

UNIVERSIDAD LATINOAMERICANA CIMA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE *Passiflora ligularis juss*
(granadilla) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN COMO
ADSORBENTE DEL AZUL DE METILENO
EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA, AÑO 2022**

TESIS

Presentada por:

Bach. Luisa Monserrat Condori Mamani

**Para obtener el Título Profesional de:
Ingeniero Ambiental**

TACNA – PERÚ

2023

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD



Identificación de reporte de similitud. oid:23228:245896137

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS LUISA CONDORI MAMANI PARA
SOFTWARE ANTIPLAGIO JULIO 2023.pdf

RECuento DE PALABRAS

26912 Words

RECuento DE CARACTERES

137784 Characters

RECuento DE PÁGINAS

122 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 13, 2023 10:02 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 13, 2023 10:03 PM GMT-5

● 13% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Material citado

UNIVERSIDAD LATINOAMERICANA CIMA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE *Passiflora ligularis*
juss (granadilla) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN COMO
ADSORBENTE DEL AZUL DE METILENO
EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA, AÑO 2022**

TESIS

Presentada por:

Bach. Luisa Monserrat Condori Mamani

**Para obtener el Título Profesional de:
Ingeniero Ambiental**

TACNA – PERÚ

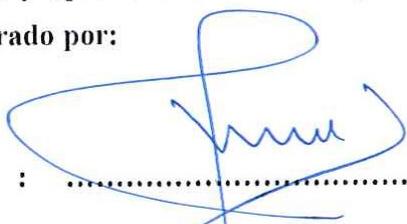
2023

UNIVERSIDAD LATINOAMERICANA CIMA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

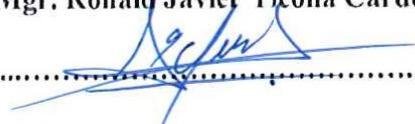
TÍTULO PROFESIONAL EN INGENIERÍA AMBIENTAL

CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE *Passiflora ligularis juss*
(granadilla) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN COMO ADSORBENTE
DEL AZUL DE METILENO EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA, AÑO 2021

Tesis sustentada y aprobada el 04 de mayo del 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : 
Dr. Mauro Claros Limache Luque

SECRETARIO : 
Mgr. Ronald Javier Ticona Cárdenas

VOCAL : 
Dr. Alexander Churata Neira

ASESOR : 
Dr. Henry Edgardo Nina Mendoza

DEDICATORIA

La elaboración de esta tesis va dedicada a mis padres, Esther y Luis, quienes aplazaron sus sueños para cumplir con los míos, al Ing. José Tiburcio, quien me orientó y apoyó de manera incondicional, y a mi hermanita Aleci, desde arriba siempre me cuida.

AGRADECIMIENTOS

Comenzaré agradeciendo a Dios, porque no necesito verlo para poder sentir su espíritu, el me encamina en cada paso que doy.

A mi familia, comenzando por mis papás, agradezco las horas incalculables de trabajo, la disposición de darme confianza en la toma de decisiones y orientarme con sus consejos de vida y experiencia. A mis abuelitos Cecilio e Ines, gracias por inculcarme valores y enseñarme a ser un mejor ser humano, y a mi hermanito Marcelo, eres una persona disciplinada y admirable en todo el sentido de la palabra, me incentivas a ser una persona más competente.

A mis amigos, Norah, Fiorella y Heidi por siempre darme animos a seguir adelante, por las carcajadas, consejos y las buenas anécdotas.

A mi alma mater Universidad Latinoamericana CIMA, a mi Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Dr. César Cáceda, quien me indujo a realizar una tesis experimental, a mis docentes de la carrera, M.Sc. Guadalupe Miranda, M.Sc. Ronald Ticona, Dr. Alberto Condori, Dr. Mauro Limache y el resto de docentes que han dejado huellas en mi memoria.

A mi asesor de tesis de universidad Dr. Henry Nina Mendoza, el cual dedico parte de su tiempo y con sus conocimientos me oriento en la elaboración de tesis.

Agradezco infinitamente al Dr. José Tiburcio, al Dr. Jesús Medina y al Ing. Elisban Sacari, docentes de la Universidad Jorge Basadre Grohoman y miembros del Proyecto “Estudio de la aplicación de nanotecnología para la purificación de agua con del Arsénico en la región Tacna”, quienes me proporcionaron las facilidades para el uso de equipos en los laboratorios de la UNJBG y me instruyeron con paciencia los procedimientos necesarios para esta investigación.

Mi última mención está dedicada a Ruffito, quien no puede leerme, sin embargo agradezco que todas las noches haya sido mi más fiel y desinteresada compañía, te amo con el alma entera.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA	i
PÁGINA DE CARÁTULA	ii
PÁGINA JURADO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE FIGURAS	x
ÍNDICE TABLAS	xii
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. Descripción del problema	17
1.2. Formulación del problema	20
1.2.1. Problema general	20
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3. Objetivos de la investigación	21
1.3.1. Objetivo general	21
1.3.2. Objetivos específicos	21
1.4. Hipótesis de Investigación	21
1.4.1. Hipótesis general	21
1.4.2. Hipótesis específicas	21
1.5. Justificación de la investigación.....	22

1.6. Limitaciones	24
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1. Antecedentes internacionales	25
2.1.2. Antecedentes nacionales	30
2.2. Bases teóricas	35
2.3. Definición de términos básicos	50
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.1. Tipo y nivel de investigación	54
3.1.1. Tipo de investigación.....	54
3.1.2. Nivel de investigación.....	54
3.2. Operacionalización de variables e indicadores	55
3.3. Población y muestra de la investigación.....	56
3.3.1. Población de investigación.....	56
3.3.2. Muestra de investigación.....	57
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	58
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	60
3.6. Materia prima, materiales, reactivos y equipos.....	61
3.6.1. Materia prima	61
3.6.2. Materiales.....	61
3.6.3. Reactivos	61
3.6.4. Equipos.....	63
3.7. Procedimientos	65
3.7.1. Preparación de material adsorbente	66
3.7.2. Estudio del adsorbente	68

3.7.3. Estudio de la influencia de la cantidad de material	68
3.7.4. Estudios de la cinética de adsorción e influencia del pH.....	68
3.7.5. Ecuación cinética de Pseudo de Primer Orden.....	70
3.7.6. Ecuación cinética de Pseudo-segundo orden	70
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	72
4.1. Resultados	72
4.1.1. Caracterización del adsorbente mediante espectroscopía FTIR.....	73
4.1.2. Caracterización del adsorbente mediante microscopia electrónica de barrido	74
4.1.3. Estudio de la influencia de la cantidad de material	79
4.1.4. Cinética de adsorción de colorantes: Eficiencia de la remoción de colorantes pHs	80
4.1.5. Cinética de adsorción 2: Modelos evaluados	84
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.....	88
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
6.1. CONCLUSIONES.....	92
6.2. RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

ANEXOS	115
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	116
ANEXO 2: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRUEBA PRELIMINAR DE LA CANTIDAD DE CÁSCARA DE GRANADILLA.....	117
ANEXO 3: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS A DISTINTOS pHs	118
ANEXO 4: INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN	119
ANEXO 5: DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIZACIÓN.....	120
ANEXO 6: DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA	121
ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Imagen de descarga de aguas residuales textiles a un río	38
Figura 2: La industria en Bangladesh desecha los tintes en el río Turag	40
Figura 3: Colorantes naturales e inocuos	42
Figura 4: Estructura química del azul de metileno	43
Figura 5: Proceso de adsorción	45
Figura 6: <i>Passiflora ligularis juss</i> (granadilla)	61
Figura 7: Hidróxido de sodio	62
Figura 8: Ácido clorhídrico 37%	62
Figura 9: Azul de metileno	63
Figura 10: Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo	64
Figura 11: Espectroscopio infrarrojo por transformada de Fourier	64
Figura 12: Agitador magnético	65
Figura 13: Diagrama de flujo para la síntesis y caracterización de muestras de <i>Passiflora ligularis juss</i> (granadilla)	65
Figura 14: Muestra pulverizada	67
Figura 15: Muestra de adsorbente en espectroscopia de infrarroja por transformada de Fourier	67
Figura 16: Espectro FTIR de la cáscara de granadilla pulverizada	74
Figura 17: Espectro EDS de la cáscara de granadilla.....	75
Figura 18: Microfotografía de la cáscara de granadilla a 500 μm	76
Figura 19: Microfotografía de la cáscara de granadilla a 400 μm	77
Figura 20: Microfotografía de la cáscara de granadilla a 200 μm	77
Figura 21: Microfotografía de la cáscara de granadilla a 100 μm	78

Figura 22: Microfotografía de la cáscara de granadilla a 50 μm	78
Figura 23: Microfotografía de la cáscara de granadilla a 30 μm	79
Figura 24: Efecto de la cantidad de material en la eficiencia de adsorción del azul de metileno	80
Figura 25: Eficiencia de la remoción del colorante a pH 3, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)	81
Figura 26: Eficiencia de la remoción del colorante a pH 5, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)	82
Figura 27: Eficiencia de la remoción del colorante a pH 7, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)	83
Figura 28: Eficiencia de la remoción del colorante a pH 9, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)	83
Figura 29: Eficiencia de la remoción del colorante pH 11, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)	84
Figura 30: Espectro FTIR de la cáscara de granadilla pulverizada evaluada a distintos pHs	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Indicadores de variables independientes y dependientes	55
Tabla 2: Población de investigación para la muestra de cáscara de granadilla	56
Tabla 3: Población de investigación para el pH de la muestra de cáscara de granadilla	57
Tabla 4: Muestra de los resultados alcanzados	73
Tabla 5: Parámetros de adsorción de pseudo primer orden	85
Tabla 6: Parámetros de adsorción de pseudo segundo orden	86

RESUMEN

La contaminación, es uno de los principales problemas que aqueja nuestro planeta, el aire, suelo y agua son elementos fundamentales e irremplazables, por consiguiente, es necesario hallar soluciones innovadoras para restaurar los impactos negativos que se presentan producto de la contaminación. El agua es uno de los recursos más importantes del planeta, la diversidad de procesos para su purificación es amplia, existen tecnologías limpias como fitorremediación, nanotecnología, adsorción y otras alternativas; el presente trabajo de investigación propuso el uso de *Passiflora ligularis juss* (granadilla) como materia orgánica. El objetivo principal fue caracterizar la cáscara de granadilla y evaluar su proceso como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa, para ello se procedió a cumplir con la síntesis que consto de 6 etapas, limpieza, lavado, secado, pulverizado, tamizado y reserva, obteniendo un adsorbato pulverizado el cual se adhiero a una cinta para el análisis de espectroscopia FTIR, estas condiciones permitieron hacer las mediciones con microscopía electrónica de barrido (SEM) y evaluar su morfología, lo cual resalta su porosidad, necesaria para los procedimientos de adsorción. El valor del pH de la fase acuosa, fue el factor más importante tanto en la adsorción, como en la eficiencia de remoción del colorante. Para determinar el efecto de la cantidad de material en el proceso de adsorción se empleó 50, 100, 300, 500, 700 y 1000 mg de adsorbente en 100 ml de solución (10 mg/L) a distintos pH, 3,5,7, 9 y 11. los resultados mostraron que existe una influencia de pH 5 favorable con mayor capacidad de adsorción alcanzando el 89%, en un tiempo muy corto, alrededor de 60 minutos. Como conclusión los resultados del presente estudio indicaron que la cáscara de granadilla puede utilizarse eficazmente en los procesos de remediación, para la eliminación cuantitativa del azul de metileno. Como el nuevo adsorbente es un material de bajo costo, el proceso de tratamiento resulta económico.

Palabras claves: Adsorción, granadilla, azul de metileno.

ABSTRACT

Pollution is one of the main problems that afflicts our planet, air, soil and water are fundamental and irreplaceable elements, therefore, it is necessary to find innovative solutions to restore the negative impacts that occur as a result of pollution. Water is one of the most important resources on the planet, the diversity of processes for its purification is wide, there are clean technologies such as phytoremediation, nanotechnology, adsorption and other alternatives; The present research work proposed the use of *Passiflora ligularis juss* (passionate passion fruit), as organic matter. The main objective was to characterize the granadilla shell and evaluate its process as an adsorbent of methylene blue in an aqueous solution, for which we proceeded to comply with the synthesis that consisted of 6 stages: cleaning, washing, drying, pulverizing, sieving and reserve, obtaining a pulverized adsorbate which adhered to a tape for FTIR spectroscopy analysis, these conditions allowed measurements to be made with scanning electron microscopy (SEM) and to evaluate its morphology, which highlights its porosity, necessary for adsorption procedures. . The pH value of the aqueous phase was the most important factor both in the adsorption and in the dye removal efficiency. To determine the effect of the amount of material in the adsorption process, 50, 100, 300, 500, 700 and 1000 mg of adsorbent were used in 100 ml of solution (10 mg/L) at different pH, 3,5,7, 9 and 11. the results showed that there is a favorable influence of pH5 with greater adsorption capacity reaching 89%, in a very short time, around 60 minutes. In conclusion, the results of this study indicated that the granadilla shell can be used effectively in remediation processes, for the quantitative removal of methylene blue. Since the new adsorbent is a low-cost material, the treatment process is economical.

Keywords. Adsorption, passion fruit, methylene blue.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos más importantes del planeta, a través de la Resolución 64/292 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2010).

La contaminación por los compuestos azoicos, que normalmente son llamados colorantes, son los que mayor impacto ocasionan en el medio ambiente, se estima que entre el 10-15% de estos colorantes son arrojados directamente a las aguas residuales por lo que en la actualidad existe una preocupación creciente con respecto a los potenciales efectos adversos de estos contaminantes y lo convierte en una problemática de interés para investigadores y entes ambientales. (Moeller & Alatorre, 2006)

Según Garzón (2009), los colorantes azoicos, como el azul de metileno, se utilizan en grandes cantidades en las industrias textil y alimentaria, por tanto, no hay plantas de tratamiento que puedan remover en un porcentaje considerable estos colorantes, por tal razón se vierten sin poderse tratar. (Pág. 10-11)

Para el presente trabajo se realizó una investigación sistemática que tuvo por finalidad caracterizar la cáscara de la *Pasiflora ligularis juss* (granadilla), (Juss, 1865, cómo se citó en Palomino & Restrepo, 1991) la cual se empleó de residuos de cáscara de granadilla y con la finalidad de aplicarlo como adsorbente.

