbente usado (g). Las lecturas de las concentraciones de colorante se llevarán a cabo con un espectrofotómetro propiedad del laboratorio de la Universidad Esan.

Luego de licuar las cáscaras, se usarán tamices. Este instrumento cuenta con una superficie con perforaciones uniformes por donde pasa parte del material y el resto será retenido por él, para llevar a cabo el tamizado es necesaria la presencia de vibración para que el material más fino traspase el tamiz (Emagister, 2018). Estos se usarán para separar los 4 tamaños de partículas según su granulometría usando tamices de 3.35 mm, 1.19 mm, 1 mm y 0.84 mm. De los cuales solo se utilizará el de 1.19 mm y 1 mm. Se colocó cada tamaño de partícula en una bolsa ziploc para almacenar la cáscara en un recipiente contra la humedad.

A continuación, se presenta el cuadro de los instrumentos de medida que son necesarios a lo largo del proceso experimental de la investigación.

Tabla 3: Descripción de experimentos

Instrumento de medida	Ilustración	Uso
Tamices		<p>Para medir las partículas del adsorbente mediante la separación de estas en partículas de 3.35 mm, 1.19 mm, 1 mm y 0.85 mm.</p>
Celular		<p>Se medirá el tiempo de la realización de los experimentos en los dos niveles determinados para el diseño factorial usando la alarma, 80 y 120 minutos. Se tomarán las fotos necesarias como evidencia fotográfica.</p>
Balanza analítica		<p>Se pesará la cantidad de adsorbente tanto para la preparación de la solución matriz, como para la cantidad de adsorbente necesaria para cada experimento.</p>

Agitador		Se colocará el vaso precipitado con una cantidad de adsorbente y tiempos definidos según el experimento, a 25°C y a 150 rpm.
Fiola		En una fiola de 100ml se colocará la solución matriz y en una de 50 ml, la solución para cada experimento.
Vaso precipitado		Se colocará los 50ml de solución para cada experimento.
Pipeta y propipeta		Se utilizará para tomar solamente 1ml de la solución matriz para cada experimento.
Placas petri		Se utilizarán para pesar la cantidad de adsorbente a necesitar por cada experimento.

Espátulas		Se utilizarán para manipular las partículas de cáscara de limón.
------------------	---	--

Fuente: Elaboración propia

3.4 Operacionalización de Variables

Esta investigación se realizará haciendo uso de un diseño factorial, un tipo de experimento diseñado que permite estudiar los efectos que varios factores pueden tener en una variable específica. Al realizar un experimento, es factible estudiar las interacciones entre los factores ya que se varían los niveles de todos los factores al mismo tiempo en lugar de uno a la vez (Soporte de Minitab 21, 2023).

Debido a que se quiere estudiar el efecto de 3 variables escogidas y contando con el subproducto de cáscara de limón limitado, se determinó realizar un Diseño Factorial 2^3 . Esto quiere decir que para el diseño factorial los factores serán las 3 variables escogidas que son el tiempo de contacto, el tamaño de adsorbente y la concentración del adsorbente. Así mismo, con la cantidad de cáscara de limón a disponer, se determinó 2 tamaños de partícula, que significan 2 niveles para este factor. Por lo tanto, cada factor contará con 2 niveles.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, en el presente trabajo se usarán tres variables independientes, el tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la concentración del adsorbente. Para cada una de ellas se plantearán 2 niveles, estos serán planteado de la siguiente forma:

Tabla 4: Descripción de las variables diseño factorial

Letra	Factor (variable)	Nivel bajo (-1)	Nivel alto (+1)
A	tamaño de partícula	1 mm	1.19 mm
B	tiempo de contacto	80 min	120 min
C	concentración del adsorbente	1 g	3 g

Fuente: Elaboración propia

Estas variables influirán en el comportamiento de la adsorción del colorante Azul de Metileno y se verificará bajo qué características la concentración del colorante es menor, o sea se evaluará la remoción del colorante en los distintos niveles establecidos.

Tabla 5: Descripción del diseño factorial

Tratamientos	$2^k = 2^3 = 8$
	k = número de factores
Repeticiones	R = 3, por triplicado
Tamaño de muestra	$8 \times 3 = 24$ experimentos

Fuente: Elaboración propia

El Diseño Factorial 2^3 determina el número de tratamientos a desarrollar, como se puede observar en la Tabla 5. Entonces, se llevarán a cabo 8 experimentos los cuales fueron determinados mediante la aplicación del Diseño Factorial 2^3 . También se determinó que se

realizaría la experimentación por triplicado ya que se cuentan con los recursos suficientes para hacerlo, lo que implica la realización de 24 experimentos en total.

Para poder evaluar la correlación del tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la concentración del adsorbente se realizarán 8 soluciones de 50ml preparadas con la solución matriz. Se detallará cada uno de ellos a continuación:

Tabla 6: Descripción de experimentos

Experimentos	A	B	C	Descripción del experimento
[1]	-1	-1	-1	A los 50 ml de solución se adicionará 1g de cáscara de limón de tamaño de partícula de 1 mm y se someterá a agitación por un periodo de 80 minutos.
a	1	-1	-1	A los 50 ml de solución se adicionará 1g de cáscara de limón de tamaño de partícula de 1.19 mm y se someterá a agitación por un periodo de 80 minutos.
b	-1	1	-1	A los 50 ml de solución se adicionará 1g de cáscara de limón de tamaño de partícula de 1 mm y se someterá a agitación por un periodo de 120 minutos.
ab	1	1	-1	A los 50 ml de solución se adicionará 1g de cáscara de limón de tamaño de partícula de 1.19 mm y se someterá a agitación por un periodo de 120 minutos.
c	-1	-1	1	A los 50 ml de solución se adicionará 3 g de cáscara de limón de tamaño de partícula de 1 mm y se someterá a agitación por un periodo de 80 minutos.
ac	1	-1	1	A los 50 ml de solución se adicionará 3 g de cáscara de limón de tamaño de partícula de 1.19 mm y se someterá a agitación por un periodo de 80 minutos.

bc	-1	1	1	A los 50 ml de solución se adicionará 3 g de cáscara de limón de tamaño de partícula de 1 mm y se someterána agitación por un periodo de 120 minutos.
abc	1	1	1	A los 50 ml de solución se adicionará 3 g de cáscara delimón de tamaño de partícula de 1.19 mm y se someterán aagitación por un periodo de 120 minutos.

Fuente: Elaboración propia

3.5 Técnicas de Recolección de Datos

Para la recolección de datos del presente trabajo de investigación se realizó una amplia revisión bibliográfica. Se revisaron diversos trabajos de investigación y experimentación con distintos sustratos como la cáscara de arroz, cáscara de plátano y cáscara de naranja. Uno de los trabajos sugería que la investigación y experimentación se realice con limón (Torres, 2019). Todo el sustento teórico fue realizado en base a bibliografía de tesis, estudios, artículos científicos, experimentos, etc.

Básicamente, los principales datos se tomarán de los resultados del procedimiento experimentan en el laboratorio. Estos resultados serán analizados mediante la herramienta de Excel para poder entender la correlación de las variables estudiadas y si estas influyen en la capacidad de adsorción del bioadsorbente. Así mismo, se utilizará un espectrofotómetro para la obtención de las concentraciones y se usarán fórmulas para la obtención de la capacidad de adsorción. A continuación, en la Tabla 7 se especificará la técnica para cada variable estudiada.

Tabla 7: Técnica de recolección de datos

Variable	Técnica	Objetivo	Estadística	Herramienta
Tamaño de partícula	Tamizado	Separar 2 tamaños de partícula: 0,5 mm y 1 mm	Tamaño o promedio	Tamices de: 0,5 mm 1 mm
Tiempo de contacto	Observación	Tomar el tiempo de contacto entre adsorbente y la solución	Tiempo promedio	Temporizador
Concentración del adsorbente	Técnica espectrofotometría	Medir la cantidad de adsorbente en la solución	Curva de calibrado	Espectrofotómetro
Concentración del colorante Azul de metileno	Técnica espectrofotometría	Análisis de la eficiencia de adsorción	Curva de calibrado Isoterma de adsorción	Espectrofotómetro y uso de ecuación de Beer

Fuente: Elaboración propia

3.6 Técnicas para el Procesamiento y Análisis de la Información

3.6.1 Espectrofotometría

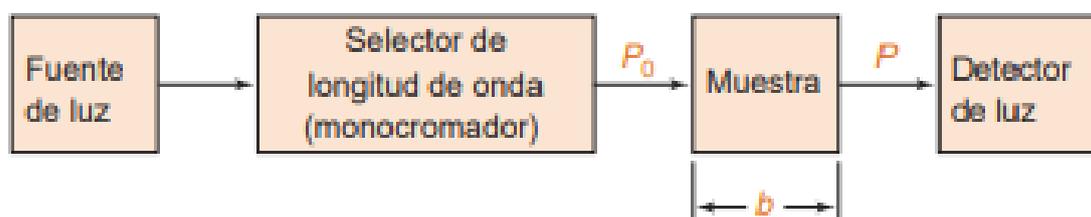
La espectrofotometría es el conjunto de técnicas que utilizan la luz para medir las concentraciones químicas (Harris, 2018). Empezaremos explicando algunos conceptos como la absorción de la luz. Se dice que una molécula ha pasado a estado excitado cuando esta absorbe un fotón y aumenta su energía. Si una molécula cede un electrón, esta disminuye su energía.

En la Figura 2 se puede observar un experimento espectrofotométrico rudimentario, donde la luz pasa a través de un monocromador para seleccionar una longitud de onda. La luz de una sola longitud de onda que es de un solo color, es llamada monocromática. La luz

monocromática tiene una irradiancia P_0 , la irradiancia es la energía por segundo y por unidad de área del haz de luz. Esta luz incide en la muestra de longitud b y la irradiancia de haz que emerge por el otro lado de la muestra es P . Como esta muestra puede haber absorbido alguna cantidad de luz, es $P \leq P_0$. Un concepto más a mencionar es la transmitancia (T), la fracción de luz incidente que pasa a través de la muestra (Harris, 2018).

$$\text{Transmitancia: } T = \frac{P}{P_0}$$

Figura 4: Diagrama esquemático de experimento espectrofotométrico de haz simple



Fuente: Libro Análisis química cuantitativo, 2018

De tal manera, según el libro de Daniel Harris (2018) Análisis químico cuantitativo 3era Edición, T puede valer de 0 a 1. La absorbancia, a veces llamada densidad óptica, refleja cómo aminora la radiación cuando atraviesa un elemento y es directamente proporcional a la concentración.

$$\text{Absorbancia: } A = \log\left(\frac{P_0}{P}\right) = -\log T$$

En química analítica, la denominada ley de Lambert-Beer o Ley de Beer, es el fundamento de la espectrofotometría. La concentración de la muestra, c , viene dada en unidades de mol/L (M). El camino óptico, b , se expresa en centímetros. La cantidad ϵ (epsilon) se llama absorptividad molar que tiene como unidades $M^{-1}cm^{-1}$, de esa manera el producto es adimensional. La absorptividad molar dice cuánta luz absorbe a una longitud de onda determinada (Harris, 2018).