Se determinó su morfología, caracterizó los residuos, evaluaron los valores del pH y el tiempo del proceso de adsorción química del colorante, se utilizaron dos modelos de cinética, uno de pseudo-primer orden y otro de pseudo-segundo orden, consiguientemente, el segundo modelo presentó mejores resultados en las 5 muestras de pH y se halló la curva de efecto en el tiempo de contacto sobre la adsorción del colorante azul de metileno en una solución acuosa, mostrando una alta capacidad de adsorción, para la eliminación de colorantes.

El capítulo I, redacta el planteamiento del problema de investigación, el cual enmarca la formulación del problema, los objetivos de investigación, hipótesis y la justificación de la realización del tema en mención.

El capítulo II, redacta el marco teórico donde expone los antecedentes internacionales y nacionales, en relación a los trabajos de investigación, artículos científicos, tesis de pregrado y post grado, así como las bases teóricas y definición de términos básicos usados en el presente trabajo de investigación.

El capítulo III, redacta la metodología de la investigación, el tipo y nivel de investigación, la operacionalización de las variables e indicadores, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, plasmados en tablas y gráficos, y demás procedimientos que detallaron la ejecución de este trabajo de investigación.

El capítulo IV, redacta los resultados de la investigación a través de gráficos.

El capítulo V, redacta la discusión del tema.

El capítulo VI, redacta las conclusiones y recomendaciones, así como las referencias bibliográficas y los anexos respectivos.

Por todo lo mencionado el presente trabajo de investigación tuvo como propósito fomentar una alternativa innovadora, técnicamente viable, eficaz y económica.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

Andaluz (2013) expresó que “la contaminación ambiental se produce cuando el hombre introduce en el ambiente, directa o indirectamente, agentes físicos, químicos, biológicos o una combinación de estos; en cantidades que superan los límites máximos permisibles o que permanecen por un tiempo tal, que hacen que el medio receptor adquiera características diferentes a las originales, resultando perjudiciales o nocivas para la naturaleza, la salud humana o las propiedades”. (p. 48)

Por ello, los problemas asociados al medioambiente deben abordarse desde una perspectiva global, (Alfayate et al., 2004). La presencia de colorantes, como por ejemplo el azul de metileno, antraceno, cúrcuma, cochinilla, bixina y entre otros colorantes químicos, efluentes de industrias de alimentos, papel, alfombras, cauchos, cosméticos y textil, entre otras, es de gran preocupación, porque daña directamente todo el ecosistema acuático debido a su alta resistencia a la biodegradación, y alta estabilidad a la luz y agentes oxidantes. (Jung et al., 2016)

Cortazar et al. (2009) concluyeron, en base a sus trabajos de investigación, que la mayoría de aguas residuales que contienen una serie de colorantes son provenientes de la industria papelera, textil, destiladora, alimenticia y agricultura, situación que es más agravante cuando el agua contaminada utilizada para actividades de agricultura y consumo directo de personas y animales.

En el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano (RCAPCH, 2011) a través de sus artículos, y disposiciones, establece límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos, radioactivos y químicos orgánicos e inorgánicos.

Si bien es cierto, es necesario respetar los acuerdos de la normativa vigente y aplicar otras técnicas que involucren alternativas amigables con el medio ambiente para sustituir, en un futuro, químicos y demás reactivos, en ese sentido, se han desarrollado métodos de solución para mitigar el efecto de estos contaminantes. Estas técnicas y procedimientos son muy variadas que van desde tratamientos químicos hasta procedimientos más avanzados basados en la oxidación electroquímica.

De Costa et al. (2015) a través de su trabajo de investigación sobre la cáscara de nuez se obtuvo carbón activado y aplico como adsorbente de azul de metileno, en esta preparación de carbón activado utilizó activación física por pirólisis y activación físico-química. El material se caracterizó en relación al contenido de carbón y cenizas, TGA (análisis termogravimétrico), FTIR (espectroscopía infrarroja Transformada por Fourier), SEM (microscopía electrónica de barrido) y BET (área superficial). Las pruebas de capacidad de adsorción de azul de metileno demostraron ser prometedor en una solución acuosa.

En otros estudios de adsorbentes naturales para la remoción de contaminantes en medio acuoso, como es el caso de remoción con residuos de té verde (Garduño, 2019), remoción con hueso de palta (Osorio, 2018), adsorción utilizando cáscara de yuca (Albis-Arrieta et al., 2018), adsorción por piña (Sen et al., 2011), adsorción con cáscara de naranja (Aguilar & Flores, 2016), cáscara de cacao (Suarez & Villegas et al., 2019) y gran diversidad de adsorbentes de derivados naturales, con esto, se pudo concluir que los contaminantes metálicos Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , tintes (como el tinte azul de metileno) y contaminantes orgánicos se eliminan de manera efectiva de las aguas residuales dependiendo el proceso de limpieza. (Valladares-Cisneros et al., 2016)

Teniendo como base estos conceptos previos, en esta investigación se propone el uso de residuos sólidos orgánicos como es el caso de la cáscara de *Passiflora ligularis juss* (granadilla), (Juss, 1865, cómo se citó en Palomino &

Restrepo, 1991). Este insumo es considerado como residuo sólido orgánico, y en muchos casos, su destino final es la basura doméstica, estos residuos fueron usados para analizar el proceso de adsorción del colorante azul de metileno en medios acuosos.

Según Deng (2011) el colorante azul de metileno, es muy utilizado en diversos procesos como materia para en la industria nacional, por ejemplo, en curtiembres, textilerías e incluso en la industria farmacéutica, no es considerado tóxico, pero su presencia por períodos alargados ocasiona varios efectos nocivos y dañinos al ser humano y animales.

Es significativo conocer el cúmulo de efectos que puede ocasionar el azul de metileno, el hecho de que mantenga contacto con un recurso tan importante como es el agua no solo genera contaminación, trae consigo una cadena de daños adversos que ocasionan en humanos y animales, siendo nosotros la mayor fuente de consumidores, quemadura en los ojos y lesiones estomacales, intoxicación, otros efectos secundarios como el vómito, confusión mental, aumento del ritmo cardiaco, ictericia, necrosis en los tejidos humanos y demás consecuencias. (Rafatullah, et al, 2010)

La administración de drogas y alimentos de los Estados Unidos (2011) a través de su página oficial emitió un comunicado donde advirtió que el azul de metileno no es un medicamento aprobado por su organismo, y existen datos limitados con respecto a su uso en diversos ámbitos.

En muchos casos los residuos de estos procesos industriales son vertidos sin ningún tratamiento a los cuerpos de agua natural, las aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado que no son derivadas a las PTAR son empleadas en prácticas inadecuadas como riego de cultivos, lo que representa un riesgo latente para la salud y el ambiente, por estas razones debe ser removido o degradado a niveles de control aceptables tal como estipulan las normas técnicas. (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, 2014)

En esta investigación, se propuso una alternativa, en la cual se analizó el proceso de adsorción del colorante mencionado mediante el uso potencial de la cáscara de *Passiflora ligularis juss* (granadilla), (Juss, 1865, cómo se citó en Palomino & Restrepo, 1991) previa caracterización, (fueron recolectados, tratados químicamente, procesados y tamizados, con lo cual se realizó un proceso de interacción con el colorante en solución a diferentes concentraciones), para determinar los parámetros inherentes calculando la eficiencia en el proceso de adsorción y usando precursores poco convencionales.

Además de tener antecedentes bibliográficos, se probó la adsorción del colorante azul de metileno en medios acuosos y se encontró una capacidad máxima de adsorción concluyendo que es un método eficaz e innovador para la eliminación de colorantes de las aguas residuales. (Ahmad et al., 2007)

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Es aplicable la caracterización de cáscara de granadilla como proceso de adsorción del azul de metileno en una solución acuosa?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Será posible emplear cáscara de granadilla mediante procesos físico-químicos como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa?
- b) ¿Cuánto tiempo toma el proceso de la cáscara de granadilla como adsorbente del azul de metileno una solución acuosa?
- c) ¿Cuál es la curva de efecto en el tiempo de la cáscara de granadilla como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Caracterizar la cáscara de granadilla y evaluar su proceso como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Emplear cáscara de granadilla mediante procesos físico-químicos para aplicarla como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa.
- b) Evaluar el tiempo del proceso de adsorción del colorante azul de metileno al interactuar con la fase sólida en la solución acuosa hasta alcanzar el equilibrio.
- c) Determinar la curva de efecto en el tiempo de contacto sobre la adsorción del colorante en solución acuosa.

1.4. Hipótesis de Investigación

1.4.1. Hipótesis general

La cáscara de granadilla es potencialmente aplicable como adsorbente de azul de metileno en una solución acuosa.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) El proceso físico-químico de la cáscara de granadilla es aplicable como adsorbente de azul de metileno en una solución acuosa.
- b) El proceso de adsorción de azul de metileno alcanza el equilibrio al interactuar en una solución acuosa.
- c) La curva de efecto en el tiempo de adsorción del azul de metileno en una solución acuosa tiene un resultado óptimo.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica porque es un aporte al desarrollo innovador de técnicas limpias y sostenibles, específicamente en un recurso como el agua, el aprovechamiento de un residuo orgánico que es la cáscara de granadilla y en correlación con el proceso físico químico para su posterior aplicación como potencial adsorbente del colorante azul de metileno, considerando así que los materiales son efectivos, de bajo costo y poco convencionales.

La caracterización morfológica de la cáscara de granadilla demostró que es una fruta de poco rendimiento comestible, tanto para consumo directo y más aún para industrialización, ya que solamente se aprovecha alrededor del 50% de su peso. (Villamizar de Borrero et al., 1992)

Existen muchos artículos que describen aplicaciones de adsorción para el tratamiento de agua en modo discontinuo. Solo unos pocos trabajos informan sobre aplicaciones comerciales, piloto y de laboratorio de la tecnología de adsorción. (Ali, 2014)

En los últimos años, en diversas investigaciones previas en este campo, se concluye que es importante la remoción de colorantes orgánicos debido a que su presencia afecta directamente los procesos biológicos naturales, la estabilidad de la calidad del agua y principalmente presentan riesgos para la salud humana. (Villanueva, 2017)

Las descargas de desechos y sustancias en aguas receptoras han hecho que la decoloración y restauración sea una prioridad absoluta, desafortunadamente la decoloración es una tarea complicada, se ha mostrado reportes que el tiempo de vida media del colorante azul 19 es de 46 años a 25°C y pH 7,0. (Hao et al., 2000)

Cuando los colorantes tienen contacto con medios acuosos, se producen gran variedad de reacciones químicas y procesos físicos que provocan la contaminación del medio. En algunos casos, algunos colorantes al

interaccionar con el agua se transforman en sustancias más contaminantes, tal es el caso de aminas aromáticas que según la literatura son altamente cancerígenas. (Piña, 2018)

En el caso del colorante azul de metileno, por ser una sustancia orgánica sintética posee estructuras moleculares aromáticas muy complejas, como consecuencia se vuelve inerte y difícil de degradar, esta degradación en un medio natural es muy lenta, por lo que suele acumularse e incrementar su concentración en los distintos nichos ecológicos. (Bautista, 2011)

Muchas de las investigaciones realizadas respecto a la adsorción de colorantes textiles (Sen et al., 2011) donde los materiales empleados en estas propuestas son diversos (Han et al., 2006; Robinson et al., 2002; Sivaraj et al., 2001), que van desde las cáscaras de melón hasta residuos de café. Por esta razón, en este trabajo de investigación se propone el uso de cáscaras de granadilla que en nuestro medio usualmente es considerada como basura orgánica.

En esta investigación se usará la adsorción como una técnica razonablemente superior debido a la simplicidad operacional, capacidad para tratar los tintes más concentrados respecto a otras técnicas (Aksu, 2005) y por supuesto de muy bajo costo debido a la utilización de residuos orgánicos, por ejemplo, la cáscara de la granadilla que es un fruto de producción en casi todo el año y de bajo costo en los mercados locales. Así, por el empleo de técnicas estandarizadas y residuos sólidos de bajo costo la investigación está justificada.

Muchos de estos desechos agrícolas están disponibles y son renovables en grandes cantidades a bajo costo. (Pavan et al., 2008)

1.6. Limitaciones

El presente trabajo de investigación se limitó solo a trabajar con la cáscara de *Passiflora ligularis juss* (granadilla).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Broche et al., (2022), en su investigación “Equilibrio y modelos cinéticos en la adsorción de azul de metileno sobre residuos agroindustriales”, refieren que como objetivo fue necesario evaluar el equilibrio y la cinética de los residuos agrícolas de sorgo (RAS) y bagazo de caña de azúcar (BCA), con la intención de restaurar los efluentes de descargas de agua contaminada, ya que se manifiestan afectando la biota acuática. Para este análisis se preparó el adsorbato en una concentración de azul de metileno másica de 1 g/L, en distintas diluciones volumétricas para los diferentes análisis. Se realizó un barrido de exploración de 320 nm a 700 nm para escoger la longitud de onda de máxima de adsorción mediante espectroscopia UV-Vis, empleando espectrofotómetro; para la preparación de la biomasa se usó un molino, tamizo y seco a temperatura de 50 °C por 48 h., en ese sistema discontinuo con una concentración de biomasa de 10 g/L, agitación de 80 rpm, pH de 5,5 μ y tamaño de partícula (0,35 - 0,63) mm, ajustadas a tres temperaturas diferentes. Se aplicaron diferentes modelos los cuales fueron Langmuir, Freundlich, Temkin y Dubinin-Radushkevich, seleccionados para la representación de las isotermas y los de pseudo primer orden, pseudo segundo orden, Elovich y difusión intraparticular para la cinética del proceso. El modelo de Temkin presentó el mejor ajuste a las isotermas, mientras la cinética de adsorción fue mejor descrita por el modelo Pseudo segundo orden, este modelo cinético representa de forma excelente la adsorción de azul de metileno con RAS y BCA, considerando los criterios coeficiente de correlación y error relativo promedio, lo que indica que estos procesos estuvieron controlados por adsorción química o quimisorción.