Ley de Beer: $A = \epsilon bc$

La espectroscopía visible y UV consiste en colocar una muestra mayormente líquida en una celda llamada cubeta, que tiene paredes lisas de sílice fundida. Las cubetas más utilizadas tienen una longitud de camino óptico de 1000 cm.

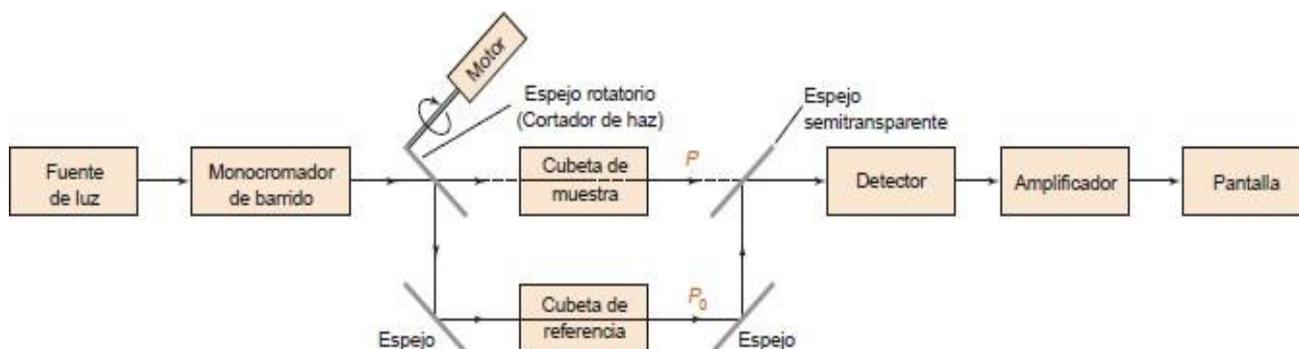
Los espectrofotómetros son instrumentos que permiten determinar la cantidad de concentración de una sustancia en una muestra, se utiliza para medir compuestos coloreados en el rango visible de 390 nm a 800 nm midiendo la intensidad de luz absorbida a una cierta longitud de onda después que atraviesa la muestra (Torres, 2019).

Existen diferentes tipos de espectrofotómetros. El espectrofotómetro de haz simple se llama así porque utiliza un único haz de luz y en ese caso no se mide directamente la irradiancia incidente. Se mide la irradiancia de la luz que pasa a través de la cubeta de referencia que contiene el disolvente puro y se define la irradiancia incidente (P_0). Luego se retira la cubeta y se coloca la que contiene la muestra. La irradiancia que llega después de pasar la muestra es la cantidad P . Ya sabiendo los valores de P y P_0 , se halla T o A .

Un espectrofotómetro de haz simple tiene inconvenientes porque la referencia y la muestra se colocan alternadamente en el camino del haz. Además, para medir a distintas longitudes de onda se debe medir a cada una de ellas. Este instrumento es complicado para medir absorbancias en función al tiempo (Harris, 2018).

En un espectrofotómetro de haz doble la luz pasa alternadamente a través de la muestra y la referencia, llamado también el blanco, mediante un espejo rotatorio o cortador de haz que dirige el haz de luz. Cuando la luz pasa a través de la muestra, el detector mide la irradiancia P y cuando el cortador dirige el haz a la cubeta de la referencia, se mide P_0 .

Figura 5: Diagrama esquemático de espectrofotómetro de barrido de doble haz



Fuente: Libro Análisis químico cuantitativo, 2018

3.6.2 Diseño factorial

Debido a que en este trabajo de investigación se observará la correlación entre las variables independientes para poder identificar mejor en qué condiciones la capacidad de adsorción en mayor, se utilizará un diseño factorial. Este es una técnica matemática y estadística empleada en el tratamiento de datos y planteamientos de experimentos para optimizar los métodos analíticos y extraer el mayor número de información partir de un grupo de datos.

Para el planteamiento se estimarán efectos de 3 variables en este caso vendrían a ser el tamaño de partícula, el tiempo de contacto y la concentración del adsorbente y de 2 niveles, e nivel alto (+) y el bajo (-). Por lo tanto, el diseño factorial 2^3 sería:

Tabla 8: Datos de condiciones de experimentos

Letra	Factor (variable)	Bajo (-1)	Alto (+1)
A	tamaño de partícula	1 mm	1.19 mm
B	tiempo de contacto	80 min	120 min
C	concentración del adsorbente	1 g	3 g

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Matriz de Experimentos del planeamiento factorial 2³

Experimentos	A	B	C
[1]	-1	-1	-1
a	1	-1	-1
b	-1	1	-1
ab	1	1	-1
c	-1	-1	1
ac	1	-1	1
bc	-1	1	1
abc	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se realizarán ocho experimentos, pero con una repetición de triplicado para asegurar el error. Después de la obtención de los resultados de los experimentos se realizará un promedio de ellos y con el promedio se evaluarán los resultados en Excel.

Para la realización de la isoterma, se recuerda que los experimentos se realizarán en matraces o vasos de precipitados de 50 mL a temperatura ambiente. La cantidad de colorante adsorbido se determinó usando la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

Donde C_0 y C_e representan las concentraciones iniciales y de equilibrio (mg/L), respectivamente; V es el volumen de la solución de ion metálico (mL) y m es la cantidad de adsorbente (mg) (Melo, Ramón y Saavedra, 2017).

También se usará una ecuación que nos permita analizar la eficiencia de remoción del colorante (P):

$$P = (C_o - C_e / C_o) \times 100$$

Donde C_o es la concentración inicial del colorante y C_e es la concentración del colorante en equilibrio (mg/L).

3.7 Cronograma de actividades y presupuesto

Tabla 10: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES/TAREAS	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Setiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo			
	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Planeamiento del Problema																																																
Avance de Marco Teórico																																																
Diseño de la investigación																																																
Metodología																																																
Recolección de Datos																																																
Discusión y Resultados																																																
Conclusiones																																																
Entrega Final Word																																																
Entrega Final PPT																																																
Sustentación																																																

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Presupuesto del proyecto de investigación

Categoría	Recurso	Fuente financiadora		Total (s/.)
		Universidad	Propio	
Equipo	Laptop		X	-
Equipo	Cámara de celular		X	-
Software	Excel		X	120
Equipo	Tamices		X	300
Equipo	Espectrofotómetro	X		-
Equipo	Balanza analítica	X		-
Equipo	Agitador	X		-
Equipo	Estufa/Horno	X		-
Equipo	Licadora		X	-
Material de laboratorio	Papel filtro	X		-
Material de laboratorio	Matraz de Erlenmeyer	X		-
Material de laboratorio	Pipeta graduada	X		-
Material de laboratorio	Agua destilada (4 litros)		X	28
Material de laboratorio	Cáscara de limones		X	-
Material	Colorante Azul de metileno		X	60
Gastos	Impresiones		X	0
Viáticos	Pasajes		X	50
Total				558

Fuente: Elaboración propia

4 CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Este capítulo consta de dos etapas que explicarán el desarrollo de los experimentos necesarios para los objetivos de la investigación. Se explicará la etapa de planeamiento y la etapa de laboratorio, la cual incluye seis pasos para llevar a cabo sus objetivos.

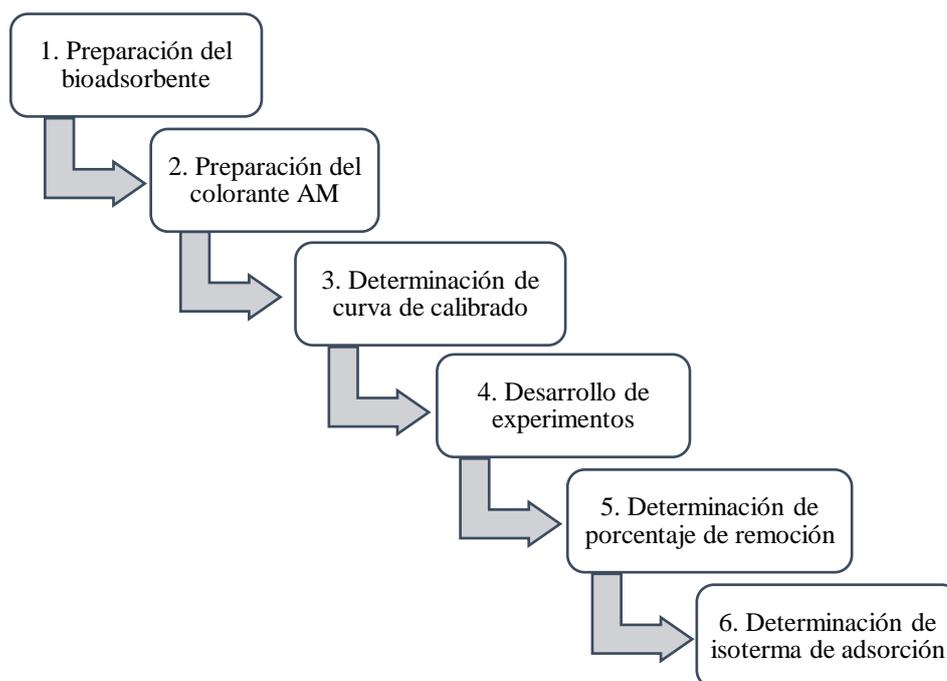
4.1 Etapa de Planeamiento

Debido a que el presente trabajo cuenta con un diseño experimental, se debe definir qué método estadístico se utilizará para cumplir con los objetivos establecidos. El método estadístico a utilizar será el Planeamiento Factorial, el cual es ampliamente utilizado en experimentos donde intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una variable de interés, se usan en trabajos de investigación y constituye la base para otros diseños de gran valor práctico (Medina y López, 2011).

4.2 Etapa de Laboratorio

Para esta etapa, se detallarán seis importantes pasos para llevar a cabo la investigación. Los pasos son: la preparación del bioadsorbente, preparación del colorante Azul de Metileno, determinación de la curva de calibrado, desarrollo de los experimentos, determinación del porcentaje de remoción y determinación de la isoterma de adsorción. Se puede ver la secuencia en el siguiente diagrama.

Figura 6: Pasos de la etapa de laboratorio



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describirán los procedimientos necesarios para llevar a cabo la etapa de laboratorio, los experimentos se realizaron en las instalaciones del laboratorio de la Universidad Esan.

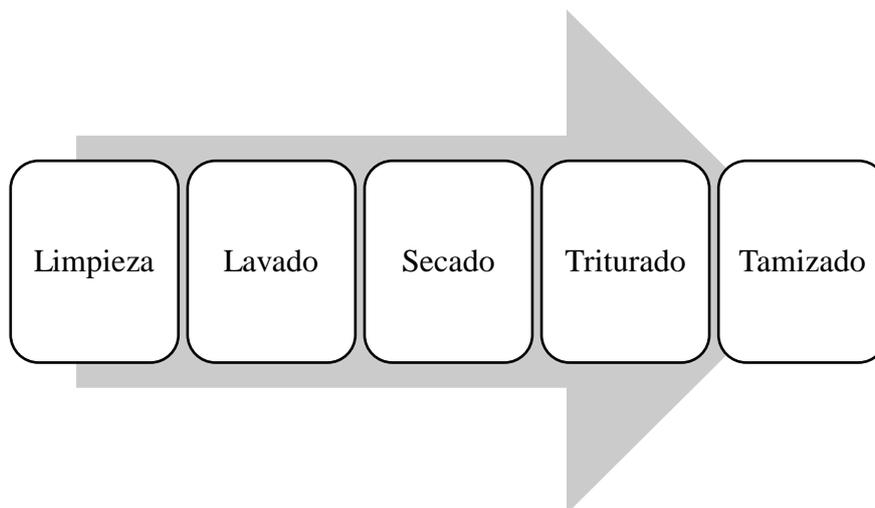
4.2.1 Preparación del bioadsorbente

Las cáscaras de limón necesarias para el desarrollo de este proyecto de investigación serán suministradas por la Cevichería Pezkalo, ubicada en la Av. Canadá 3357 en el distrito de San Luis. De acuerdo a la información dada por el dueño de la cevichería, Yuler Castro, su consumo de limón era de 5 kg por día.

Este tratamiento se divide en 5 etapas (Torres, 2019), que comprenden desde la obtención de la cáscara hasta su separación en partículas pequeñas de diferentes tamaños. Su objetivo es la preparación de la cáscara de limón para usarlo como adsorbente del colorante Azul de

metileno. Para facilitar la comprensión de los pasos a seguir, se puede observar el siguiente esquema en la Figura 7.

Figura 7: Etapas de preparación del bioadsorbente



Fuente: Elaboración propia

Las etapas son:

1. Limpieza: Una vez obtenidas las cáscaras de 80 limones, se extrajo el endocarpio del limón, dejando el flavedo y el albedo limpio.
2. Lavado: Cuando ya se extrajo el resto de la pulpa, se depositó en un recipiente con agua y jabón para eliminar las ceras y resinas que se añaden a la piel del limón.

Figura 8: Cáscaras de limones lavadas



Fuente: Elaboración propia

3. Secado: Luego de enjuagarlas, se escurren las cáscaras y se secan con papel toalla. Se colocan las cáscaras de limón en el horno a 60° centígrados por 24 horas.

Figura 9: Cáscara de limones en el horno



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Cáscaras de limón secas



Fuente: Elaboración propia

4. Triturado: Cuando las cáscaras están secas, se triturarán en una licuadora de hielo o en

una trituradora de alimentos.

Figura 11: Cáscaras de limón en licuadora



Fuente: Elaboración propia

5. Tamizado: Lo resultante del anterior proceso se tamiza para separar los diferentes tamaños de partículas según su granulometría usando tamices de 3.35mm, 1.19 mm, 1 mm y 0.84 mm (Vargas et al., 2009). Se colocó cada tamaño de partícula en una bolsa ziploc para almacenar la cáscara en el desecador de vidrio del laboratorio.

Figura 12: Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Partículas de cáscara en bolsas ziploc



Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Preparación del colorante AM

Para el desarrollo de este experimento, se preparó una solución matriz utilizando el colorante Azul de Metileno el cual es usado en la industria textil. Se disolvió 0.05g de colorante en 100 ml de agua destilada (Rodríguez, Vargas, Marrufo y Benetton, 2009).

Figura 14: Solución matriz



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Determinación de curva de calibrado

Para realizar la curva de calibración se utilizó soluciones del colorante a 0.3, 0.6, y 0.9 ppm a diferentes longitudes de onda (λ). Se obtuvo que, a 660 nm, se lograba una mejor medición de la absorbancia del colorante Azul de Metileno, como se observa en la Tabla 12. A continuación, la medida de las concentraciones realizadas en el espectrofotómetro se realizará a una longitud de onda de 660 nm.

Tabla 12: Determinación de la longitud de onda

Longitud de onda (λ)	0.3 ppm	0.6 ppm	0.9 ppm
560 nm	0.008	0.014	0.014
580 nm	0.014	0.025	0.027
600 nm	0.025	0.043	0.045
620 nm	0.032	0.054	0.055
640 nm	0.039	0.065	0.131
660 nm	0.056	0.094	0.197
680 nm	0.032	0.053	0.106

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Desarrollo de los experimentos

Se disolvió 1mm de solución matriz en 50 ml de agua destilada, utilizando un matraz aforado de 50 ml. Luego, esta solución se colocó en un vaso precipitado para posteriormente colocar la cantidad de adsorbente necesaria debidamente pesada previamente según cada experimento (Figura 15). Así mismo, las soluciones se sometieron a agitación a 25°C y 150 rpm, como se observa en la Figura 16.

Figura 15: Solución en vaso precipitado



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Solución en agitador de imán



Fuente: Elaboración propia

Después del tiempo de agitación indicado según el experimento, se colocará la solución en celdas para su lectura en el espectrofotómetro. La lectura de la absorbancia se realizó a una longitud de onda de 660 nm. Se colocó una celda con agua destilada, a la cual se le llama blanco y también una celda con la muestra de la solución luego del tiempo de agitación, como se puede ver en la Figura 17.

Figura 17: Celda con muestra para medir absorbancia



Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Determinación de la concentración final de colorante AM

Para poder medir la concentración del colorante antes de colocar la cantidad de bioadsorbente en la solución, se utilizó el espectrofotómetro proporcionado por el Laboratorio

de la Universidad Esan. Al usar el espectrofotómetro se obtuvo el valor de la absorbancia y a partir de la Ley de Lambert Beer se determinó la concentración de la sustancia a partir de la absorbancia. Se hizo la medición de la concentración antes y después de cada experimento para observar la adsorción en cada caso.

A continuación, se presenta la Tabla 13 de resumen de recolección de datos completada durante la etapa de laboratorio. Se observa la concentración inicial y final por cara repetición (se realizaron 3 repeticiones).

Tabla 13: Concentración de colorante Azul de Metileno

Variables			Concentración					
Concentración de adsorbente (g/50ml)	Tiempo de contacto (min)	Tamaño de partícula (mm)	Concentración inicial de solución	Concentración final R1	Concentración inicial de solución	Concentración final R2	Concentración inicial de solución	Concentración final R3
1	80	1	7.6623	3.6032	7.8532	4.0805	7.6077	3.8305
1	80	1.19	7.5986	3.9941	7.7623	3.9123	7.7168	4.0986
1	120	1	7.4441	3.8305	7.5895	3.8577	7.7941	3.8168
1	120	1.19	7.4623	3.8441	6.8714	4.0395	7.8032	4.0168
3	80	1	7.3577	6.7986	7.7259	7.4032	7.7623	7.2941
3	80	1.19	7.4214	6.2577	7.8441	6.6623	7.7123	6.1441
3	120	1	7.3623	6.9850	7.7259	7.2214	7.5986	7.2259
3	120	1.19	7.5214	6.8441	7.3714	6.7805	7.2441	6.6032

Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Determinación de la isoterma de adsorción

Una vez encontradas las mejores condiciones para la adsorción con la ayuda del diseño factorial aplicado, se realizó el estudio de las isotermas de adsorción con el objetivo de verificar los resultados encontrados. Se determinó realizar 2 tipos de isoterma, la de Langmuir y la de Freundlich para verificar cuál representa mejor el modelo. Por lo tanto, se realizaron las isotermas con concentraciones de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 gramos de masa de cáscara de limón.

Para cada cantidad de masa, se disolvió 1 mm de solución matriz en 50 ml de agua destilada y se utilizó cáscara de limón de 1mm por 80 minutos.

Luego de tener los resultados de las concentraciones del colorante usando el espectrofotómetro, se procede a utilizar las ecuaciones de las respectivas isothermas para comparar sus R^2 más altos y verificar cuál es la ecuación que describe mejor el sistema. Así mismo, se obtendrá las gráficas que nos permitirán visualizar los resultados y compararlos. A continuación, se observarán los datos de concentración obtenidos tras cada prueba.

Tabla 14: Concentración de colorante Azul de Metileno a diferente cantidad de masa

Masa de cáscara de limón (g)	Ce, Concentración del adsorbato en la solución (ppm)
0	6.9727
0.2	4.6132
0.4	4.1464
0.6	3.9445
0.8	3.7982
1	3.7586

Fuentes: Elaboración propia

Luego de obtener las concentraciones para cada cantidad de masa, se procedió a desarrollar las gráficas con las ecuaciones correspondientes. De las cuales, se obtuvo la ecuación de la gráfica, que describía el comportamiento de la adsorción del colorante usando cáscara de limón. El análisis de estos resultados se analizará en el siguiente capítulo.

5 CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Habiendo explicado en el anterior capítulo cómo se desarrollaron los experimentos para poder evaluar la capacidad de adsorción del colorante Azul de metileno, usando la cáscara de limón, a continuación, se analizarán los resultados presentados de los experimentos realizados y también se presentará el análisis estadístico de los experimentos desarrollados.

5.1 Análisis de resultados de etapa de planeamiento

5.1.1 Determinación de la concentración final del colorante AM

Como se hizo referencia en el capítulo anterior, se realizaron 8 experimentos en triplicado para disminuir el margen de error experimental, realizándose así 24 experimentos. En la Tabla 15 se observa el porcentaje de remoción promedio del colorante Azul de metileno utilizando cáscara de limón en diferentes condiciones de tamaño de partícula, tiempo de contacto y concentración del adsorbente, y este se determinó de acuerdo con la siguiente fórmula:

Donde C_0 es la concentración inicial (mg/L) y C_{eq} es la concentración en equilibrio (mg/L) del colorante.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{C_0 - C_{eq}}{C_0} \times 100$$

Tabla 15: Porcentaje de remoción promedio

Concentración de adsorbente (g/50ml)	Tiempo de contacto (min)	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de Remoción promedio
1	80	1 mm	50.22%
1	80	1.19 mm	47.97%
1	120	1 mm	48.86%
1	120	1.19 mm	46.07%
3	80	1 mm	5.94%
3	80	1.19 mm	17.03%
3	120	1 mm	5.52%
3	120	1.19 mm	12.83%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el mayor porcentaje de remoción se da con las siguientes condiciones: 1g de adsorbente (cáscara de limón), 80 minutos de tiempo de contacto y 1 mm de tamaño de partícula de la cáscara. Así mismo, bajo las mismas condiciones de concentración del adsorbente y de tiempo de contacto, pero con un tamaño de partícula de 1.19 mm, el porcentaje de remoción promedio disminuye en 2.25%, siendo de 47.97% de remoción.

Con los resultados de cada experimento y sus repeticiones observados en la Tabla 13 del anterior capítulo, se elaboró una tabla (Tabla 16) de las remociones y diferentes gráficos para el análisis y discusión.