Garduño (2019), en su tesis “Remoción del colorante Azul de Metileno empleando residuos de té verde”, el autor, tuvo como objetivo general determinar el grado de remoción de colorante azul de metileno de una solución acuosa, empleando la biomasa recolectada de residuos de té verde. El tratamiento consistió en un proceso de adsorción el cual represento una alternativa prometedora. El biomaterial fue recolectado, tratado químicamente, tamizado y posteriormente en tubos de ensayo, se agregó a cada tubo 100 mg de biomasa, se pusieron en contacto con las soluciones del colorante Azul de metileno. Esto con la finalidad de establecer que sucede a diferentes concentraciones del contaminante. Posteriormente después de los tiempos de contacto se realizaron las respectivas filtraciones, se calcularon los porcentajes de remoción empleando la técnica de espectrometría de ultravioleta y se cuantificaron los valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para establecer como se comportó el tratamiento en función de una variable de calidad del agua. Finalmente, se calcularon las isothermas de adsorción de los modelos de Langmuir y Freundlich para explicar cómo se rigió la biosorción en la fase experimental. El modelo que mejor se ajustó la adsorción fue la isoterma de Freundlich con un coeficiente de correlación de $r = 0.9908$ y para la isoterma de Langmuir la mejor adsorción obtenida fue un coeficiente de $r = 0.9394$.

Osorio (2018), en su tesis titulada “Determinación del potencial de remoción de azul de metileno en solución acuosa de hueso de palta y carbón de hueso de palta”, tuvo como objetivo de investigación evaluar la potencial de adsorción de un contaminante orgánico de baja polaridad para la remoción del azul de metileno, esto debido al incremento de población, se generó una mayor de emisión de residuos sólidos y líquidos, esto conllevó la carga de contaminantes en aguas residuales, y como medida para restaurar este recurso, fue necesario el desarrollo de nuevas tecnologías para su tratamiento. Un tratamiento innovador, es la adsorción con residuos agrícolas, como restos de vegetales verdes, cereales, cáscaras y demás desperdicios, las investigaciones se han enfocado en la búsqueda de materiales con mayores áreas específicas de

producción, la crisis económica del año 2000 obligó a los investigadores a replantear su búsqueda por materiales económicamente convenientes y accesibles, dentro de la investigación se halló que los residuos verdes poseen propiedades fisicoquímicas, grupos funcionales, estructuras volátiles y entre otras características que destacan la interacción adsorbato-adsorbente mostrando la alta eficiencia y versatilidad al momento de adsorber el azul de metileno en una solución acuosa, además de tener como conclusión que la interacción adsorbato-adsorbente dependió fuertemente de las propiedades fisicoquímicas de ambos, como grupos químicos, presencia de cargas, temperatura, pH, entre otros.

Albis-Arrieta et al., (2018), en su artículo de investigación “Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) modificada químicamente con ácido oxálico”, como objetivo principal evaluaron el uso potencial de la cáscara de yuca modificada con ácido oxálico y lo aplicarla como removedor de azul de metileno de soluciones acuosas, en esta investigación utilizaron uno de los residuos sólidos de yuca, para la preparación del adsorbato se utilizó una solución patrón de azul de metileno de 500 mg/L, fue preparada a partir de 0,5 g de azul de metileno sólido en un litro de agua desionizada, posteriormente diluida volumétricamente. Para la elaboración de la biomasa se lavó cáscara de yuca con agua desionizada, se sometió a exposición solar durante 48 horas y luego a un horno de convección a 90 °C por 12 horas, posteriormente fue molida y tamizada hasta tamaños de partículas entre 250 y 400 μm . A continuación, la cáscara de yuca fue sometida a un segundo lavado con hidróxido de sodio 0,1 M y abundante agua desionizada y la biomasa fue secada en un horno de convección por 24 horas a 90°C. La agitación constante fue de 400 rpm a diferentes temperaturas y tiempos de contacto. El pH de los experimentos se mantuvo, con esto concluyeron que la máxima capacidad de adsorción de azul de metileno con cáscara de yuca fue de 24,88 mg/g, modificada a 50 °C por dos horas con 1,75 relación ácido oxálico/biomasa. La capacidad de adsorción con la modificación de ácido oxálico aumentó en un 5 %. El proceso de adsorción resultó mejor ajustado al

modelo de isothermas de Freundlich y al modelo cinético de pseudo segundo orden. La energía de activación del proceso de adsorción fue de 23,093 kJ/mol. El proceso de adsorción de azul de metileno con cáscara de yuca modificada puede describirse como un sistema de superficie heterogénea que implica fuertes interacciones químicas entre los grupos funcionales (principalmente enlaces carboxílicos) de la cáscara de yuca y el colorante, demostrando que la capacidad de adsorción de la biomasa aumenta al modificarse con ácido oxálico.

Dawood & Sen, (2012), en su publicación “Eliminación del colorante aniónico rojo Congo de una solución acuosa mediante pino crudo y polvo de piña tratada con ácido como adsorbente: equilibrio, termodinámica, cinética, mecanismo y diseño del proceso”, tuvieron como objetivo estudiar un método conveniente para la eliminación por adsorción del tinte rojo Congo en los efluentes de aguas residuales. En su trabajo de investigación mencionaron la aplicación de numerosos métodos como ósmosis inversa, intercambio iónico, filtración de membrana, coagulación convencional, precipitación química y adsorción, cuyos métodos generalmente son los más comunes para eliminar los tintes de las aguas residuales. El estudio de la superficie de piñas y piñas tratadas se investigó utilizando el infrarrojo transformado de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los datos de equilibrio fueron mejor representados por el modelo de isoterma de Freundlich entre los modelos de isoterma de adsorción de Langmuir y Freundlich. La constante de Freundlich indicó una adsorción favorable para el tinte de rojo Congo en la biomasa de conos de pino basado en la ecuación del modelo de isoterma de Freundlich. Se concluyó que la adsorción dependía del pH, donde la máxima adsorción fue 32,65 mg/g y se produjo a un pH de 3,55 para una concentración inicial de colorante de 20 ppm en piñas crudas, mientras que para piñas tratadas con ácido mostraron que la máxima adsorción fue de 40,19 mg/g bajo las mismas condiciones experimentales. La adsorción es una técnica muy usada debido a la simplicidad de la disponibilidad del diseño, la capacidad para tratar los tintes más concentrados de otras técnicas y el bajo costo. (Sen et al., 2011)

Meena et al., (2005), en su artículo “Eliminación de iones de metales pesados de soluciones acuosas utilizando aerogel de carbono como adsorbente” hicieron mención que los parámetros de adsorción se determinaron utilizando modelos de isothermas, claramente el comportamiento de adsorción denota la formación de múltiples capas en la superficie del adsorbente con una distribución exponencial, la superficie y el intercambio iónico son los principales mecanismos de eliminación de metales y colorantes, los resultados indicaron la posible aplicación de este método para el tratamiento de efluentes en las industrias y también proporcionan una fuerte evidencia para respaldar el mecanismo de adsorción a partir de aguas residuales, es un tema de gran interés en el campo de la contaminación del agua, que es una causa grave de dilapidación ambiental. La adsorción ha probado ser la forma más económica y eficiente para remover metales pesados, contaminantes orgánicos y colorantes del agua contaminada. (Tangjuank et al., 2009) El Azul de Metileno es el colorante soluble más común en el agua, en general se utiliza para el procesamiento del algodón, el teñido del cuero, la impresión y el tanino. (Gupta et al., 2004)

Aunque este tinte no es significativamente tóxico para el ser humano, puede causar irritación ocular, irritación de la piel y efectos sistémicos, incluidos cambios en la sangre. (Sen et al., 2011)

Sen et al., (2011) en el artículo de investigación, “Equilibrio, cinética y mecanismo de eliminación del azul de metileno de la solución acuosa por adsorción en la biomasa de piña de *Pinus radiata*” propusieron la necesidad del uso de tecnologías limpias rentables, los subproductos agrícolas estuvieron disponibles en grandes cantidades, ciertos productos de desecho industrial son adsorbentes de bajo costo. Los desechos agrícolas son renovables en grandes cantidades para el proceso de adsorción del azul de metileno, teniendo en consideración los diferentes parámetros.

Muchos tipos de subproductos agrícolas, como la cáscara de naranja (Sivaraj et al., 2001), la cáscara de la cebada (Robinson et al. 2002), el aserrín (Garg,

et al., 2004) cáscara de arroz (Vadivelan & Kumar, 2005), cáscara de cereal (Han et al., 2007), cáscara de semilla de ricino (Oladoja et al., 2008), y el cono de piña (Sen et al., 2011) se han utilizado para eliminar el azul de metileno de su solución acuosa. Sin embargo, no se ha informado de ningún trabajo sistemático sobre el uso de residuos de cáscaras de granadilla como un adsorbente eficaz para la eliminación del colorante Azul de Metileno. La remoción de colorantes sintéticos de medios acuosos es extremadamente importante desde el punto de vista ambiental, porque muchos de estos colorantes son tóxicos e incluso cancerígenos, algunos autores de estudios realizados plantearon el empleo de cáscaras de granadilla como un residuo sólido en polvo y como una alternativa adsorbente de bajo costo para la remoción del colorante azul de metileno de soluciones acuosas (Pavan et al., 2008). En este estudio se plantea el uso de residuos sólidos en forma similar, pero mediante un estudio sistemático y determinando la eficiencia de la adsorción del colorante azul de metileno, mediante isotermas de adsorción a temperatura ambiente, tiempo requerido para obtener máxima eficiencia en el proceso de adsorción.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Álvarez et al., (2019), en la publicación “Adsorción de azul de metileno con biopolímeros (quitosano calcáreo y quitosano) obtenidos de las cabezas de langostinos a nivel piloto”, tuvieron como objetivo de investigación una propuesta de saneamiento de efluentes textiles contaminados por colorantes, utilizando biopolímeros (quitosano Ch y quitosano calcáreo CHCa) obtenidos a partir de las cabezas de *Litopanaeus vannamei* (langostino rojo) para la adsorción del azul de metileno, mencionaron el perjuicio que ocasiona el uso de colorantes en la industria textil, fomentan la toxicidad en seres humanos y organismos vivos, colorantes como el azul de metileno (AM), provienen de naturaleza catiónica, comúnmente usado en la industria textil para la coloración de algodón, lana, madera, papel y seda. En las últimas décadas la remoción de

colorantes de las aguas residuales ha recibido considerable atención por tener efectos colaterales adversos en la salud, pues aumenta la frecuencia cardiaca, produce alteraciones gástricas y nerviosas, con esto se concluye la importancia de depurar prontamente los efluentes textiles contaminados por colorantes a través de herramientas limpias y sostenibles con el medio ambiente. Mediante la evaluación de parámetros como el pH de la solución, concentración inicial del colorante, tamaño de adsorbente, etc. Se obtuvo quitosano a partir de las cabezas de langostino en tres etapas: desproteinización, desmineralización y desacetilación, y, para quitosano calcáreo sólo se desproteiniza y desacetila. Ambos biopolímeros se caracterizaron determinando su grado de desacetilación (por ultravioleta-visible y resonancia magnética nuclear-H), peso molecular, viscosidad y otras propiedades fisicoquímicas. Un punto clave de la investigación de los autores es el uso de biopolímeros extraídos de las cabezas del langostino rojo son residuos no comestibles, concluyendo que la interacción que fomentan para la adsorción del azul de metileno es lento y para tal proceso fue necesario una evaluación de parámetros, debido a que los colorantes sintéticos se degradan por diferentes métodos, sin embargo, en la investigación se obtuvieron porcentajes significativos de adsorción del colorante (azul de metileno de 200 ppm); el quitosano Ch₁₀₂₀, en 30 minutos, fue adsorbido el 77% a un pH óptimo de 7,5; el quitosano calcáreo ChCa₁₀₂₀ tuvo adsorción del 81% a los 35 minutos, a pH 8,0.

Navarro et al., (2016), en la publicación “Adsorción de Azul de metileno en medio acuoso empleando carbones activados y carbones activados modificados con nanopartículas de ZnO”, tuvieron como objetivo del obtener carbones activados o carbones activados modificados con nanopartículas de ZnO, evaluaron su eficiencia con el fin de remover el colorante azul de metileno en solución acuosa, para ello aplicaron desechos agroindustriales como la coronta de maíz y la pepa de ciruela, los cuales fueron secados, tamizados menor a 0,5 mm. y mezclados con un agente activador ZnCl₂ en una proporción en peso de 1:1. Para conseguir la modificación del carbón activado

se mezcló el residuo con el ZnCl_2 y adicionalmente un agente modificante el $\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$, se añadieron en una proporción en peso 1:1:0,5. Los carbones activados procedentes de pepa de ciruela sin modificar (RMS) y sus respectivos carbones modificados con nanopartículas de óxido de zinc (RMS/NPs-ZnO), así como los carbones procedentes de coronta de maíz sin modificar (CC) y sus respectivos carbones modificados con nanopartículas de óxido de zinc (CC/NPs-ZnO), finalmente para obtener la forma de los pellets se procedió utilizando jeringas de 10 ml, a los cuales se les cortaron las puntas y con ayuda de un émbolo se adicionó suficiente agua destilada para formar una masa pastosa. Estos pellets pasaron por un proceso de secado a $80\text{ }^\circ\text{C}$ por 12 h y luego fueron carbonizados en atmosfera de N_2 en un horno tubular a una temperatura de $600\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 h. Los pellets carbonizados fueron lavados repetidas veces con una solución de HCl 0,5 N, agua destilada caliente y agua destilada fría para finalmente secarlos a $80\text{ }^\circ\text{C}$ por 12 h (molidos y tamizados hasta un tamaño de partícula menor a 0,25 mm. los modelos cinéticos de pseudo-primer y pseudo-segundo orden aplicados a los datos de las curvas de remoción de azul de metileno de las muestras estudiadas, identificándose que los datos de remoción se ajustan mejor a al segundo modelo analizado con R^2 entre 0.9867 – 0.9995. Como conclusión los resultados fueron favorables obtuvieron pruebas de remoción de azul de metileno que los carbones activados adsorben mejor que los modificados con ZnO debido a que las nanopartículas de ZnO bloquean parcialmente los poros del carbón activado y el acceso a los sitios activos.