Tabla 16: Porcentajes de remoción de colorante AM

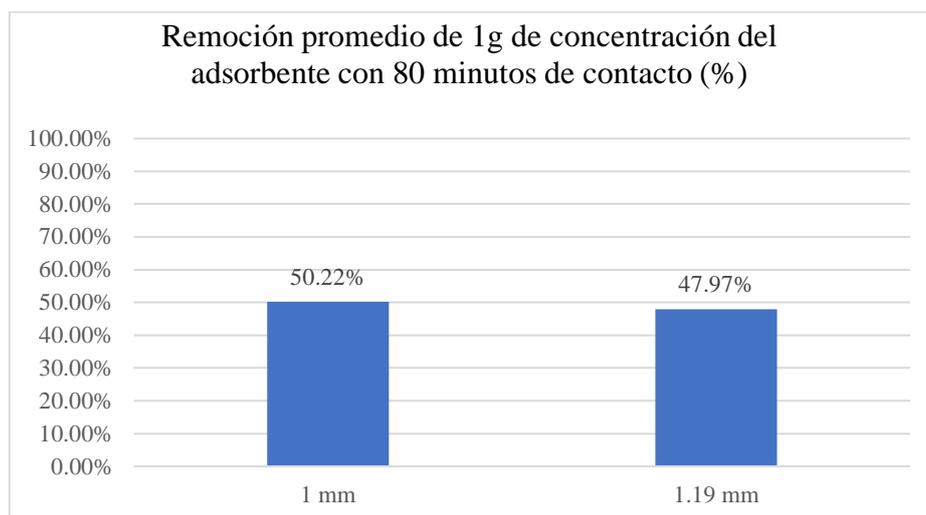
Variables			% De remoción		
Concentración de adsorbente (g/50ml)	Tiempo de contacto (min)	Tamaño de partícula (mm)	R1	R2	R3
1	80	1	52.98%	48.04%	49.65%
1	80	1.19	47.44%	49.60%	46.89%
1	120	1	48.54%	49.17%	51.03%
1	120	1.19	48.49%	41.21%	48.52%
3	80	1	7.60%	4.18%	6.03%
3	80	1.19	15.68%	15.07%	20.33%
3	120	1	5.12%	6.53%	4.91%
3	120	1.19	9.00%	8.02%	8.85%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se observarán gráficos sobre las diferentes condiciones establecidas para los experimentos en tiempo de contacto y concentración del adsorbente comparando los 2 tamaños de partículas de cáscara de limón, de 1 mm y de 1.19 mm.

El en gráfico 1 podemos ver que, a una misma concentración de 1g de adsorbente y un mismo tiempo de contacto de 80 minutos, la remoción del colorante varía según el tamaño de partícula. Se da una mayor remoción con el 50.22% con un tamaño de partícula de 1mm.

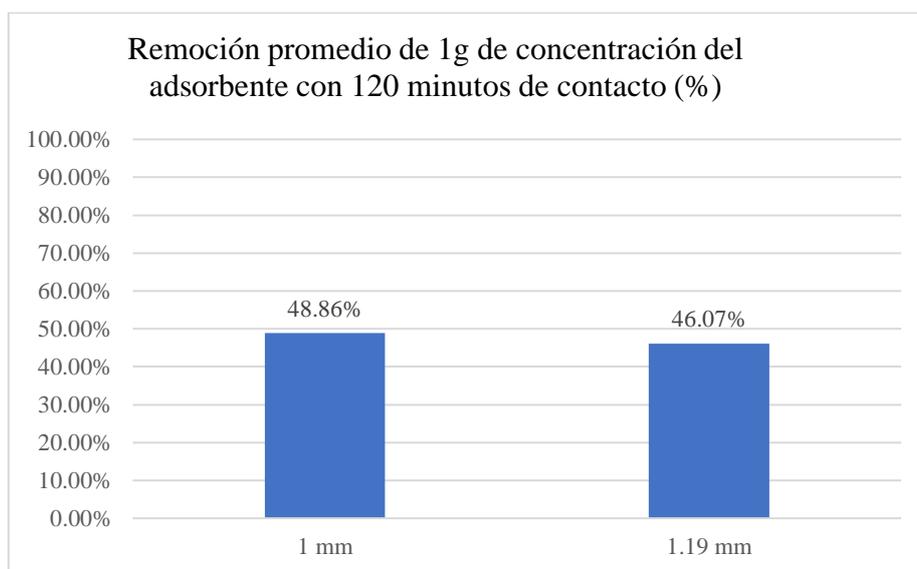
Gráfico 1: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 1g a 80 minutos



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2 podemos ver que, a una misma concentración 1 g de adsorbente y un mismo tiempo de contacto de 120 minutos, la remoción del colorante varía según el tamaño de partícula. Se da una mayor remoción con el 48.86% con un tamaño de partícula de 1.19 mm.

Gráfico 2: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 1g a 120 minutos

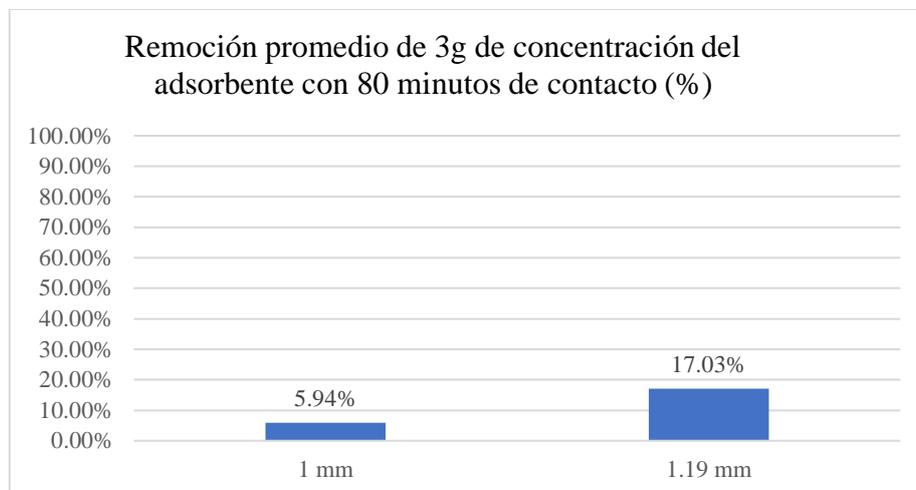


Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3 muestra que, a una misma concentración de 3 g de adsorbente y un mismo tiempo de contacto de 80 minutos, la remoción del colorante varía según el tamaño de partícula.

Se da una mayor remoción con el 17.03% con un tamaño de partícula de 1.19 mm a comparación de la remoción del 5.94% con un tamaño de partícula de 1 mm.

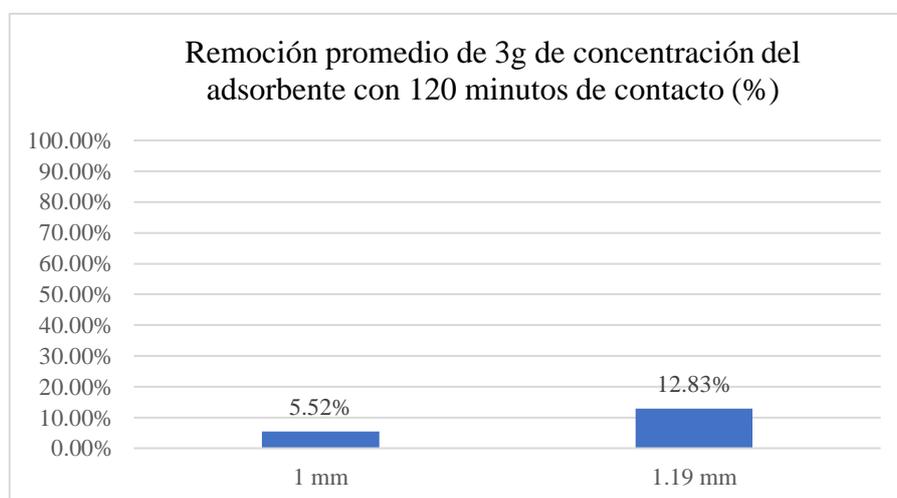
Gráfico 3: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 3g a 80 minutos



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4 podemos ver que, a una misma concentración de 3 g de adsorbente y un mismo tiempo de contacto de 120 minutos, la remoción del colorante varía según el tamaño de partícula. Se da una mayor remoción con el 12.83% con un tamaño de partícula de 1.19 mm a comparación de la remoción del 5.52% con un tamaño de partícula de 1 mm.

Gráfico 4: Remoción promedio de colorante Azul de metileno con 3g a 120 minutos



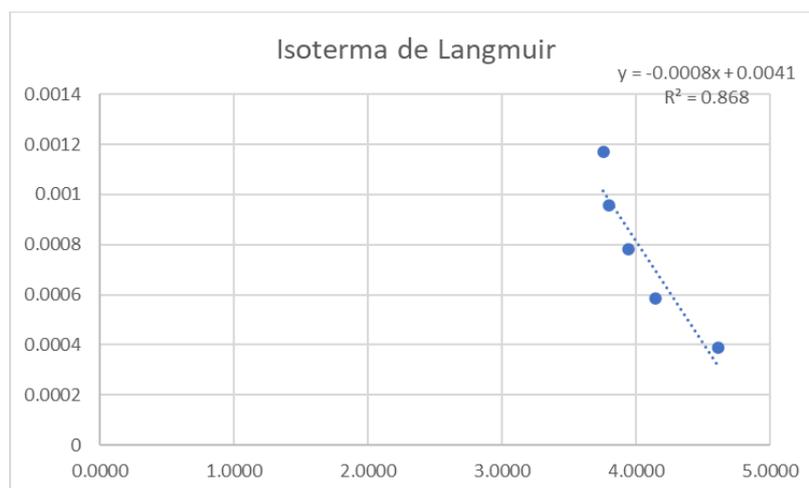
Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Determinación de la isoterma de adsorción

Como se mencionó anteriormente, para esclarecer el posible mecanismo de adsorción se determinaron las isotermas de adsorción. Los resultados experimentales se correlacionaron con dos modelos de isotermas, la de Freundlich y Langmuir. Por lo tanto, se realizaron las isotermas con concentraciones de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 gramos de masa de cáscara de limón. Para cada cantidad de masa, se disolvió 1 mm de solución matriz en 50 ml de agua destilada y se utilizó cáscara de limón de 1mm por 80 minutos.

En el Gráfico 5 se puede observar que, usando la ecuación de la recta de Langmuir, se cuenta con un ajuste lineal (R^2) de 0.868. Esto significa que el modelo tiene una correlación aceptable pero no necesariamente buena. Por otro lado, en el Gráfico 6 se observa la ecuación de la recta de Freundlich, donde el ajuste lineal (R^2) es de 0.9758.