Suárez & Villegas (2019), en su artículo de investigación denominada “Evaluación de la adsorción del carbón del mesocarpio del cacao (*Teobroma cacao l.*) modificado por ultrasonido”, tuvieron como objetivo generar un nuevo conocimiento en el campo del tratamiento de la estabilización-solidificación de contaminantes, específicamente pretendieron innovar la forma tradicional de producir carbón activado conocido por su alta porosidad y propiedades superficiales de alta adsorción. Los autores aplicaron un modelo

de investigación que propusieron transformar el mesocarpio del cacao en carbón vegetal para usarlo como adsorbente del azul de metileno, con este modelo de investigación, donde evidenciaron una interacción de tipo química, simboliza un aporte a las técnicas de tratamiento de contaminantes por estabilización-solidificación dentro de la ingeniería ambiental. El proceso consistió en someter el mesocarpio a temperaturas de 500 °C, 600 °C y 700 °C por tiempos de 30, 60 y 90 minutos, posterior a esto, los carbones de mesocarpio obtenidos fueron triturados y clasificados, evaluaron la capacidad de adsorción de cada tratamiento con ácido oxálico ($C_2H_2O_4$) a cinco concentraciones para obtener el carbón óptimo. De acuerdo con los resultados, el tratamiento sometido a 600 °C, 60 min, grano fino (600 °C 60' F) presentó la mejor capacidad de adsorción, el carbón seleccionado se sometió a ultrasonido a 20 *KHz* a diferentes amplitudes de onda. La evaluación se hizo a través de parámetros fisicoquímicos tales como cinética y equilibrio químico, isothermas de adsorción, con el mencionado ácido oxálico ($C_2H_2O_4$), porcentaje de adsorción de azul de metileno, estimación de la superficie de adsorción y exposición al ultrasonidos, el modelo generó un efecto positivo en el incremento de la capacidad de adsorción del carbón vegetal, como conclusión, los autores destacan una alta valoración al aprovechamiento potencial de residuos orgánicos en busca de emplear técnicas prácticas para la conservación ambiental.

Bermeo (2017), en la ejecución de su tesis “Remoción eficiente de colorante refractario azul MNO reactivo en combinación con vinil sulfónico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción”, tuvo como objetivo establecer el nivel de eficiencia de la remoción del colorante refractario MNO reactivo en combinación con vinil sulfónico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación, seguida de adsorción. En la presente tesis menciono los distintos tratamientos para eliminación de colorantes, de los cuales se ha considerado una combinación de ellos, como es la aplicación de un proceso de oxidación avanzada con aporte de energía

apoyados en diferentes configuraciones y la operación de adsorción. Este proceso posee una multitud de mecanismos para eliminar contaminantes, lo que hace que tengan mayor eficiencia para remover partículas indeseables, es un método simple, no requiere adición de productos químicos debido a que genera los coagulantes que desestabilizan a la partículas coloidales in situ, y posteriormente se realiza una clarificación antes de pasar al filtro de adsorción con carbón activado, para lograr con esta combinación concluir el tratamiento y mantener el absorbente por mayor tiempo sin saturarse, la técnica de electrocoagulación logró una mayor desestabilización de las partículas coloidales con una remoción de colorantes refractarios, se evidenció una correlación lineal $R=0.999$ entre el DQO y el color, por lo que son proporcionales y al disminuir uno de ellos, disminuye el otro color de 3500 a 31 unidades Pt/Co que corresponde al 99.11% a pH 8.93 de remoción de colorante, este trabajo constituye un aporte por la técnica utilizada en la eliminación de color y del DQO para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil.

Zevallos (2018), ejecutó la tesis “Obtención de carbón activado a partir de residuos orgánicos de *Gypsophila elegans* (ilusión) del Distrito de Cayma y su evaluación como adsorbente de plomo (II) en solución acuosa”, como objetivo principal propuso obtener carbón activado a partir de residuos de *Gypsophila elegans* (ilusión) y con esto evaluar su capacidad adsorbente de plomo en soluciones de concentración acuosas, por consiguiente, la obtención de carbón a partir de la recolección de tallos de ilusión, residuos orgánicos generados en gran cantidad por la actividad del cultivo y floristería, con el fin de aplicarlo para el tratamiento de aguas contaminadas, para ello, se recolectaron tallos, luego se separaron y evaluaron parámetros de humedad, volátiles, carbono fijo y cenizas; Posteriormente los tallos fueron cortados y colocados en una mufla a 250 °C por 5 minutos; el carbón obtenido, fue activado con solución de hidróxido de potasio a temperaturas de 450, 500 y 550 °C durante periodos de 30, 60 y 90 minutos, obteniéndose nueve muestras en las que se evaluó su capacidad de adsorción de azul de metileno por

espectrofotometría visible, como resultando el mayor porcentaje de adsorción fue de 99,53 % y 98,68 % que correspondió al carbón activado 450 °C, durante un periodo de 60 y 90 minutos respectivamente; en cuanto a la capacidad de adsorción de plomo, en soluciones preparadas y por el método de adsorción atómica; los mejores resultados se obtuvieron para el carbón activado a 550 °C durante 60 minutos con un porcentaje de adsorción de plomo de 97,64% y 97,84%.

Existe una variedad de técnicas de adsorción a partir del uso de residuos orgánicos como semillas de aguaje (Pinedo, 2016), cáscara de coco (Suarez, 2018), cáscara de castaña (Barazorda & Lima, 2019), cacao (Suarez et al., 2019), cáscara de naranja (Aguilar & Flores, 2016), entre otros, para el tratamiento de agua contaminada, es importante darle utilidad a fin de hacer un procedimiento sostenible.

El mayor índice de producción de granadilla se reportó en la región de Pasco con un 51% del total (31.600 toneladas), Le sigue Junín que concentró el 17% de la producción nacional, Lima (7%), Cajamarca (6%), Huánuco (4%), La Libertad (4%), otras ciudades (11%). En la ciudad de Tacna la producción de granadilla para el año 2011 por Tm fue de 0.00% (Asociación Regional de Exportadores de Lambayeque, 2011)

2.2. Bases teóricas

Propiedades de la *Passiflora ligularis juss* (granadilla)

Este fruto, es originario de los andes sudamericanos, su producción se extiende desde México hasta el norte de Argentina, crece en suelos sueltos, ricos en materia orgánica, con pH entre 5,5 y 6,5, y humedad relativa entre 60 y 80 %. (Rivera et al., 2002)

Según reportes del Instituto Nacional de Innovación Agraria establecen que la granadilla presenta un rendimiento promedio nacional de 10 TM por hectárea (Ha), pudiendo llegar hasta unas 40 TM/Ha , aplicando buenas prácticas de

manejo agronómico. Respecto de las zonas de mayor producción nacional, Cerro de Pasco se destaca como la principal con 5,5 mil TM (29,4% del total); Cajamarca (3,3 mil TM - 18,6%); La Libertad (14%) y Huánuco (8,4%), esta producción es distribuida a nivel nacional. (Agencia agraria de noticias, 2012).

Durante la última década muchos investigadores han estudiado aspectos biológicos y agronómicos de las pasifloras. (Franco, et al., 2008), “su composición química, efectos medicinales, propiedades nutricionales y su aplicación potencial para el desarrollo de productos alimenticios y farmacéuticos”. (Dhawan et al., 2004 , como se citó en Vasco et al., 2008).

Contaminación del agua

El agua es un recurso elemental para la sostenibilidad del planeta; en el diccionario prehispánico de la Real Académica Española conceptualiza el agua como un líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos. (Real Academia Española, 2005)

Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (IMNUSDRH, 2017), menciona que en el mundo más del 80 % de las aguas residuales se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno, las consecuencias son inquietantes, la contaminación del agua en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina es cada vez peor. Cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas en mares y océanos a causa del vertido de aguas residuales sin tratar, lo cual afecta a los ecosistemas marinos en una superficie de 245,000 km² con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias

La contaminación del agua es una amenaza mundial. En las últimas décadas, diversas industrias, la agricultura y la sequía a largo plazo han liberado una amplia gama de contaminantes químicos al agua. (Chong et al., 2010)

El uso de colorantes azoicos para el teñido textil ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a su costo, efectividad y la variedad de colores disponibles (Chang et al., 2004). Los colorantes azoicos son colorantes sintéticos que establecen un grupo extenso de colorantes disponibles en el mercado y adicionalmente, el más contaminante para el ambiente. (Arango & Garcés, 2009)

Cuando se aplica tratamiento secuencial para la degradación de colorantes se forman tejidos de enlaces covalentes, presentes en las fibras textiles, impartiendo un color brillante y duradero al producto final. Sin embargo, su bajo grado de fijación en la fibra, típicamente entre 50 y 90%, da como resultado la liberación de cantidades sustanciales del tinte en las aguas residuales. (Jonstrup et al., 2011)

Existe un número importante de técnicas específicas destinadas a la eliminación del color de las aguas residuales. La adsorción con carbón activo ofrece buenos rendimientos de eliminación de colorante (cerca del 95% de decoloración), pero el carbón activo tiene un costo elevado y sólo es reutilizable un cierto número de veces. (Vilaseca et al., 2015)

Los colorantes reactivos sólo son retenidos en un 10% (llegando a máximos del 30%). En todo caso, una reducción importante del color después de un proceso biológico. (Vilaseca et al., 2015)

Por otra parte, el uso de nuevos adsorbentes de origen biológico o naturales es una alternativa de bajo costo al uso de carbono activo convencional (Gupta & Suhas, 2009). La adsorción es un método que ha demostrado ser una alternativa sustentable para la remoción de metales pesados y colorantes en medios acuosos, esta tecnología resulta ser prometedora. (Valladares-Cisneros et al., 2016)

Figura 1

Imagen de descarga de aguas residuales textiles a un río.



Nota. Adaptado de Descarga de aguas residuales textiles a un río, por Unimedios, agencia de noticias de la Universidad Nacional de Colombia, 2014. (<http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/cascarilla-de-arroz-para-remover-colorantes.html>)

Principales contaminantes del agua

La Organización mundial de la salud (OMS, 2019) informo que al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada. La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente. El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades Los servicios exponiendo a la población a riesgos prevenibles para su salud.

La contaminación hídrica que procede de ríos, lagos y quebradas es objeto de una severa contaminación, muchas veces las actividades del hombre, los

principales contaminantes del agua son los agentes patógenos: algunas bacterias, virus y parásitos, provenientes de desechos orgánicos, entran en contacto con el agua; los desechos que requieren oxígeno: algunos desperdicios pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. (Sánchez et al., 2018)

Entre los contaminantes orgánicos no biodegradables más comunes de los cuerpos de agua se encuentran los colorantes (Vilaseca, 2015) principalmente los colorantes que se producen en la industria textil contienen grandes cantidades de sustancias que proporcionan un fuerte color a sus aguas de desecho (Mohd et al., 2011). La presencia de colorantes en agua tiene graves consecuencias ambientales, por un lado, dificultan la difusión del oxígeno y la luz y por otro son considerados como persistentes en el ambiente debido a su naturaleza química. (Sawyer et al., 2001)

La coloración que presentan las aguas residuales es un indicador de la contaminación, tales como las tintas, (azul de metileno, rojo Congo, naranja de metileno, etc.) la coloración es notoria incluso con una concentración de 0,5 ppm en el medio acuoso, por lo que la descarga de estas aguas residuales en el ecosistema es una fuente dramática de contaminación y perturbación de la vida acuática impidiendo el paso de luz para que se realicen los procesos microbiológicos necesarios para el equilibrio del ecosistema. (Houas et al., 2001)

Casi tres cuartas partes del agua consumida por los molinos para teñir termina convertida en residuo no potable, una sopa tóxica de colorantes, sales, alcalinos, metales pesados y químicos. Algunos de los productos químicos que se utilizan en los talleres de teñido de la India están, y en los centros de teñido de Bangladesh, la India y China, a menudo se descarga en los ríos de manera ilegal, lo que se convierte en una descarga ácida de color, estas sustancias químicas de las aguas residuales pueden afectar el ecosistema local, o a la gente que usa el agua para pescar, lavarse o incluso beber. Laila Petrie, líder mundial de textiles y algodón de WWF menciona

“Pueden dañar a las plantas y a los animales, y potencialmente entrar en la cadena alimenticia”. (Cole, 2019).

Figura 2

La industria en Bangladesh desecha los tintes en el río Turag



Nota. Adaptado de El teñido de tejidos: el mayor problema de contaminación de la industria de la moda, por la revista Vogue, 2019. (<https://www.vogue.es/moda/articulos/tintes-toxicos-ropa-problemas-contaminacion-industria-moda>)

Según Aksu (2005) las aguas superficiales y subterráneas han sido severamente contaminadas por metales pesados, contaminantes inorgánicos, contaminantes orgánicos, especialmente colorantes, hidrocarburos y pesticidas. Todos estos productos químicos tienen un gran efecto perjudicial sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos debido a su alta toxicidad y bioacumulación. (Auriol et al., 2006)

Contaminantes orgánicos

Según Han et al., (2009) los colorantes naturales (los cuales se extraen de fuentes primarias de la naturaleza) se presentan en menor proporción a los sintéticos, algunos de los principales colorantes se muestran en la Figura 3, generalmente son polímeros con una amplia variedad de grupos funcionales y estructuras químicas orgánicas complejas (como ciclos y grupos aromáticos) que pueden afectar también los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

En los últimos años, la investigación ambiental ha ganado un interés creciente gracias a la aparición de una nueva clase de compuestos llamados contaminantes emergentes, estos van desde inorgánico a productos químicos orgánicos, matrices no especiadas, así como nano partículas, e incluso contaminantes microbianos. Estos químicos no están actualmente incluidos en los programas de monitoreo de rutina, sin embargo, pueden ser candidatos para una futura regulación, sobre la base de resultados de investigaciones sobre toxicidad, ocurrencia en varios compartimentos ambientales y percepción pública (Richardson & Ternes, 2011)

La lista de nuevos productos químicos cuya presencia en el medio ambiente representa un riesgo comprobado o potencial es considerable y contiene ampliamente resinas, plásticos y aditivos plásticos, productos farmacéuticos y para el cuidado personal (por ejemplo; desinfectantes, fragancias, filtros solares, antibióticos, drogas de abuso, hormonas naturales y sintéticas); detergentes y otros agentes de limpieza; pesticidas y biosidas (por ejemplo, herbicidas, fumigantes, conservantes de madera, agentes incrustantes); productos químicos.

La capacidad de los contaminantes emergentes para afectar el medio ambiente se confirma mediante la detección de compuestos farmacéuticos, compuestos organofosforados en el agua potable y en el agua subterránea

utilizada como elemento público y suministro de agua potable (Kuch & Ballschmiter, 2001).