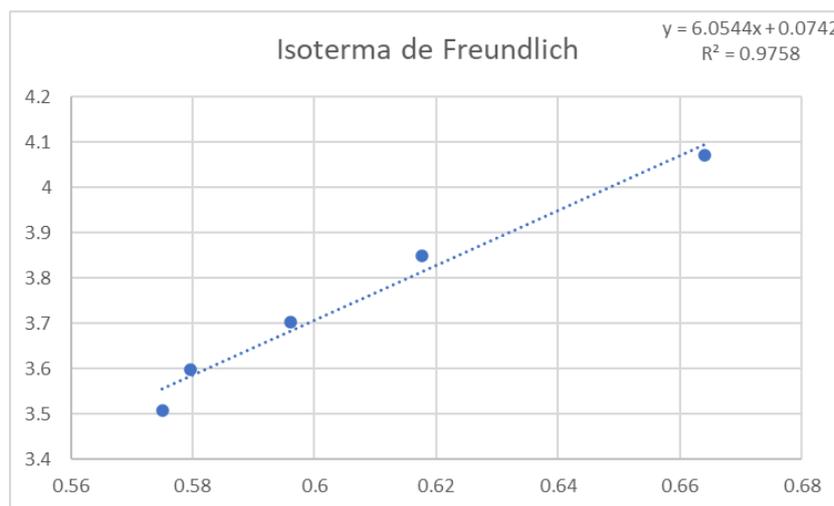
Gráfico 5: Isotherma de Langmuir



Fuente: Elaboración propia

Este valor está mucho más cerca de 1, por lo cual este modelo describe mejor la interacción entre las variables. Por lo tanto, la mejor correlación fue hallada con la ecuación de Freundlich por tener un valor de R^2 mayor que Langmuir.

Gráfico 6: Isoterma de Freundlich



Fuente: Elaboración propia

Se identificó que la isoterma de Freundlich representaba mejor el modelo, lo que significa que la superficie del adsorbente es energéticamente heterogénea, es decir, los sitios de adsorción con la misma energía se encuentran agrupados en pequeñas áreas las cuales son independientes y no equivalentes y también asume que los sitios de adsorción pueden adsorber solamente una molécula de adsorbato y que no existen interacciones laterales entre moléculas adsorbidas (Beltrán, 2015).

5.2 Análisis estadístico de los resultados

Al haber utilizado la herramienta estadística del diseño factorial, no se realizaron experimentos al azar, sino que se utilizó metodología de experimentación que permite realizar la menor cantidad de experimentos posibles con la mayor fiabilidad de sus resultados. Estos resultados fueron procesados en el Software Minitab, donde se obtuvieron diferentes análisis que corroboran la efectividad de la adsorción del colorante Azul de Metileno mediante el uso de cáscara de limón. La Tabla 17 muestra cómo se identificará cada factor y sus niveles para el análisis respectivo.

Tabla 17: Factores y niveles del modelo

Letra	Factor	Bajo (-1)	Alto (1)
A	tamaño de partícula	1 mm	1.19mm
B	tiempo de contacto	80 min	120 min
C	concentración del adsorbente	1 g	3 g

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18 se observa el resumen del modelo, donde se evidencia un coeficiente de determinación (R^2) de 98.45%, confirmando la fiabilidad del modelo para las previsiones futuras.

Tabla 18: Resumen de modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred.)
0.190440	98.92%	98.45%	97.58%

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 19 ANOVA muestra los factores del modelo, de los cuales se evidencia que el factor A, C y A*C son significativos al tener un valor p menor al 0.05. Este resultado también se puede observar gráficamente en el Diagrama de Pareto (Grafico 7), donde los factores que sobrepasan el margen de error son los significativos, identificando nuevamente que el facto C, A y la interacción de AC son los significativos.

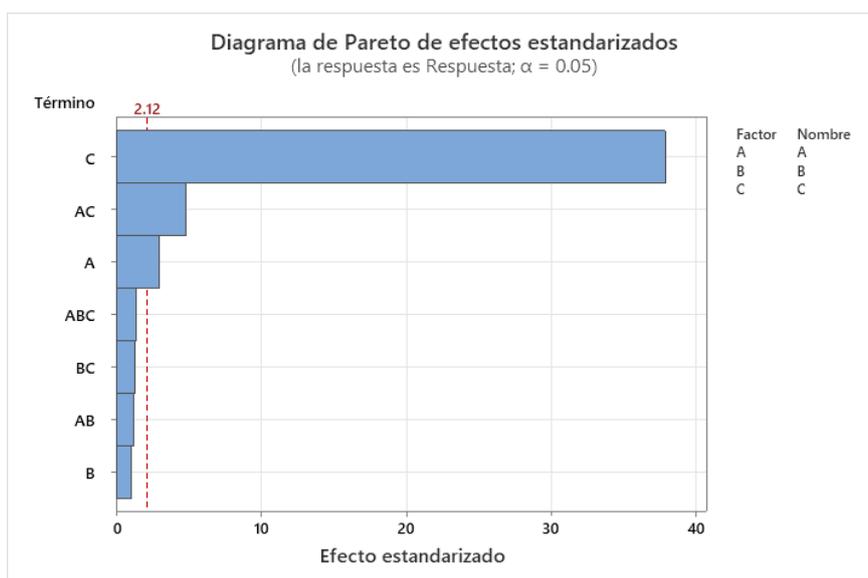
Tabla 19: Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	53.3026	7.6147	209.96	0.000
Lineal	3	52.2627	17.4209	480.35	0.000
A	1	0.3151	0.3151	8.69	0.009
B	1	0.0405	0.0405	1.12	0.306
C	1	51.9070	51.9070	1431.24	0.000
Interacciones de 2 términos	3	0.9670	0.3223	8.89	0.001
A*B	1	0.0534	0.0534	1.47	0.243
A*C	1	0.8523	0.8523	23.50	0.000

B*C	1	0.0614	0.0614	1.69	0.212
Interacciones de 3 términos	1	0.0729	0.0729	2.01	0.175
A*B*C	1	0.0729	0.0729	2.01	0.175
Error	16	0.5803	0.0363		
Total	23	53.8829			

Fuente: Elaboración propia

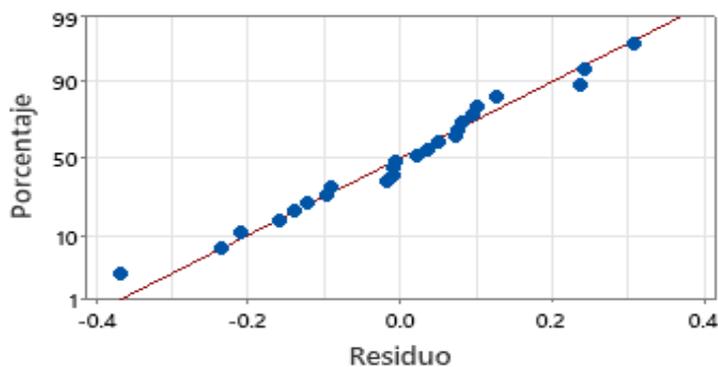
Gráfico 7: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, el Gráfico 8 de probabilidad normal nos muestra la propuesta del diseño experimental es confiable.

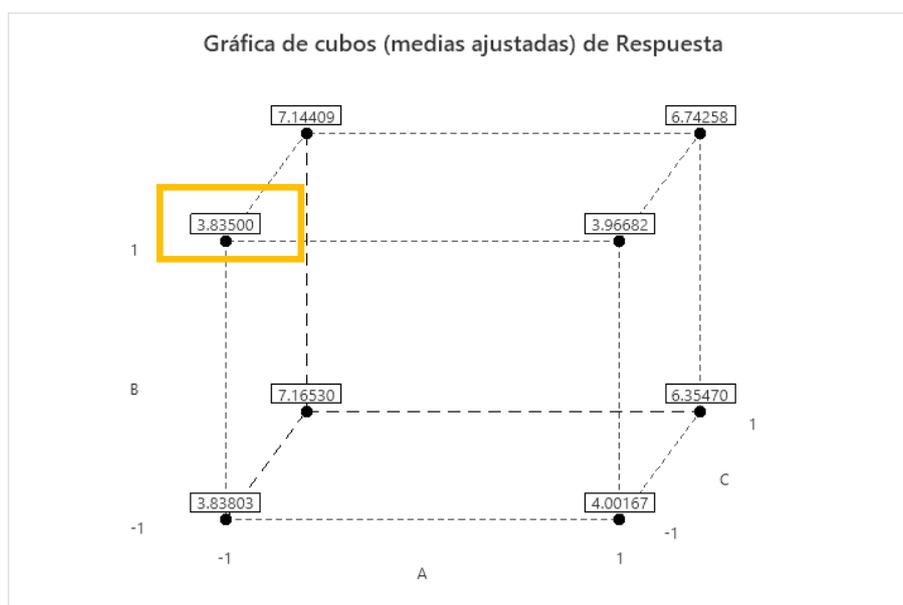
Gráfico 8: Gráfico de probabilidad normal



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 9 de cubos se observa que el vértice con menor valor de concentración final, 3.83500, hace referencia a la mejor combinación de factores, esto quiere decir que al mejor rendimiento. Siendo la mejor combinación el factor A (tamaño de partícula) con un nivel bajo (1 mm), el factor B (tiempo de contacto) con un nivel alto (120 minutos) y el factor C (concentración del adsorbente) con un nivel bajo (1g).

Gráfico 9: Gráfico de cubos de respuesta (concentraciones finales)



Fuente: Elaboración propia

Habiendo identificado que una mejor adsorción requeriría un tamaño de partícula de 1 mm, se puede afirmar que, a menor tamaño de partícula, la remoción será mayor. Esto se explica debido a que la adsorción tiene lugar primordialmente sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (soluto) que se puede adsorber es directamente proporcional al volumen, a su vez se conoce que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa (Tejada et al., 2015). Es decir que, si la partícula grande se descompone en partículas más pequeñas, la superficie total aumenta.

Los resultados experimentales apoyan la hipótesis principal, la cual es: la cáscara de limón es un potencial bioadsorbente y adsorberá el colorante Azul de Metileno proveniente de los efluentes de la industria textil. A su vez, se hallaron 3 investigaciones sobre la propiedad de adsorción de la cáscara de limón (ver Tabla 20). Una de estas menciona que la cáscara de limón es capaz de adsorber Cu (II) por una biomasa pretratada (Villanueva, 2006). También, Sánchez et al. (2009) mencionan en su investigación que se vio la adsorción del colorante amarillo 5 (Tartrazina) de uso alimenticio con cáscaras de limón acondicionadas con Hierro es efectiva y también según Melo, Ramón y Saavedra (2017), se removió Cu⁺² y el colorante Azul de metileno utilizando cáscaras de naranja, mandarina y limón, resultando la cáscara de mandarina más efectiva y en segundo lugar la del limón.

Habiendo presentado diversos resultados de antecedentes (Tabla 20), también podemos decir que el resultado ha sido positivo debido a la estructura del sustrato y a sus interacciones con el colorante. La adsorción que se observó fue la física, donde el adsorbato y la superficie del adsorbente interactúan por medio de las fuerzas de Van der Waals. Con relación a otra investigación, según Melo, Ramón y Saavedra (2019), la razón de esta capacidad de adsorción está relacionada con la gran cantidad de grupos oxigenados (-C-O), como alcoholes y ácidos carboxílicos, en la superficie de la cáscara de limón y se determinó la naturaleza de los grupos superficiales presentes realizando titulaciones de acuerdo con el método de Boehm. La modificación superficial de los residuos cítricos utilizando un ácido orgánico permite incrementar la densidad superficial de grupos oxigenados, especialmente ácidos carboxílicos, lo que se refleja en un incremento en el rendimiento de la adsorción (Melo, Ramón y Saavedra, 2019).