Figura 3

Colorantes naturales e ino cuos



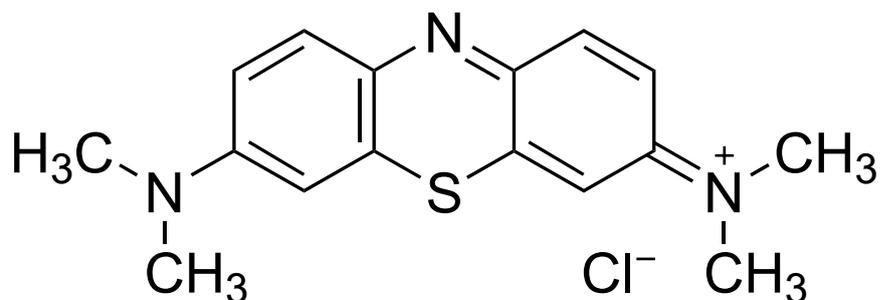
Nota. Adaptado de Colorantes naturales e ino cuos, por Escudero, The food tech, 2020, (<https://thefoodtech.com/industria-alimentaria-hoy/colorantes-naturales-e-ino cuos/>)

Colorante Azul de Metileno

Gil (2019) define el azul de metileno como un colorante de naturaleza orgánica con múltiples funciones, conocido con el nombre científico de cloruro de metiltionina. Su fórmula química es $C_{16}H_{18}N_3SC_{18}-3H_2 O$. Fue sintetizado en el año 1876 para teñir prendas textiles, sin embargo, no pasó mucho tiempo en que los científicos de la época descubrieran su gran utilidad en el campo de la medicina, especialmente para teñir preparaciones microscópicas.

Figura 4

Estructura química del azul de metileno



Nota. Adaptado de actividad fotocatalítica de una heteroestructura de $\text{TiO}_2 / \text{SnO}_2$ Sustrato en una solución de azul de metileno, por Anaya, 2018, http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11519.pdf

Según Anaya (2018) menciona que es un colorante básico, cuya estructura química de este colorante se muestra en la Figura 4, es un heterocíclico aromático, y tiene varias áreas de aplicación ya sea para usos de laboratorio, análisis, investigaciones, química fina, medicina e incluso en acuicultura. A través de efluentes de las industrias textil, papelera y farmacéutica afecta negativamente al ecosistema y la vida acuática.

La presencia de azul de metileno en el agua potable es un peligro para la salud ya que causa irritación en los ojos y la piel, anemia hemolítica, náuseas, vómitos y dolor abdominal. Por lo tanto, su eliminación del agua contaminada es de gran importancia. (Balcha et al., 2016) Además, es un compuesto de color azul oscuro, soluble en agua, posee propiedades redox derivadas de su capacidad para aceptar o donar iones de carga positiva, por lo tanto, le es fácil unirse a componentes celulares cargados negativamente llamados componentes basófilos (nombre derivado por su afinidad a los colorantes básicos).

En laboratorios, el azul de metileno es un colorante ampliamente utilizado en la tinción de estructuras celulares, tejidos de soporte y otras estructuras orgánicas de los bacilos. En la biología, se emplea para diferentes procesos de tinción como medio de contraste y como un indicador de vida en las células. En histología se le emplea como colorante nuclear en combinación con la eosina, para la coloración del tejido sanguíneo. (De la Torre, 1975)

En acuicultura el azul de metileno se utiliza para tratar enfermedades en los peces ornamentales o para evitar mucosas en los estanques (Cedillo et al., 2001) el colorante también es capaz de proveer protección contra la intoxicación por nitrilos y ocasionalmente es usado como antiséptico tipo antifúngico en infecciones por protozoos en cultivo de peces. (Lannacone & Alvarino, 2007)

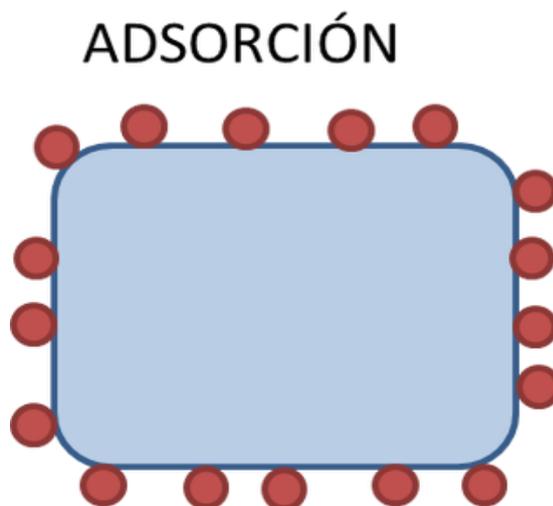
Tratamientos físicos

Entre las principales tecnologías para el tratamiento físico de efluentes contaminados por la presencia de colorantes y pigmentos en el medio acuoso, se relacionan los procesos de adsorción, los sistemas de filtración y las resinas de intercambio iónico como las más importantes.

Entre los materiales adsorbentes reportados en la literatura con mejores porcentajes de remoción de color, se encuentran desde residuos agroindustriales de bajo costo como palma de aceite, viruta, aserrín, bambú, algas, hojas de pino, tallos de canola entre otros, hasta minerales como lignito, magnetita, carbón activado, bentonita, etcétera.

Figura 5

Proceso de adsorción



Nota. Adaptado de Eliminación de tinte básico (azul de metileno) de aguas residuales simuladas mediante adsorción con aserrín de palisandro indio: un residuo de la industria maderera, Garg et al., 2004, <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.03.005>

Producto de las interacciones electrostáticas entre los materiales adsorbentes y los compuestos que producen la coloración de las aguas residuales, el proceso de adsorción, es mostrado en la Figura 5, es afectado por las condiciones del medio (pH y temperatura), las características moleculares de los colorantes (grupos funcionales constitutivos) y el tiempo de contacto, entre otras. (Cai et al., 2009)

Estas interacciones electrostáticas pueden ser mejoradas mediante el pretratamiento de los materiales adsorbentes utilizando agentes químicos modificadores, los cuales actúan a nivel de superficie causando la protonación o deprotonación de las moléculas expuestas del material adsorbente. Existe una influencia significativa del pH sobre las cinéticas de adsorción, las condiciones acidas en general, favorecen la remoción de

grupos de colorantes ácidos, directos, reactivos y dispersos, mientras que los medios alcalinos, incrementan la remoción de colorantes básicos. (Wang & Yan 2011)

En el caso de los colorantes que en solución o en medio acuoso presentan valores de pH alcalinos, los procesos de adsorción más eficientes relacionan como adsorbentes materiales de origen vegetal como viruta y hojas de pino, con porcentajes de remoción de color mayores al 90% y hasta el 98% respecto a otros materiales adsorbentes (Janoš et al., 2009). El carbón activado, puede llegar a remover por adsorción hasta el 96% del color generado por colorantes directos y el 70% del color asociado al tipo reactivo y disperso antes de la saturación del material adsorbente. (El-Ashtoukhy, 2009)

Materiales como quitosano y fosfato de calcio, alcanzan porcentajes de remoción de colorantes reactivos del 90%, mientras que los polímeros ligados a magnetita y algunos residuos agroindustriales como los tallos de canola, presentan cinéticas de remoción significativas (mayores al 90%) sobre colorantes ácidos. (Momenzadeh et al., 2011)

Recientemente, la atención se ha centrado en el desarrollo de adsorbentes de bajo costo para la aplicación de técnicas de adsorción para el tratamiento de aguas residuales. En los últimos años, se observó que las biomasas nativas y modificadas de bacterias, hongos, algas y plantas podían eliminar diferentes colorantes textiles por adsorción. (Gulay et al., 2017)

Los estudios han demostrado que el carbón activado es buen material para la eliminación de diferentes tipos de tintes, pero su uso a veces se restringe en vista de un costo mayor. Los problemas de regeneración y la dificultad de separación de las aguas residuales después del uso son las dos principales preocupaciones del uso de estos materiales. (Gupta & Suhas, 2009) Esto ha resultado en intentos de varios investigadores de buscar adsorbentes más económicos. Los materiales naturales o los residuos / subproductos de

industrias o materiales preparados sintéticamente, que cuestan menos y pueden usarse como tales o después de algún tratamiento menor como adsorbentes, generalmente se denominan adsorbentes de bajo costo. (Mukhlis et al., 2012)

El proceso de teñido textil exige una gran cantidad de agua y produce un volumen sustancial de aguas residuales. Sin tratamiento o aguas residuales parcialmente tratadas e industriales efluentes vertidos en el ecosistema plantean un grave problema para el medio ambiente. Esto es porque la mayoría tintes son compuestos sintéticos con complejo aromático y estructuras moleculares, que los hacen resistentes a luz, calor y agentes oxidantes, no biodegradable, y tóxicos para la vida, con efectos carcinógenos y mutagénicos. (Noroozi et al., 2007)

Varias tecnologías de reducción, incluida la adsorción (Mohammed et al., 2011) degradación microbiana (Caselatto et al., 2011) y procesos avanzados de oxidación (Zuorro et al., 2013) han sido propuestos para eliminación de colorantes azoicos de efluentes textiles.

Por lo tanto, es obligatorio reducir las cantidades de colorantes al final del efluente de la tubería en las industrias textiles, ya que se han establecido regulaciones nuevas y más estrictas en muchos países. Se ha descubierto que la adsorción es una técnica superior en comparación con otros métodos de tratamiento de aguas residuales en términos de efectividad, costo y simplicidad de diseño, facilidad de operación e insensibilidad a las sustancias tóxicas. (Meshko et al., 2001)

La adsorción es uno de los métodos más efectivos y el carbón activado es el adsorbente más comúnmente usado. Sin embargo, a pesar de sus ventajas inherentes, como eficiencia y versatilidad, la adsorción de carbono sigue siendo un proceso costoso. Este hecho ha provocado un creciente interés en la producción de alternativas de bajo costo para los carbones activados. (Gupta & Suhas, 2009)

Las técnicas de adsorción se pueden utilizar con éxito para eliminar contaminantes de diversas naturalezas de las aguas residuales. Consisten en la retención de moléculas contaminantes en solución por la superficie de un adsorbente sólido. (Ali & Gupta, 2007, como se citó en Ali, 2014) La capacidad de adsorción de los materiales está influenciada por un número de factores, tales como la dosis de adsorbente y el tamaño, tiempo de contacto, la velocidad de agitación, temperatura, pH, naturaleza de adsorbente, y la fuerza iónica de la solución acuosa (Johnson et al., 2008).

Adsorción física

Una de las dos formas de adsorción reconocidas es la que ocurre por fuerzas del tipo de Van Der Waals, entre un átomo o una molécula y la superficie. En este caso no existe un re-arreglo electrónico en el sistema y solo las fuerzas de atracción electrostáticas o atracciones dipolares son puestas en juego. A este tipo de interacción que ocurre sin modificación alguna de la molécula se le ha llamado adsorción física.

En la adsorción física las fuerzas que atraen a las moléculas a la superficie sólida del adsorbente son generalmente débiles, y el calor desprendido durante el proceso de adsorción es de 0,5 a 5 kca/mol g el equilibrio entre la superficie sólida y el adsorbato se alcanza generalmente con rapidez, siendo fácilmente reversible, debido a que los requerimientos de energía son muy pequeños.

Además, la adsorción física no depende de las irregularidades en la superficie del adsorbente. Este fenómeno superficial depende en mayor medida de la extensión o área superficial con la que cuenta el material adsorbente ya que una mayor área superficial cuenta con un mayor número de sitios activos, los cuales son capaces de atraer a un mayor número de moléculas. (Smith, 1986)

Adsorción química

Casi todos los sólidos tienen la propiedad de fijar o adsorber en su superficie las moléculas, átomos o iones que se encuentran a su alrededor. En la superficie de un material podemos encontrar átomos que presentan orbitales disponibles. El número y tipo de estos orbitales depende de las características y estructura del material adsorbente. Cualquier átomo que tenga orbitales libres experimenta un conjunto de fuerzas no balanceadas. Esta situación conduce al fenómeno de energía libre superficial. Si alguna molécula con afinidad a estos orbitales libres se acerca lo suficiente, se produce un nuevo arreglo electrónico con el sistema, tal como se observa en una reacción química. El resultado es la fijación en la superficie a través de una adsorción química o quimiadsorción. (Fuentes & Diaz, 1988)

Técnicas espectrofotométricas

Una de las aplicaciones prácticas de mayor interés de la espectrofotometría de absorción UV-Visible es la del análisis cuantitativo, basada en la aplicación de la ecuación de Lambert-Beer. Las técnicas espectroscópicas se basan en la interacción de la radiación electromagnética con la materia. A través de esta interacción las moléculas pueden pasar de un estado energético a otro estado energético distinto, absorbiendo o emitiendo una cantidad de energía radiante igual a la diferencia energética existente entre los dos niveles. (Connor, 1980, como se citó en Roca, 2019)

2.3. Definición de términos básicos

Acuosa

Disolución en agua. (Diccionario Oxford-Complutense Química, 2003)

Adsorción

Es un proceso que ocurre a nivel superficial, en el que el adsorbato es transferido a la región interfacial de un sólido adsorbente en la que es retenido, esa interface está conformada por la superficie exterior, la superficie interna formada por capilares además de las grietas e intersticios (microporos) del sólido. (Delgadillo, 2011)

Agua

Es un recurso abundante en la naturaleza que constituye más del 70% de la superficie del planeta, forma la lluvia, nieve, manantiales, capa freática (agua de subsuelo o acuífero subterráneo) y los océanos. Según su estado puede ser líquido, sólido o evaporado. (Andaluz, 2003, p. 53)

Agua destilada

Es agua purificada por destilación de manera que se eliminan las sales disueltas y otros compuestos. (Diccionario Oxford-Complutense Química, 2003)

Azul de metileno

Es un colorante orgánico con múltiples aplicaciones, fue sintetizado para teñir prendas textiles, tinción de células y bacterias en microscopía, como desinfectante hasta para el tratamiento de una enfermedad conocida como metahemoglobinemia. (Gil, 2019) Además, tiene importantes usos en análisis químico debido a sus propiedades de indicador redox. (Cienciabit, 2019)

Balanza de precisión

Es un instrumento con el que se pueden realizar mediciones de masas de objetos relativamente pesados. Se caracteriza por ser bastante precisa, aunque a un nivel inferior al de la balanza analítica. Es de gran utilidad en los laboratorios cuando se trata de pesar sustancias para preparar mezclas de reacción. (Martínez, 2020)

Caracterización

Es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para cualificar ese algo previamente se deben identificar y organizar los datos; y a partir de ellos, describir (caracterizar) de una forma estructurada; y posteriormente, establecer su significado. (Bonilla et al., 2009)

Espectrómetro Infrarrojo transformada de Fourier

Es una herramienta utilizada para detectar subproductos de la degradación del aceite, aditivos y contaminantes, usada en los laboratorios de análisis, su principal valor reside en detectar simultáneamente varios parámetros. (Noria Latín América, 2014)

Espectrómetro UV

Es un dispositivo utilizado para detectar espectros, que son longitudes de onda específicas de radiación electromagnética. (Rangel, 2019)

Granadilla

Es una fruta emparentada con el maracuyá, por lo que también es considerada una «fruta de la pasión». Tiene forma circular y su cáscara es de color naranja, gruesa, compacta y lisa. En su madurez pesa alrededor de 120 gramos en promedio. (Andina, 2020)

Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión

Es un instrumento que al igual que el SEM es capaz de ofrecer una amplia variedad de información procedente de la superficie de la muestra, pero con mayor resolución y con un rango de energía mucho mayor. (Universidad Politécnica de Valencia, 2020)

pH

Es el grado de acidez o alcalinidad por la cantidad de ácido o base añadida en una solución. Sörensen (1909, como se citó en Alméciga & Muñoz, 2013)

Instrumento utilizado para medir la acidez o la alcalinidad de una solución, también llamado de pH. El pH es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es medido en una escala que va de 0 a 14.

Porosidad

Es una característica de gran interés en materiales adsorbentes. Los poros de los adsorbentes se clasifican en tres grandes grupos, según la IUPAC, en base al proceso que tiene lugar en cada uno de ellos y al tamaño de poro. (Rouquerol et al., 1999, como se citó en Canals, 2012)

Remoción

Es la acción de eliminar parte de la concentración del contaminante, la estimación de remoción se manifestará mediante la calidad de agua producto de un tratamiento a otro. (Barreto, 2016)

Solución o Disolución

Es un sistema homogéneo, fraccionable, formado por dos o más sustancias puras miscibles. Es homogénea porque no es posible distinguir el soluto una vez disuelto en el solvente. (Cova, 2018)

Técnica

Es un procedimiento típico, validado por la práctica, orientado generalmente (aunque no exclusivamente) a obtener y transformar información útil para la solución de problemas de conocimiento en las disciplinas científicas. (Rojas, 2011)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Según Esteban (2018) (...) De acuerdo al propósito de la investigación y la problemática se formulan problemas o hipótesis de trabajo para resolver este tipo de investigaciones que están orientadas a mejorar, perfeccionar u optimizar los procedimientos de los avances de la ciencia y la tecnología. (p. 46)

Tipo de investigación: Aplicada

3.1.2. Nivel de investigación

Hernández-Sampieri & Mendoza (2018) refiere en torno a los estudios experimentales (...) la investigación en la que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes) para analizar las consecuencias que tal manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes) dentro de una situación de control para el investigador. (p. 151)

El presente trabajo se encuentra enmarcado dentro de los niveles de: **investigación experimental.**

3.2. Operacionalización de variables e indicadores

Tabla 1

Indicadores de variables independientes y dependientes.

VARIABLES	DEFINICIÓN DE VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	Cáscaras de <i>Passiflora ligularis juss</i> (granadilla)	VI 1	Cantidad de cáscaras de granadilla. (2 kg)
		VI 2	pH (3, 5, 7, 9 y 11)
		VI 3	Concentración de colorante. (10mg/L)
VARIABLE DEPENDIENTE	Adsorción del colorante azul de metileno en una solución acuosa.	VD 1	Eficiencia de adsorción del colorante azul de metileno en una solución acuosa.
		VD 2	Tiempo promedio de adsorción.
		VD 3	Cantidad de remoción.

Nota. Esta tabla muestra indicadores de 3 variables independientes y dependientes. Fuente: Elaboración propia

3.3. Población y muestra de la investigación

3.3.1. Población de investigación

Tabla 2

Población de investigación para la muestra de cáscara de granadilla.

MUESTRAS	PESO DE MUESTRAS DE CÁSCARA DE GRANADILLA (PROCESADA)	CONCENTRACIÓN DE COLORANTE AZUL DE METILENO	TIEMPO DE AGITACIÓN	pH
M1	50 mg.	10 mg/L	4	7
M2	100 mg.	10 mg/L	4	7
M3	300 mg	10 mg/L	4	7
M4	500 mg	10 mg/L	4	7
M5	700 mg	10 mg/L	4	7
M6	1000 mg.	10 mg/L	4	7

Nota. Esta tabla trabajó con la primera batería de pruebas de la variable 1 para determinar la cantidad con mayor recuperación de muestras de cáscara de granadilla, teniendo como datos constantes, la concentración de colorante, en un tiempo de 4 horas de agitación a pH 7.

Una vez obtenida la cantidad de cáscara a utilizar se procede a obtener la segunda batería de prueba con el siguiente cuadro.

Tabla 3

Población de investigación para el pH de la muestra de cáscara de granadilla.

MUESTRAS	PESO DE MUESTRAS DE CÁSCARA DE GRANADILLA (PROCESADA)	CONCENTRACIÓN DE COLORANTE AZUL DE METILENO	TIEMPO DE AGITACIÓN	pH
M1	500 mg	10 mg/L	4	3
M2	500 mg	10 mg/L	4	5
M3	500 mg	10 mg/L	4	7
M4	500 mg	10 mg/L	4	9
M5	500 mg	10 mg/L	4	11

Nota. Esta tabla trabajó con la primera batería de pruebas de la variable 2 para determinar el pH con mayor índice de adsorción, teniendo como datos constantes, el peso de la muestra de la cáscara de granadilla, la concentración de colorante, en un tiempo de 4 horas de agitación.

3.3.2. Muestra de investigación

La muestra se define como un subgrupo representativo de la población, dicha muestra proporcionara los datos precisos requeridos para la investigación, (Hernández et al., 2010) se tomarán en base a las concentraciones correspondientes para el proceso de adsorción del colorante bajo estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

(Blaxter et al., 2002, como se citó en Vigil, 2018) “Son procedimientos sistematizados, operativos que sirven para la solución de problemas prácticos. Las técnicas e instrumentos de recolección de datos deben ser seleccionadas teniendo en cuenta lo que se investiga, porqué, para qué y cómo se investiga”. (p. 53)

Las técnicas e instrumentos que se emplearán en el desarrollo de la presente investigación, son las siguientes:

Técnica → Observación

Instrumento → Ficha de recolección de datos

Instrumentos de recolección de datos

La información se recogió de acuerdo con los criterios de la investigación y para fines específicos, después de la planeación de esta (Calderón & Alzamora, 2019) a través de la revisión del informe de resultados del laboratorio, y contraste con artículos científicos, libros, blogs, tesis de pregrado y post grado, y demás información que cuente con respaldo experimental, en relación al tema, el instrumento de recolección de datos será la ficha de observación, la cual se muestra en el anexo 3.

Instrumentos de laboratorio

Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo, marca Thermoscientific, modelo Quattro S.

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una herramienta fundamental en numerosos campos de investigación diferentes, que abarcan todo, desde la ciencia de los materiales hasta la ciencia forense, la fabricación industrial e incluso las ciencias de la vida. Tan pronto como se necesita información microscópica sobre la superficie o la región cercana a

la superficie de una muestra, SEM se convierte en una herramienta necesaria. Los modelos de suelo SEM ofrecen la flexibilidad y versatilidad para satisfacer una amplia gama de necesidades académicas e industriales: soporte para muestras grandes y pesadas, una gama muy amplia de accesorios, excelente calidad de imagen para los materiales más desafiantes o los detalles más pequeños y experimentación dinámica. Thermo Fisher Scientific se dedica a producir SEM analíticos que se adaptan perfectamente a sus necesidades específicas, fáciles de usar, capaces de ofrecer una resolución y un contraste incomparable. (Thermo Fisher Scientific, s.f.)

Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

La espectroscopia FTIR es el método por el cual se estudia la absorción o emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y el material en estudio. La IR se basa en que las moléculas tienen la posibilidad de rotar y vibrar a distintas frecuencias (modos normales vibracionales). O sea que una molécula puede absorber la energía de fotones en el rango energético de IR en el caso en que exista una diferencia en el momento bipolar de la molécula mientras ocurre un movimiento vibracional rotacional y cuando la frecuencia asociada con la radiación resuena con el movimiento vibracional. (Piqué & Vásquez, 2012)

Espectroscopia UV Visible

Es una técnica de medición basada en la absorción de radiación UV y/o visible por parte de las moléculas que componen a una sustancia. Esta espectroscopia se trabaja en un intervalo de longitud de onda de 200 a 800 nm, brindando información de los estados energéticos, atómicos o moleculares, de la muestra de estudio. Springer Lab Manuals (1992, cómo se citó en Maldonado et al., 2018)

pHmetro de mesa

El pHmetro de mesa puede analizar muestras líquidas de forma rápida y precisa, mide parámetros como el pH, temperatura, redox conductividad, TDS, contenido de sal y resistencia, gracias a ello se puede comprobar la calidad de agua, lejía, bebida y demás elementos líquidos. (PCE, s.f.)

Balanzas de precisión, marca Sartorius

Las balanzas para laboratorio de Sartorius están equipadas para cumplir los más altos estándares de velocidad, confiabilidad y seguridad, por lo que son adecuadas para su uso en laboratorios, fabricación, control de calidad, ámbitos farmacéuticos, así como también investigación académica y otros usos profesionales. El diseño de nuestras balanzas tiene como objetivo brindar los mejores resultados de pesaje, y nos enfocamos en su integración en los flujos de trabajo del laboratorio para mejorar la eficiencia, confiabilidad y ergonomía de sus procesos. (Sartorius, s.f.)

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La data obtenida de los equipos de medición fue procesada en hojas de cálculo mediante software OPPUS, el análisis de la data es procesada mediante herramientas estadísticas con gráficos de correlación y ajuste mediante mínimos cuadrados, permite visualizar datos espectrales (espectros, interferogramas, etc.), así como otros datos guardados junto con el espectro, como informes con resultados de evaluación, parámetros de medición, Audit trail, firmas, etc. (Bruker, s.f.)

Todo proceso fue realizado en los laboratorios de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Facultad de ingeniería y el centro de energías renovables de la misma Universidad.

3.6. Materia prima, materiales, reactivos y equipos.

3.6.1. Materia prima

Para el desarrollo de la presente tesis se emplearon residuos de cáscaras de *Passiflora ligularis juss* (granadilla), un aproximado de 2 kg, obtenidos en un mercado local.

Figura 6

Passiflora ligularis juss (granadilla)



3.6.2. Materiales

- Vasos de precipitado de 500 y 100 ml.
- Bolsas de polietileno con autosellado “ziplock “
- Papel de filtro rápido
- Tubos de ensayo de polipropileno

3.6.3. Reactivos

- Hidróxido de sodio
- Ácido clorhídrico 37%
- Azul de metileno
- Agua destilada

Figura 7

Hidróxido de sodio

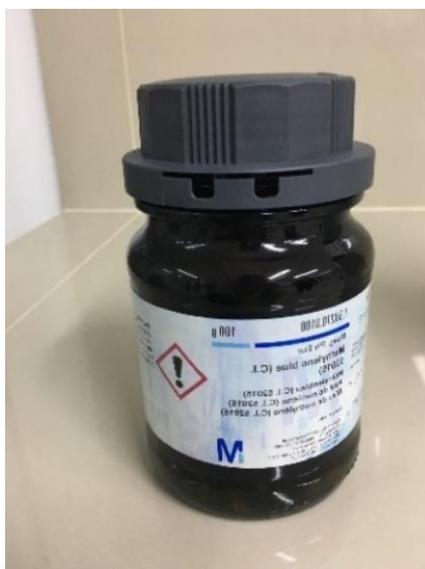
**Figura 8**

Ácido clorhídrico 37%



Figura 9

Azul de metileno



3.6.4. Equipos

- Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo (marca ThermoScientific, modelo Quattro S)
- Espectroscopio Infrarrojo por Transformada de Fourier marca Bruker modelo InvenioR.
- Espectroscopio Uv-visible, marca ThermoScientific
- Balanzas de precisión (marca Sartorius)
- Horno Binder modelo ED115
- pHmetro de mesa
- Agitador magnético (marca Kyntel)
- Computadora con Software OPUS (versión 8.5) para el trabajo sobre espectros FTIR
- Software ImageJ para la descripción morfológica de las fibras sobre las imágenes SEM

Figura 10

Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo



Figura 11

Espectroscopio infrarrojo por transformada de Fourier



Figura 12

Agitador magnético



3.7. Procedimientos

Figura 13

*Diagrama de flujo para la síntesis y caracterización de muestras de *Passiflora ligularis juss* (granadilla)*



3.7.1. Preparación de material adsorbente

La preparación de la cáscara de granadilla como material adsorbente para el estudio consta de las siguientes etapas:

- a. Limpieza:** Limpieza de las cáscaras con un paño.
- b. Lavado de la cáscara:** en esta etapa se lavaron las cáscaras con agua destilada para eliminar el exceso de tierra, impurezas y permanentes del fruto, los cuales debido a su acidez pueden cambiar el pH de la solución en estudio y modificar el proceso de adsorción del colorante.
- c. Secado de la cáscara:** una vez lavada, la cáscara se sometió a secado a 40°C por un tiempo estimado de 48 horas.
- d. Pulverización de la cáscara:** las cáscaras secas fueron molidas con un molino de grano hasta obtener partículas finas.
- e. Tamizado:** tamizadas con un colador esterilizado y seleccionadas para los ensayos posteriores.
- f. Reservar en desecador:** Posterior a la reserva en el desecador se almacena tubos de ensayo.

Preparación del adsorbato

Los polvos de las muestras se adhieren a una cinta con carbón y las micrografías y análisis de espectroscopia de rayos X de energía dispersiva, (EDS) se realizarán bajo vacío de Pa (Protactinio). Estas condiciones permitieron hacer las mediciones con microscopía electrónica de barrido (SEM) sin recubrir las muestras con un conductor. (Chávez et al., 2014)

Figura 14

Muestra pulverizada



Figura 15

Muestra de adsorbente en espectroscopia de infrarroja por transformado de Fourier



3.7.2. Estudio del adsorbente

El material adsorbente resultante del proceso de preparación ha sido caracterizado mediante espectroscopia infrarroja por transformado de Fourier (FTIR) usando un Espectrómetro FTIR de la marca Bruker modelo Invenio R. Los espectros fueron obtenidos con una resolución de 4 cm^{-1} (o centímetros recíprocos) en el rango de 400 a 4000 cm^{-1} y con un promedio de 100 lecturas acumulativas cada una.