De acuerdo a la investigación realizada, el resultado fue positivo debido a que el punto isoeléctrico del biomaterial, su área superficial y la presencia de un gran número de grupos funcionales superficiales en la pared celular de la biomasa, podrían favorecer el proceso de

adsorción de los colorantes (Marín et al., 2018). Y una propiedad importante que debe poseer un buen adsorbente es una estructura porosa que resulta en un área superficial alta, lo cual la cáscara de cítricos cumple (Gupta et al., 2009). Asimismo, según una revisión exhaustiva, las cáscaras de limón podrían convertirse en nuevos biosorbentes para la eliminación de metales pesados y colorantes acumulados en el ambiente acuoso (Jiang et al., 2022).

Tabla 20: Investigaciones sobre adsorción usando cáscara de limón

Investigaciones sobre cáscara de limón				
N°	Nombre de la investigación	Autor(es)	Año	Resultados
1	Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscarade Citrus Sinensis (naranja), Citrus Limonium (limón) y OpuntiaFicus(palmeta de nopal)	Claudia Cecilia Villanueva Huerta	2006	En el presente trabajo se ha investigado la biosorción de Cu (II) por las biomasas pretratadas de cáscara de citrus sinensis (naranja), citrus limonium,(limón) y opuntia ficus (palmeta de nopal). Las biomasas fueron tratadas concloruro de calcio, el cual le da una mayor estabilidad mecánica al material bioadsorbente. Los experimentos sobre el efecto del pH en el proceso de biosorción de Cu (II) por los materiales biosorbentes mostraron que el rango óptimo de pH se encuentra entre 4,5 - 5,0. Los datos experimentales obtenidos se procesaron usando las ecuaciones adsorción de Langmuir y Freundlich. La máxima capacidad de biosorción de Cu (II) por las biomasas fueron: 36,1011 mg/gpara la cáscara de citrus sinensis; 47,0436 mg/g para cáscara de citrus limonium y 44,2567 mg/g para el opuntia ficus.
2	Cinética De Biosorción Del Colorante Amarillo 5 (Tartrazina) de uso alimenticio con cáscaras de limón acondicionada con Hierro	M.L. Rojas Sánchez, M.C. Díaz Nava, R. Cortés Martínez, H.E. Martínez Flores, C.J. CortésPenagos.	2009	Se puede concluir que las cáscaras de limón, modificadas y sin modificar, sonun biosorbente potencial para la remoción del colorante am-5 de soluciones acuosas. Dicha modificación puede aumentar la capacidad de biosorción del colorante. Sintiendo la cinética rápida.

3	Evaluación de la adsorción de Cu^{+2} y azul de metileno en biosorbentes de bajo costo obtenidos a partir de biomasa residual de la agroindustria de cítricos	Javier Melo G., Said Saavedra R., Jacipt Alexander Ramón	2019	<p>Este trabajo se basó en desarrollar materiales adsorbentes a partir de cáscaras de limón, naranja y mandarina con actividad para remover el colorante azul de metileno, y en efecto, demostrar su potencial para ser usado en la eliminación de contaminantes orgánicos del agua.</p> <p>Se determinó que el uso de materiales obtenidos a partir de residuos de la agroindustria de los cítricos como cáscaras de limón, naranja y mandarina para la remoción de moléculas contaminantes es viable, ya que estos presentan habilidad para la adsorción en batch del colorante orgánico azul de metileno. En orden los residuos de mandarina presentan mayor rendimiento que los de limón, y estos, que los de naranja. La razón de esta capacidad está relacionada con la vasta cantidad de grupos oxigenados (-C-O), como alcoholes y ácidos carboxílicos, en la superficie del material adsorbente. La modificación superficial de los residuos cítricos utilizando un ácido orgánico permite incrementar la densidad superficial de grupos oxigenados, especialmente ácidos carboxílicos, lo que se refleja en un incremento en el rendimiento de la adsorción. Así mismo, la calcinación de los residuos puede potencialmente, ser una ruta para la obtención de un material estable con actividad para la adsorción.</p>
4	An advance on nutritional profile, phytochemical profile, nutraceutical properties, and potential industrial applications of lemon peels: A comprehensive review	Haitao Jiang, Wanli Zhang, Yan Xu, Luyao Chen, Jiankang Cao, Weibo Jiang	2022	<p>Tras un gran aumento poblacional, la demanda diaria de productos alimenticios también se ha impulsado. Ello ha generado una gran cantidad de subproductos alimentarios que se descartan como desechos de alimentos, generando impactos adversos en el medio ambiente y la economía. Las cáscaras de limón contienen abundantes sustancias de alto valor agregado que demuestran propiedades nutraceuticas deseables y prometedoras en la aplicación industrial. Su aplicación en biorremediación como removedores de metales pesados y colorantes y en la acuicultura como constituyentes beneficiosos de la dieta de los peces también es prometedora.</p>

Fuente: Elaboración propia

5.3 Análisis sobre los resultados y su impacto a nivel de políticas públicas

Como se ha visto anteriormente, la presente investigación cuenta con resultados favorables en la adsorción de colorantes de la industria textil utilizando partículas de cáscara de limón. El poder identificar las condiciones más óptimas para una adsorción eficaz nos permite visualizar la posibilidad de utilizar el bioadsorbente de cáscara de limón como parte del proceso de tratamiento de agua de los efluentes de la industria textil.

Sabiendo que el tema del cuidado de nuestros recursos hídricos es fundamental para el Perú, es necesario mencionar que la ausencia de buenos servicios puede resultar generando uno o todos los siguientes costos para nuestro país: gastos en salud, gastos en provisión de agua y saneamiento, aumento de la deuda pública implícita y aumento de la brecha de género (Hantke-Domas y Jouravlev, 2011). Por esta razón, se percibe fundamental incentivar la investigación y promover políticas públicas orientadas a la mejora de la prestación de los servicios que pueden revertir los costos mencionados anteriormente, transformándolos en beneficios como el aumento del bienestar en la población, el aumento de la eficiencia del uso de agua y el desarrollo agrícola, exportados y turístico (Hantke-Domas y Jouravlev, 2011).

A continuación, se presenta un cuadro de análisis de los beneficios que se obtendrían si se hace uso de los resultados positivos del tema investigado y su posible contribución en políticas públicas.

Tabla 21: Comparativo de valor agregado de la investigación

Resultado	Beneficios	Política pública	Acciones
La mejor combinación es: utilizar cáscara de limón con tamaño de partícula de 1 mm, un tiempo de contacto de 120 minutos y una concentración del adsorbente de 1g para las condiciones de laboratorio.	Aprovechamiento de residuo agrícola para la adsorción de colorantes de la industria textil.	Política pública para la utilización de cáscaras de limón en el tratamiento de aguas residuales	Recolección de residuos de cáscara de limón de cevicherías en Lima Metropolitana.
	Reducción de residuos orgánicos alargará tiempo de vida de rellenos sanitarios.		Realización de programas de concientización sobre la valorización de residuos orgánicos para la población.
	Mejora en la calidad de agua para flora, fauna y sociedad.		Toma de muestras de efluentes de empresas textiles antes y después de implementado el uso de cáscaras de limón para evidenciar la eficacia.

Fuente: Elaboración propia.

6 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo, se mencionarán las conclusiones halladas durante trabajo de investigación, luego de la respectiva investigación bibliográfica y prácticas experimentales. También, se añadirán la perspectiva de la aplicación práctica y algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

6.1 Conclusiones

Tras una basta investigación se puede concluir que la cáscara de limón es un material bioadsorbente con potencial y debe ser estudiado con más profundidad en el área de colorantes de la industria textil. En consecuencia, los resultados de los experimentos mostraron que con las condiciones de 1mm de partícula, 80 minutos de tiempo de contacto y 1 g de cáscara de limón en promedio de hace la remoción del 50.22% de colorante Azul de Metileno.

Podemos concluir que un tamaño de partícula más pequeña asegurará una mayor remoción, esto se explica debido a que la adsorción se da sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (colorante AM) que se puede adsorber es directamente proporcional al volumen, a su vez se conoce que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa (Tejada et al., 2015). Esto quiere decir que, si la partícula grande se descompone en partículas más pequeñas, la superficie total aumenta.

Con respecto al tiempo de contacto, en esta investigación se compararon 2 condiciones, a 80 minutos y a 120 minutos. Los resultados experimentales arrojaron que a 80 minutos se daba mayor remoción de colorante. Sin embargo, en la proyección de los resultados estadísticos, la mejor condición con respecto al factor de tiempo de contacto resultó 120 minutos. Concluimos entonces que, si bien se puede adsorber un poco más de colorante en 120 minutos, la diferencia de adsorción

es mínima (revisar Gráfico 7: gráfico de cubos). Por lo tanto, se recomienda mantener los 80 minutos ya que implica un ahorro de tiempo y energía.

Tanto en los resultados experimentales de laboratorio como en el análisis estadístico de estos resultados y su proyección, la mejor condición respecto a la concentración del adsorbente es de 1 g de cáscara de limón. Se considera que este resultado fue así debido a que mayor cantidad de adsorbente en un mismo espacio reduce la velocidad y disminuye la facilidad de remoción y contacto con el colorante.

Se encontró también en diversos antecedentes que la cáscara de limón, es efectiva como adsorbente de colorantes en aguas residuales de la industria textil esto a condiciones suaves sin requerir tratamientos adicionales a los procesos de secado y molienda, lo que se deriva en una alternativa factible y atractiva económicamente.

La utilización de la cáscara de limón ayudaría a reducir el volumen de residuos sólidos de diversas empresas que utilicen limones como materia prima, además esto favorecería el incremento en el tiempo de vida de los rellenos sanitarios si se plantea crear una empresa dedicada a la realización de materiales adsorbente a base de residuos como los cítricos. Con lo cual la valorización de recursos se llevaría a cabo al utilizar un residuo agrícola como insumo para la posible elaboración de sistemas de adsorción de colorantes.