La morfología del material adsorbente fue analizada mediante microscopia electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM), empleando un Microscopio de la marca ThermoScientific modelo Quattro S, equipado con un detector EDS ULTRADRY de la misma marca.

La concentración del colorante de las muestras tomadas en los distintos ensayos se analizó mediante espectroscopia UV-visible, empleando un espectrómetro UV-visible de la marca ThermoScientific modelo Evolution 220.

3.7.3. Estudio de la influencia de la cantidad de material

Para establecer la masa a utilizar en los estudios cinéticos, se realizó una prueba preliminar utilizando azul de metileno con una concentración de 10 mg/L , a temperatura ambiente. La masa de adsorbente varió de 50 a 1000 mg , y las muestras se agitaron en un vaso de precipitado de 100 ml . conteniendo 100 ml . de la solución colorante durante 4 h. La muestra utilizada para esta prueba fue cáscara de la granadilla previamente lavada, secada, tamizada y pulverizada, a pH de 7.

3.7.4. Estudios de la cinética de adsorción e influencia del pH

Con el fin de estudiar el efecto del pH sobre la cinética de adsorción, los pH de las soluciones de colorante se ajustaron a 3, 5, 7, 9 y 11, esto a una muestra por equivalente de pH, mediante la adición de

NaOH 0,1M o HCl 0,1M. A las soluciones, con una concentración inicial de 10 mg/L, se les agrego 0,5g (o 500mg.) de adsorbente a temperatura ambiente, y se sometió a agitación constante a una velocidad de 200 rpm durante 4h, para estudiar el proceso de adsorción del colorante, se tomaron alícuotas en distintos periodos de tiempo, cuyas concentraciones se midieron mediante espectroscopia UV-visible.

La cantidad de colorante adsorbido por el adsorbente se calculó aplicando la Ecuación 1

$$q = \frac{(C_o - C_e)}{m} V \quad (1)$$

Donde:

q es la cantidad de colorante adsorbido por el adsorbente (mg/g); C_o es la concentración inicial del colorante puesto en contacto con el adsorbente (mg/L), C_e son las concentraciones del colorante (mg/L) después del proceso de adsorción, m es la masa de adsorbente (g) y V es el volumen de colorante puesto en contacto con el adsorbente (L).

Uno de los principales parámetros de un proceso de adsorción es la velocidad del mismo y predecir la velocidad a la que tiene lugar la adsorción para un sistema dado es probablemente el factor más importante en el diseño del sistema de adsorción, por lo que un análisis de los datos cinéticos también es importante, ya que la cinética ayuda a predecir el mecanismo de sorción y las etapas de la velocidad de adsorción. En la presente tesis, se estudió la cinética del proceso de adsorción mediante el uso de modelos cinéticos de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden.

3.7.5. Ecuación cinética de Pseudo de Primer Orden

La ecuación cinética de pseudo primer orden fue propuesta por Lagergren y fue la primera ecuación cinética para la sorción del sistema líquido/sólido (LAGERGREN S., 1898) . Esta ecuación para el análisis de sorción se puede expresar de la siguiente manera:

Ecuación 2

donde q_t y q_e son la cantidad de colorante adsorbido en el tiempo t y en el equilibrio (mg/g) y k_1 (1/min) es la constante de velocidad de pseudo primer orden para el proceso de adsorción. Integrando y aplicando las condiciones de contorno $t= 0$ a $t = t$ y $q_t = 0$ a $q_t = q_t$, Ec. (2) se convierte en:

$$\log\left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right) = \frac{k_1}{2.303} t \quad (2)$$

La Ec. (3) se puede reorganizar para obtener una forma lineal:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t \quad (3)$$

3.7.6. Ecuación cinética de Pseudo-segundo orden

Este orden fue propuesta por Ho y se deriva sobre la base de la capacidad de sorción de la fase sólida (Ho & Mckay, 1998). La forma diferencial del modelo se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

donde q_t y q_e son la cantidad de tinte adsorbido en el tiempo t y en equilibrio (mg/g) y k_2 (g/(mg. min)) es la constante de velocidad de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción. Integrando y aplicando las condiciones de contorno $t = 0$ a $t = t$ y $q_t = 0$ a $q_t = q_t$, Ec. (5) se convierte en:

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (5)$$

La ecuación (6) se puede linealizar en al menos cinco formas diferentes, pero la empleada en la presente tesis es:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

Donde q_e es 1 dividido por la pendiente y k_2 es igual a la pendiente al cuadrado dividida entre la intersección.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados

Para determinar la capacidad de adsorción de la cáscara de granadilla se aplicó el método de espectroscopía FTIR, para visualizar la morfología del adsorbente, que es la cáscara de granadilla, en distintos rangos, se utilizó microscopia de barrido SEM y para estudiar el proceso de adsorción del colorante, se tomaron muestras concentradas en distintos periodos de tiempo, las cuales se midieron por espectroscopía UV-visible.

Se realizó ensayos con muestra de la cáscara de granadilla ya pulverizada a través de espectroscopía FTIR, se caracterizó el adsorbente, se procedió a observar los gráficos emitidos por el software y la interacción entre ondas y transmisión.

La composición y caracterización del adsorbente, cáscara de granadilla, fue caracterizada mediante Espectroscopía de rayos X de Dispersión de Energía (EDX), muestra la composición elemental de la cáscara de la granadilla, la variación de la masa del adsorbente sobre el porcentaje de remoción del colorante. Se observó que el porcentaje de remoción aumenta con la cantidad de adsorbente, esto se debe a la alta porosidad de la cáscara de granadilla, donde se visualizó a través de microscopia electrónica de barrido microfotografías de las distintas muestras en diferentes magnificaciones.

Para estudiar el proceso de adsorción del colorante, se tomaron muestras en distintos periodos de tiempo, cuyas concentraciones se midieron mediante espectroscopia UV-visible,

El estudio de la cinética de adsorción es muy importante en el tratamiento de efluentes acuosos, ya que proporciona información valiosa sobre el proceso y el mecanismo de las reacciones de adsorción. Para describir la adsorción del azul de metileno en la presente investigación, se ajustaron los dos modelos cinéticos

pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden, presentados en los puntos que se mostraran a continuación.

Tabla 4

Muestra de los resultados alcanzados

MUESTRAS	PESO DE MUESTRAS DE CÁSCARA DE GRANADILLA (PROCESADA)	pH	CONCENTRACIÓN DE COLORANTE AZUL DE METILENO	TIEMPO PROMEDIO DE PROCESO DE ADSORCIÓN (min)	TIEMPO DE AGITACIÓN (h)	RESULTADOS ALCANZADOS
M1	500 mg	3	10 mg/L	60	4	85%
M2	500 mg	5	10 mg/L	60	4	89%
M3	500 mg	7	10 mg/L	60	4	83%
M4	500 mg	9	10 mg/L	60	4	86%
M5	500 mg	11	10 mg/L	60	4	79%

Nota. Esta tabla trabajó las variables indirecta y directa para determinar el resultado óptimo, teniendo como datos constantes, la cantidad en peso de cáscara de granadilla a distintos pHs, la concentración de colorante, tiempo de 4 horas de agitación de las muestras, tiempo promedio de adsorción y los resultados alcanzados.

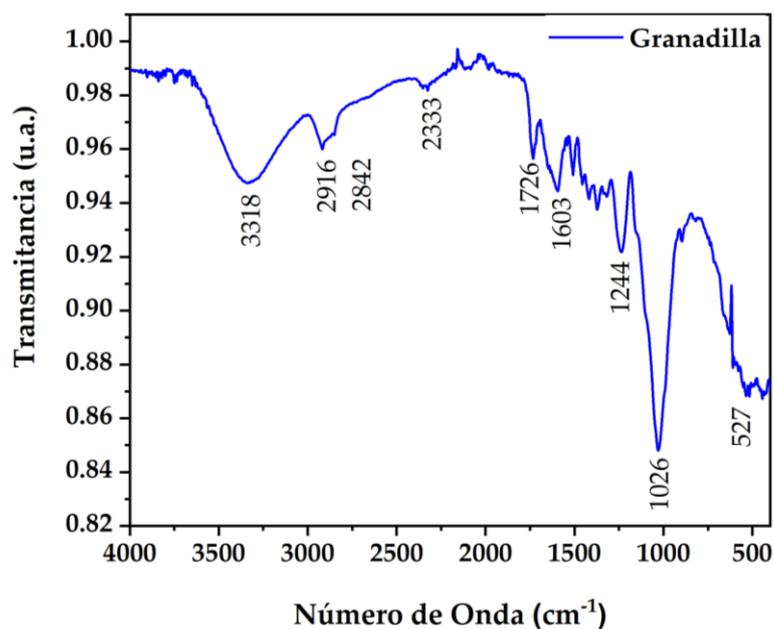
4.1.1. Caracterización del adsorbente mediante espectroscopía FTIR

Los datos generados que se muestran en la figura 16 corresponden al espectro del polvo de la cáscara de la granadilla. En el espectro se pueden apreciar los picos que se encuentran en 3318 cm^{-1} (centímetros recíprocos) que indica el estiramiento de grupos O-H, esto puede atribuirse al agua adsorbida. (Montalvo et al., 2020) Los picos localizados en 2842 cm^{-1} , y 2916 cm^{-1} indican la presencia del grupo CH. la banda ubicada 2333 cm^{-1} corresponde a vibraciones presentes en los grupos alquino $\text{C}\equiv\text{C}$. Así también se puede visualizar la presencia del grupo $\text{C}=\text{O}$ ácido, en los picos 1726 cm^{-1} , 1603 cm^{-1} y 1652 cm^{-1} , estos picos dan indicios de que existen grupos aromáticos o anillos de benceno en lignina (Gokce & Aktas,

2014). La muestra presenta también picos en 1126 cm^{-1} y 1244 cm^{-1} los cuales indican la presencia de C-O.

Figura 16

Espectro FTIR de la cáscara de granadilla pulverizada

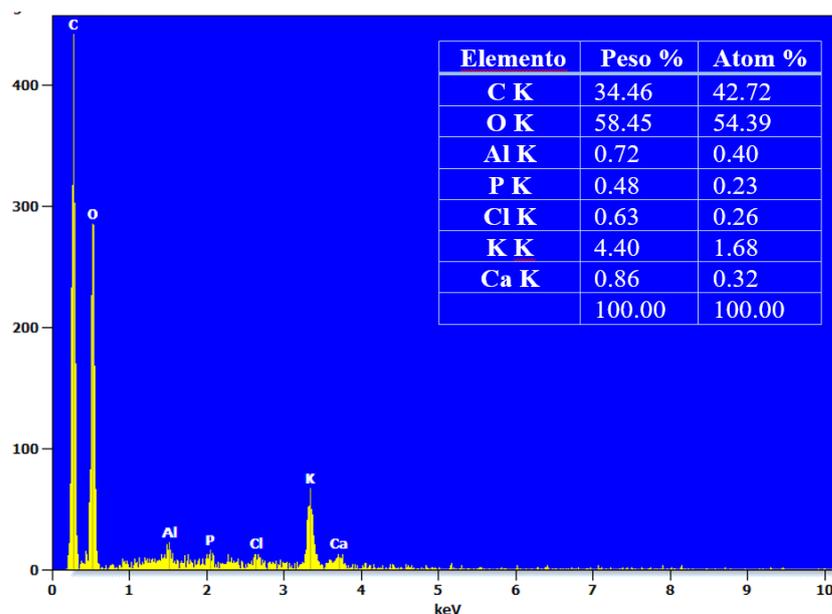


4.1.2. Caracterización del adsorbente mediante microscopía electrónica de barrido

La composición elemental de la cáscara de la granadilla fue caracterizada mediante Espectroscopía de rayos X de Dispersión de Energía (EDX), figura 17, muestra la composición elemental de la cáscara de la fruta de la granadilla en la cual se aprecia que la principal composición del material incluye, C y O con 34.46%, 58.45% y en menor cantidad el Al, P, Cl, K, y Ca, con 0.72%, 0.48%, 0.63%, 4.40% y 0.86% respectivamente, tal como se aprecia en la tabla insertada en la figura 17

Figura 17

Espectro detector EDS de la cáscara de granadilla



La morfología del adsorbente fue caracterizada mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM por sus siglas en inglés). En la figura 18 y 19 se puede apreciar que la granadilla presenta una morfología altamente porosa a distintas magnificaciones (381X y 503X), los tamaños del poro pueden variar entre ~ 400 nm hasta ~ 30 μm (Figura 23), esta amplia distribución de tamaño permite que el bioadsorbente pueda ser empleado no solo como adsorbente de colorantes sino como un filtro natural para otro tipo de actividades de remoción de contaminantes, con diversos tamaños de partícula.

De la misma manera las figuras 20, 21, 22 y 23, muestran también la morfología del adsorbente a distintas magnificaciones, 778X, 1500X, 2629X y 6202X respectivamente, en ella se puede apreciar que la muestra exhibe una morfología superficial similar a una estructura fibrosa porosa y arrugada, las cuales a su vez presentan distintas capas que permiten el

apilamiento entre ellas, asimismo se puede apreciar que entre capa y capa se presenta un espaciamento (Figura 23), lo cual aumenta el área superficial del adsorbente, esta última característica es de suma importancia puesto que al aumentar el área superficial, también aumenta el área de contacto entre el adsorbente y la solución que contiene el colorante lo que permitiría una mayor capacidad de adsorción del mismo y reduciría los tiempos de remoción del colorante.