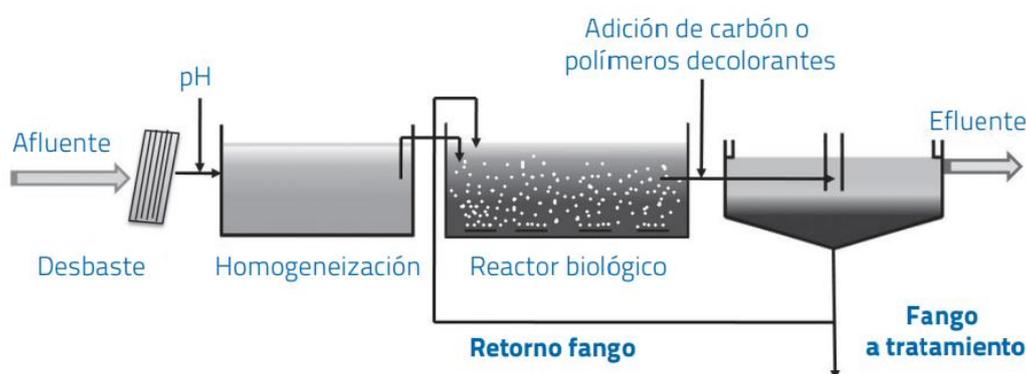
Aún más, durante el desarrollo de la investigación se conoció que la cáscara de naranja y limón se usan no solo como adsorbentes de colorantes de la industria textil, sino también de metales pesados que se encuentran en los efluentes de la industria minera. Con lo cual podemos decir que la cáscara de estos cítricos ayudaría mucho con el tratamiento de aguas contaminadas en nuestro país.

6.2 Aplicación

La literatura revisada cita que las concentraciones de colorantes en efluentes más comunes son menores a 1000 mg/L y que en general, estas oscilan entre los 50 y 7000 mg/L (Yassen y Scholz, 2018). Sin embargo, es importante mencionar que este dato es diferente para cada industria textil. Los valores de concentración de colorante más altos son encontrados en la descarga de las máquinas de teñir (Tolentino et. al, 2022) y también en los procesos de mercerizado y tintura y acabados (Castanares, 2021).

El sistema de depuración que se sugiere utilizar para poder adicionar las cáscaras de limón como bioadsorbente es el sistema de fangos activados. El tratamiento de efluentes con fangos activados tiene un rendimiento elevado en la eliminación de DQO y DBO, pero no es eficaz para eliminar el color la que la mayoría de colorantes son poco biodegradables (López y Crespi, 2015). Por esta razón se sugiere un proceso de fangos activados con adición de carbón activado o resinas decolorantes (Figura 18), bajo el aporte de esta investigación, el sustrato a añadir serían las partículas de cáscaras de limón.

Figura 18: Proceso de fangos activados con adición de carbón activo o resinas decolorantes



Fuente: Gestión de efluentes de la industria textil, 2015

De acuerdo a los investigado y para realizar un acercamiento a la aplicabilidad de la exploración, se plantea aplicar el porcentaje de remoción obtenido en el proceso experimental (50.22 %) a un efluente textil con una concentración de colorante de 700 mg/L.

Tabla 22: Cuadro de cálculo de concentración de colorante textil

Concentración de colorante en efluente textil	700 mg/L
Porcentaje de remoción usando partículas de cáscara de limón	50.22%
Operación	$700 * 0.5022$
Resultado	351.54 mg/L

Fuente: Elaboración propia

6.3 Recomendaciones

Como recomendaciones, sugiero que para la realización de otra investigación sobre la cáscara de limón como bioadsorbente, se considere añadir la variable pH al estudio de la influencia en la capacidad de adsorción. Hemos observado que el pH varía la capacidad de adsorción y sería bueno tomarlo en cuenta para sacar mejor provecho de este residuo. Así mismo, se anima a hacer una investigación con cáscara de limón pretratada para saber si su capacidad de adsorción de colorantes de la industria textil aumenta.

Es muy importante la limpieza y orden durante el desarrollo de los experimentos, ya que descuidos de ese tipo pueden afectar los resultados, atrás los proyectos y generar un desperdicio de material, requiriendo más uso de material que el planeado.

Se sugiere también, considerar la posibilidad de elaborar bolsas de 25 kg de partículas de cáscara de limón, como existen de carbón activado granular en el mercado, para la remoción de estos colorantes en procesos industriales. Y se recomienda seguir realizando investigaciones sobre diversos materiales de bajo costo y con potencial para los procesos de bioadsorción

debido a que, dada la gran persistencia de los colorantes en el ambiente, y los métodos utilizados como oxido-reducciones pueden dejar productos secundarios con alta toxicidad (Melgar, 2013).

Así también, complementar los estudios dirigidos sobre la capacidad de las cáscaras de limón cargadas con nanopartículas o estudio de la celulosa de cáscara de limón para adsorber colorantes y metales pesados (Jiang et al., 2022).

7 FUENTES DE INFORMACIÓN

- ANA (2016). Estrategia nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos. Ana, pp. 3–31.
- Aguilar M., Llorens M., Meseguer V., Ortuño J., Pérez A., Saez J. (2007). Tratamiento de Aguas Residuales. Aplicación de la Biosorción para la eliminación de Metales Pesados y Colorantes. En Importancia del Binomio “Suelo Materia Orgánica” en el desarrollo Sostenible. Mérida Yucatán
- Annadurai, G., Juang, R. S., & Lee, D. J. (2002). Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 92(3), 263–274. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00017-1)
- Arjona González, A., Canal Arias, J., & García Raurich, J. (2016). Reutilización de un residuo agrícola como bioadsorbente para la eliminación de colorantes catiónicos de las aguas residuales de tintura. *Revista de Química e Industria Textil*, pp. 29–35.
- Bae, J., Freeman, H. (2007). Aquatic toxicity evaluation of copper-complexed direct dyes to the *Daphnia magna*. *Dyes and Pigments*, 73(1), 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.10.019>
- Beltran, R. (2015). Aplicación de un diseño experimental factorial en el estudio de la adsorción de Fenol y Nitrofenoles con nanofibras de carbono. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6456>
- Bermeo Garay, M., & Tinoco Gómez, O. (2016). Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada. *Industrial Data*, 19(2), 91. <https://doi.org/10.15381/idata.v19i2.12844>
- Brañez, Marco; Gutierrez, Romulo; Perez, Ronald; Uribe, Carmen; Valle, P. (2018). Pollution of aquatic environments generated by textile industry. *Escuela Universitaria de Posgrado UNFV, Lima - Perú*, V.XXIII, 129–143. <https://doi.org/http://doi.org/10.24265/cmpus.2018.v23n26.03>
- Carrera Gallissà, E. (2017). Los retos sostenibilistas del sector textil. *Revista de Química e Industria Textil*, (220), 20–32.
- Castañeda, L. (2021, 19 de octubre). Tratamiento y reutilización de aguas residuales en la industria textil. Blog Tecnológico del Departamento de Desarrollo Tecnológico de AguaSigma. <https://sigmadafclarifiers.com/tratamiento-y-reutilizacion-de-aguas-residuales-industria-textil/#toc-7>

- Castro, D., & Favila, A. (2019). Productividad y Competitividad de la Industria Textil y de la Confección de...: Metabuscador de la Universidad Privada Del Norte. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, 14(1), 95–109.
<http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=29&sid=2b1f973a-b29b-4606-b771-cda46aeedb7%40pdc-vsessmgr04&bdata=JmF1dGh0eXBIPXNoaWImbGFuZz1lcyZzaXRIPWVkcylsaXZl#AN=140072839&db=edb>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). *Economía industrial*. *Revista de Administração de Empresas*, 35(5), 86–87. <https://doi.org/10.1590/s0034-75901995000500012>
- Christie, R., (2014). *Colour Chemistry*, second ed. Royal Society of Chemistry, Cambridge
- Coordinadora Estatal de Comercio Justo. (2014). El mercado global del textil y sus desequilibrios comerciales. *El Comercio Justo En España 2014. Sector Textil e Injusticia Comercial*, 29–51.
- Corrales, L., Caycedo, L. (2019). Principios físicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología. <https://doi.org/10.22490/24629448.3701>
- Dirección de Normalización - INACAL. (2019). Norma Técnica Peruana 900.058 - 2019 Gestión de Residuos. Códigos de colores para el almacenamiento de residuos sólidos. (Lima 27), 1–14.
- Elgarahy, A., Elwakeel, K., Mohammad, S., Elshoubaky, G. (2021). A critical review of biosorption of dyes, heavy metals and metalloids from wastewater as an efficient and green process. *Cleaner Engineering and Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100209>
- Emagister. (2018). *Práctica de Laboratorio N°2*.
- EMF. (2015). *Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. Ellen MacArthur Foundation (EMF), 20.
- Ercilia, G. J. L., & Cecilia, C. R. S. (2012). Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales. (Vi).
- Esteban, P., Arias, Z., Bernardo, J., Nájera, P., Hernández, I. C., & Iván, H. (2018). Los Colorantes Textiles Industriales Y Tratamientos Óptimos De Sus Efluentes De Agua Residual: Una Breve Revisión *Textile Industrial Dyes and optimal wastewater effluents treatments: A short review*. 38–47.

- Eurolatin Trade Company. (n.d.). Limon sutil. 3–4.
- Fabio, L., Ziolo, B., Fernanda, L., Restrepo, G., Agudelo, E. A., Alonso, S., & Gallo, C. (2018). Study of Toxicity Associated to Dumping of Wastewater Containing Dyes and Pigments in the Aburrá Valley Metropolitan Area. *Revista EIA*, 13, 61–74. <https://doi.org/10.24050/reia.v13i26.742>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Gamarra, C., & La Rosa-Toro, A. (2014). Decoloración del anaranjado de metilo empleando el sistema Fenton. *Sociedad Química Del Perú*, 80(1), 24–34.
- González, L. V., & Escamilla, E. M. (2008). Biodegradación Anaerobia de Colorantes Azoicos Textiles usando Carbón Activado. *BioTecnología*, 12(3), 34–47. Retrieved from http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2008_3/Biodegradacion_Colorantes_Azoicos.pdf
- Gupta, V. K., Carrott, P. J. M., Ribeiro Carrott, M. M. L., & Suhas. (2009). Low-Cost adsorbents: Growing approach to wastewater treatment review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(10), 783–842. <https://doi.org/10.1080/10643380801977610>
- Hantke-Domas, M. y Jouravlev A. (2011). Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3863/S2011000_es.pdf
- Harris, D. C. (2018). *Análisis químico cuantitativo*, California, EEUU, Editorial Reverté.
- Jiang, H., Zhang, W., Xu, Y., Chen, L., Cao, J., Jiang, W. (2022). An advance on nutritional profile, phytochemical profile, nutraceutical properties, and potential industrial applications of lemon peels: A comprehensive review. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.019>
- Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, 04(01), 22–26. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>

- Lata, S., & Samadder, S. R. (2016). Removal of arsenic from water using nano adsorbents and challenges: A review. *Journal of Environmental Management*, 166, 387–406. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.039>
- Limousin, G., Gaudet, J. P., Charlet, L., Sznknect, S., Barthès, V., & Krimissa, M. (2007). Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. *Applied Geochemistry*, 22(2), 249–275. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.09.010>
- López V. y Crespi M. (2015). Gestión de los efluentes de la industria textil. Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/87574/Gesti%C3%B3n%20efluentes%20textiles%20Num18.pdf>
- M.L. Rojas Sánchez, M.C. Díaz Nava, R. Cortés Martínez, H.E. Martínez Flores, C. J. C. P. (2009). Cinética de biosorción del colorante amarillo 5 (tartrazina) de uso alimenticio con cáscaras de limón acondicionada con hierro.
- Manhita, A., Ferreira, V., Vargas, H., Ribeiro, I., Candeias, A., Teixeira, D., Dias, C. B. (2011). Enlightening the influence of mordant, dyeing technique and photodegradation on the colour hue of textiles dyed with madder - A chromatographic and spectrometric approach. *Microchemical Journal*, 98(1), 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.12.002>
- Marín, L., Mesa, E. y Gómez, V. (2018). Artículo de investigación Uso de biomasa seca de cáscara de naranja para la remoción de colorantes presentes en aguas residuales de la industria textil Use of dried orange peel biomass for the removal of dyes present in wastewater from the textile industry. 53–63.
- Mathur, N., Bhatnagar, P., Nagar, P., & Bijarnia, M. K. (2005). Mutagenicity assessment of effluents from textile/dye industries of Sanganer, Jaipur (India): A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61(1), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.08.003>
- Medina, D., & López, A. (2011). Análisis crítico del Diseño Factorial 2 k sobre casos aplicados. (47), 101–106.
- Melgar Merino, A. M. (2013). Evaluación del proceso de biosorción del colorante rodamina contenida en las aguas residuales de la Cooperativa Textil Manufacturas del

- Centro Ltda. con cáscara de naranja modificada. *Prospectiva Universitaria*, 10(1), 13–16. <https://doi.org/10.26490/uncp.1990-7044.2013.1.329>
- Melo, J.; Ramón, J. A.; Saavedra, S. (2019). Evaluación De La Adsorción De Cu+2 Y Azul De Metileno En Biosorbentes De Bajo Costo Obtenidos A Partir De Biomasa Residual De La Agroindustria De Cítricos. *Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo*, 8(2), 15–26.
 - Melo, J., Ramón, J. A., & Saavedra, S. (2017). Evaluación De La Adsorción De Cu + 2 Y Azul De Obtenidos A Partir De Biomasa Residual De La Agroindustria De C. 15–26.
 - MINAGRI. (2017). Informe del Limón. 5. Retrieved from http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/f-taxonomia_plantas/f01-cultivo/informe_limon_ago17.pdf
 - Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2020a). Reporte mensual de comercio de abril 2020. 1–8.
 - Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2020b). Reporte mensual de comercio exterior: diciembre 2019. Fedexpor, 6. Retrieved from https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/533510/RMC_Diciembre_2019.pdf
 - Ministerio de la Producción. (2015). Estudio De Investigación Del Sector Textil Y Confecciones. Hecho En El Depósito Legal En La Biblioteca Nacional Del Perú N° 2017 - 03181, 1a Edición.
 - Muñoz Arrieta, R. (2016). Hoja de seguridad Naranja de metilo MSDS. 1–6.
 - Muñoz, J. C. (2007). Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “citrus cinensis” pretratada. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, (Ii), 82.
 - Namasivayam, C., Muniasamy, N., Gayatri, K., Rani, M., & Ranganathan, K. (1996). Removal Of Dyes from Aqueous Solutions by Cellulosic Waste Orange Peel. 57, 37–43.
 - Nambela, L., Haule, L. V., & Mgani, Q. (2020). A review on source, chemistry, green synthesis and application of textile colorants. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119036. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119036>
 - Ni, Z. M., Xia, S. J., Wang, L. G., Xing, F. F., & Pan, G. X. (2007). Treatment of methyl orange by calcined layered double hydroxides in aqueous solution: Adsorption property and kinetic studies. *Journal of Colloid and Interface Science*, 316(2), 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.07.045>

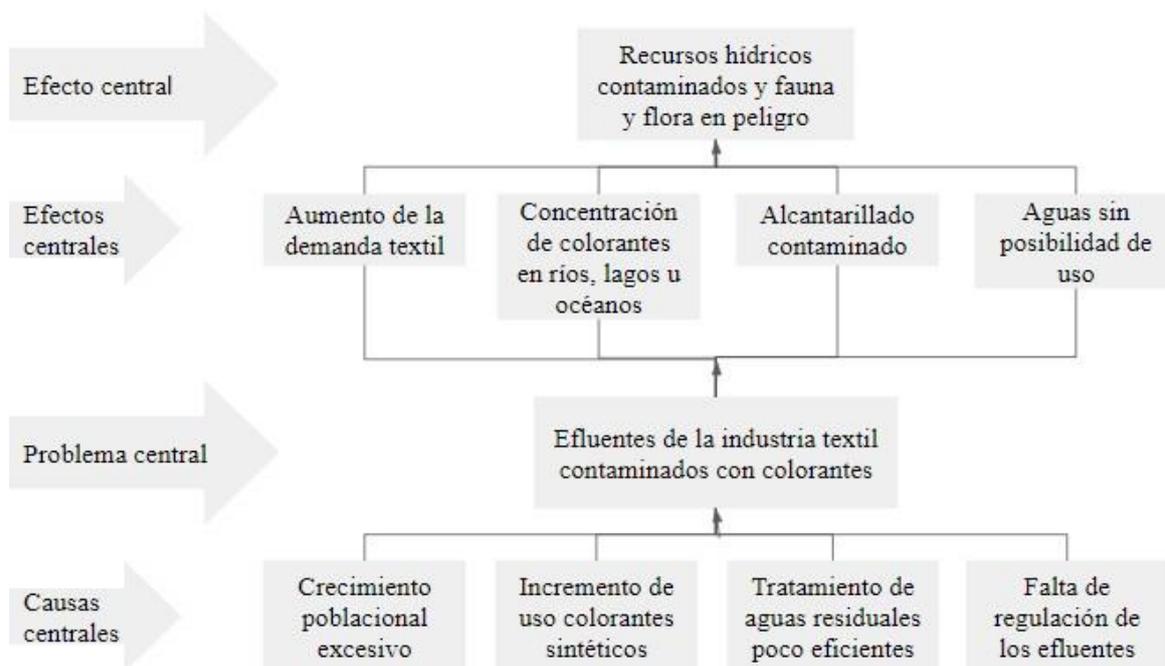
- Organización de las Naciones Unidas (2019). El costo ambiental de estar a la moda. Disponible en <https://news.un.org/es/story/2019/04/1454161>
- Pinzón Bedoya, Martha Lucía; Cardona Tamayo, A. M. (2008). “Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente.” Grupo de Investigación en Tecnologías Verdes (GTV). 38.
- Puente Huera, C. J. (2006). Determinación de las Características Físicas y Químicas del Limón Sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). 142. Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/352>
- Ramírez Llamas, L. A., Jacobo Azuara, A., & Martínez Rosales, J. M. (2015). Adsorción del naranja de metilo en solución acuosa sobre hidróxidos dobles laminares. *Acta Universitaria*, 25(3), 25–34. <https://doi.org/10.15174/au.2015.778>
- Rodríguez, V., Vargas, C., Marrufo, G., & Benetton, D. (2009). Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería*, 13(3), 39–43.
- Saxena, S., Raja, A., Arputharaj, A., (2017), Challenges in Sustainable Wet Processing of Textiles. *Textiles and Clothing Sustainability Springer*.
- Sbihi, A., & Richard W., E. (2010). Combinatorial optimization and Green Logistics. 175(April). <https://doi.org/10.1007/s10479-009-0651-z>
- Shahid, M., Shahid-Ul-Islam, & Mohammad, F. (2013). Recent advancements in natural dye applications: A review. *Journal of Cleaner Production*, 53, 310–331. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.031>
- Sharma, K. P., Sharma, S., Sharma, S., Singh, P. K., Kumar, S., Grover, R., & Sharma, P. K. (2007). A comparative study on characterization of textile wastewaters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests. *Chemosphere*, 69(1), 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.04.086>
- Singh, N. B., Nagpal, G., Agrawal, S., & Rachna. (2018). Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology and Innovation*, 11, 187–240. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

- Sudarjanto, G., Keller-Lehmann, B., & Keller, J. (2006). Optimization of integrated chemical-biological degradation of a reactive azo dye using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 138(1), 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.05.054>
- Tang, R. C., Tang, H., & Yang, C. (2010). Adsorption isotherms and mordant dyeing properties of tea polyphenols on wool, silk, and nylon. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 49(19), 8894–8901. <https://doi.org/10.1021/ie100052b>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Tejada Tovar, C., Herrera, A., & Núñez Zaru, J. (2016). Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 169–178. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.126>
- Torres, N. (2019). Estudio y determinación de las condiciones óptimas para la recuperación de colorantes dispersos mediante bioadsorbentes. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Vargas, M., Cabañas, D., Gamboa, M., & Domínguez, X. (2009). Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería*, 13(3), 39–43.
- Verma, Y. (2011). Toxicity assessment of dye containing industrial effluents by acute toxicity test using *Daphnia magna*. *Toxicology and Industrial Health*, 27(1), 41–49. <https://doi.org/10.1177/0748233710380218>
- Videvelan, V., Vasanth, K. (2005). Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.01.007>
- Villanueva, C. (2006). Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de *Citrus Sinensis*. (Ii), 1–74. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/54233651.pdf>
- Xuan, Z., Tang, Y., Li, X., Liu, Y., & Luo, F. (2006). Study on the equilibrium, kinetics and isotherm of biosorption of lead ions onto pretreated chemically modified orange peel. 31, 160–164. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.07.001>.

- Yang, K., Xing, B. (2010). Adsorption of Organic Compounds by Carbon Nanomaterials in Aqueous Phase: Polanyi Theory and Its Application. *Chemical Reviews*. <https://doi.org/10.1021/cr100059s>

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1: Diagrama Causa-Efecto (Árbol de problema)



8.2 Anexo 2: Tabla de concentraciones y remociones por cada repetición

Concentración de adsorbente (g/50ml)	Tiempo de contacto (min)	Tamaño de partícula (mm)	Concentración						% de remoción		
			Concentración inicial de solución R1	Concentración final R1	Concentración inicial de solución R2	Concentración final R2	Concentración inicial de solución R3	Concentración final R3	R1	R2	R3
1	80	1	7.6623	3.6032	7.8532	4.0805	7.6077	3.8305	52.98%	48.04%	49.65%
1	80	1.19	7.5986	3.9941	7.7623	3.9123	7.7168	4.0986	47.44%	49.60%	46.89%
1	120	1	7.4441	3.8305	7.5895	3.8577	7.7941	3.8168	48.54%	49.17%	51.03%
1	120	1.19	7.4623	3.8441	6.8714	4.0395	7.8032	4.0168	48.49%	41.21%	48.52%
3	80	1	7.3577	6.7986	7.7259	7.4032	7.7623	7.2941	7.60%	4.18%	6.03%
3	80	1.19	7.4214	6.2577	7.8441	6.6623	7.7123	6.1441	15.68%	15.07%	20.33%
3	120	1	7.3623	6.9850	7.7259	7.2214	7.5986	7.2259	5.12%	6.53%	4.91%
3	120	1.19	7.5214	6.8441	7.3714	6.7805	7.2441	6.6032	9.00%	8.02%	8.85%