Figura 18

Microfotografía de la cáscara de granadilla a 500 μm

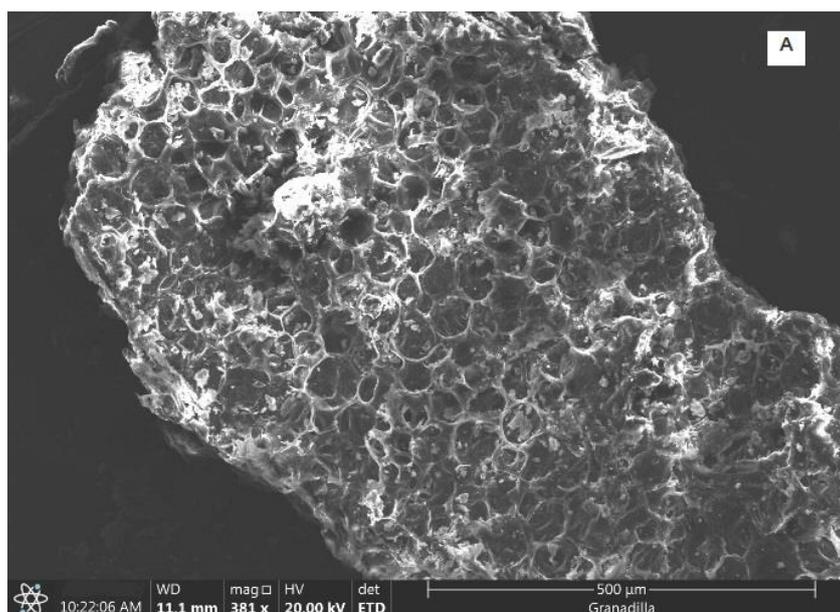
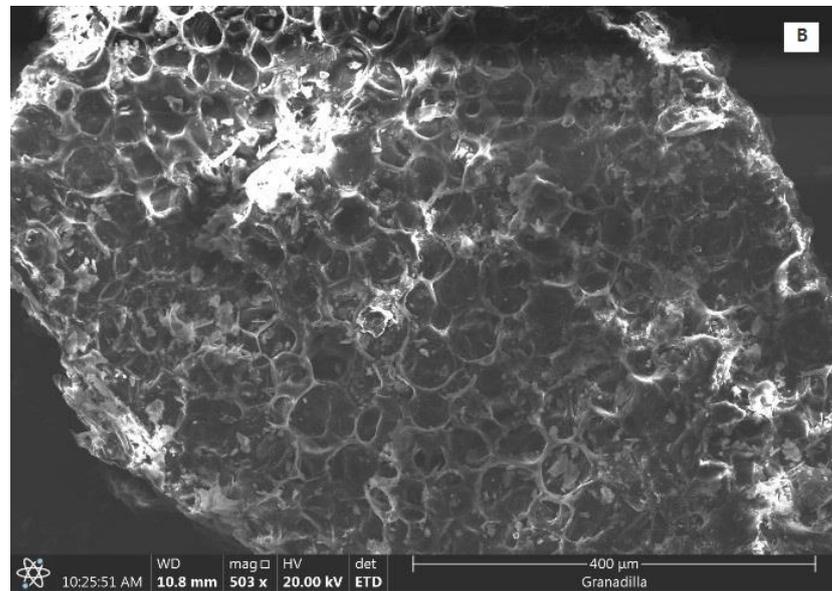


Figura 19

Microfotografía de la cáscara de granadilla a 400 μm

**Figura 20**

Microfotografía de la cáscara de granadilla a 200 μm

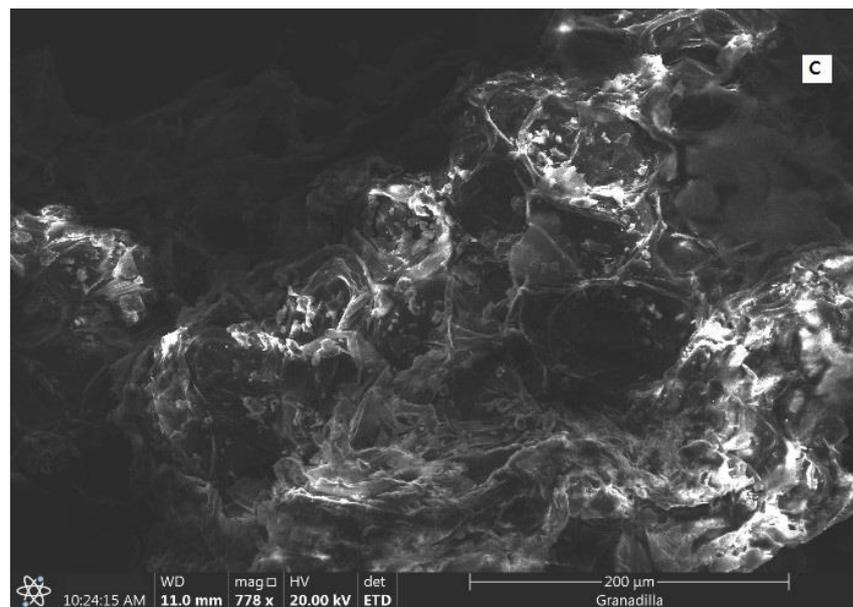
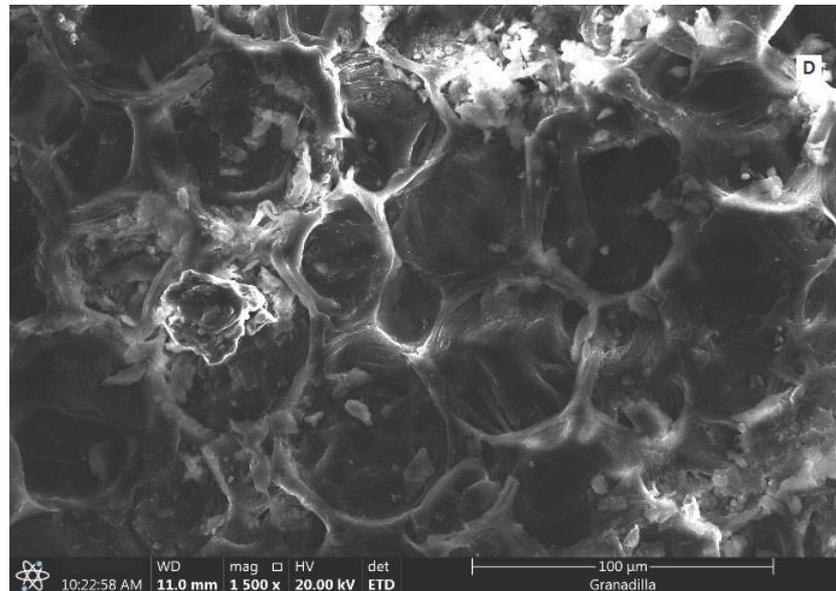


Figura 21

Microfotografía de la cáscara de granadilla a 100 μm

**Figura 22**

Microfotografía de la cáscara de granadilla a 50 μm

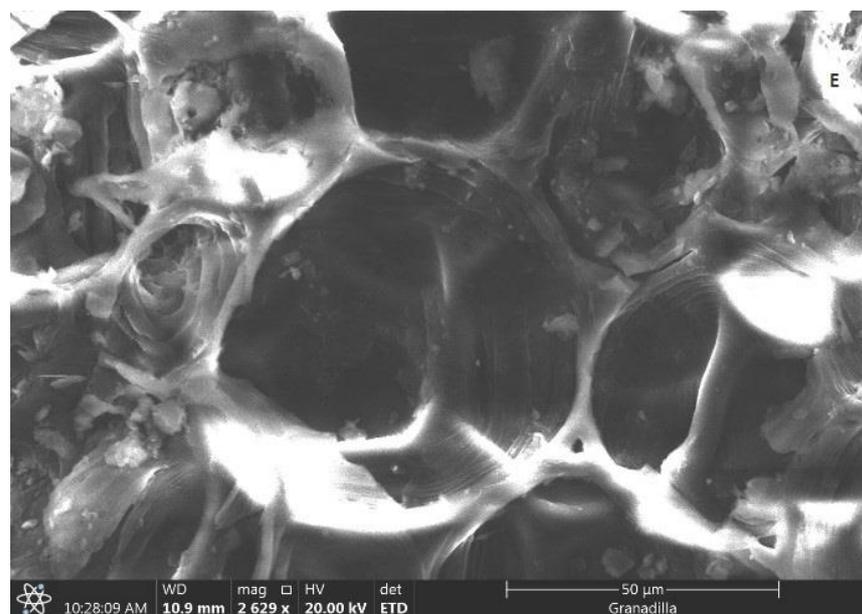
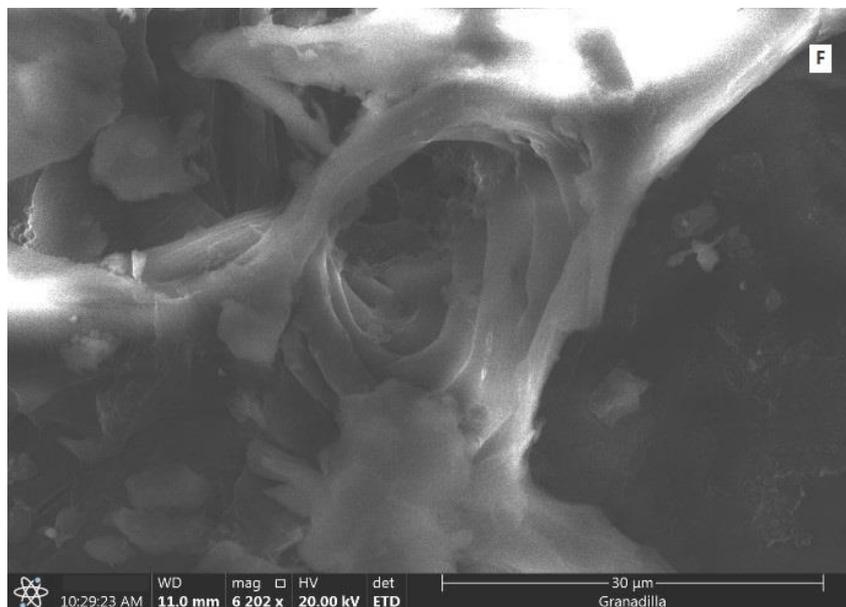


Figura 23

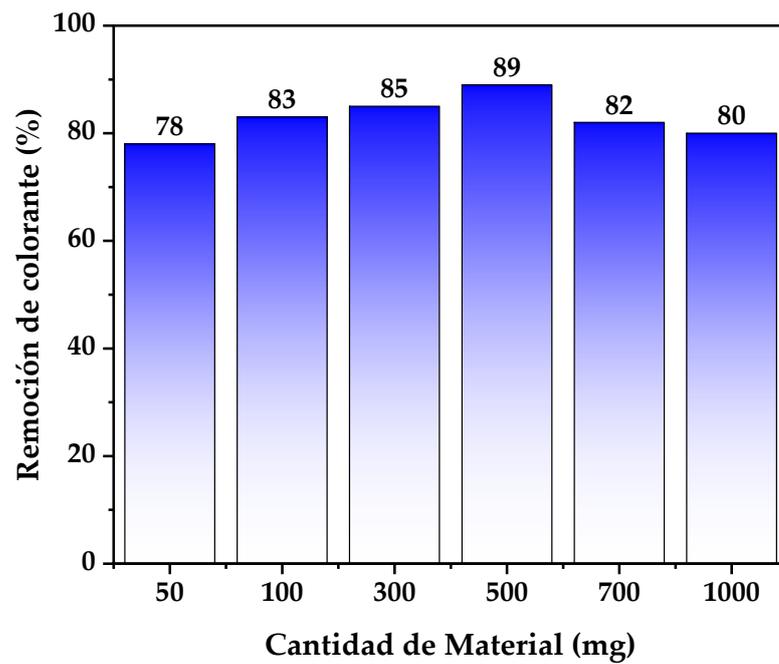
Microfotografía de la cáscara de granadilla a 30 μ m

**4.1.3. Estudio de la influencia de la cantidad de material**

En la figura 24 muestra el efecto de la variación de la masa del adsorbente sobre el porcentaje de remoción del colorante. Se observó que el porcentaje de remoción aumenta con la cantidad de adsorbente, esto debido a que a mayor cantidad de adsorbente se proporciona una mayor área de contacto del adsorbente con el colorante, aumentando el porcentaje de remoción. Pero esto únicamente sucede hasta alcanzar los 500 mg de material, dado que las cantidades superiores se empieza a formar aglomeraciones, lo que ocasiona una disminución del área de contacto del adsorbente con el colorante, lo que en consecuencia disminuye la eficiencia de remoción. De acuerdo con los resultados de estas pruebas preliminares, los experimentos cinéticos se utilizó una masa de aproximadamente 0,5 g de adsorbente para 100 ml de solución de colorante a una concentración de 10 mg/L.

Figura 24

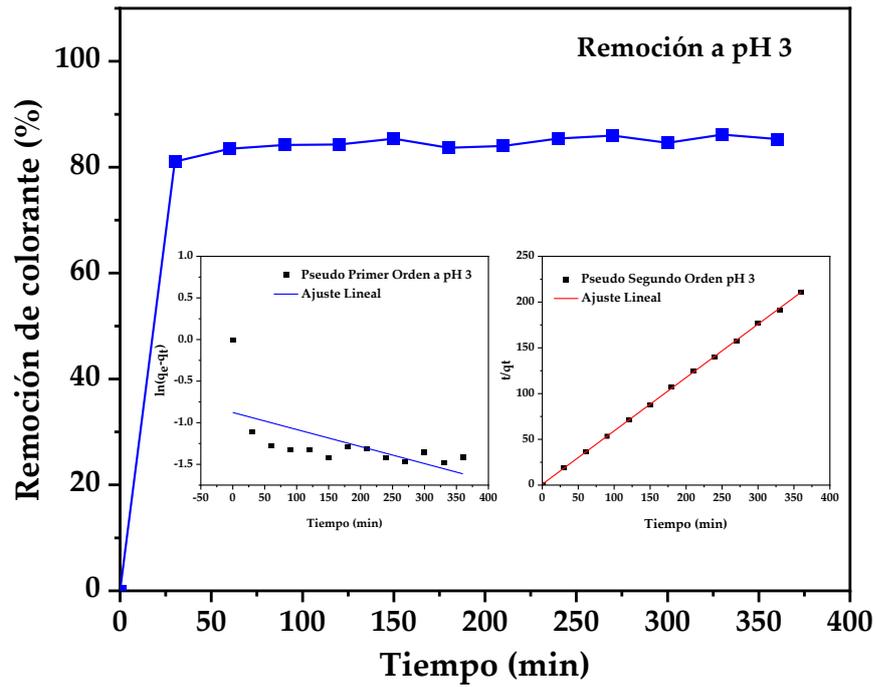
Efecto de la cantidad de material en la eficiencia de adsorción del azul de metileno.



4.1.4. Cinética de adsorción de colorantes: Eficiencia de la remoción de colorantes pHs

Figura 25

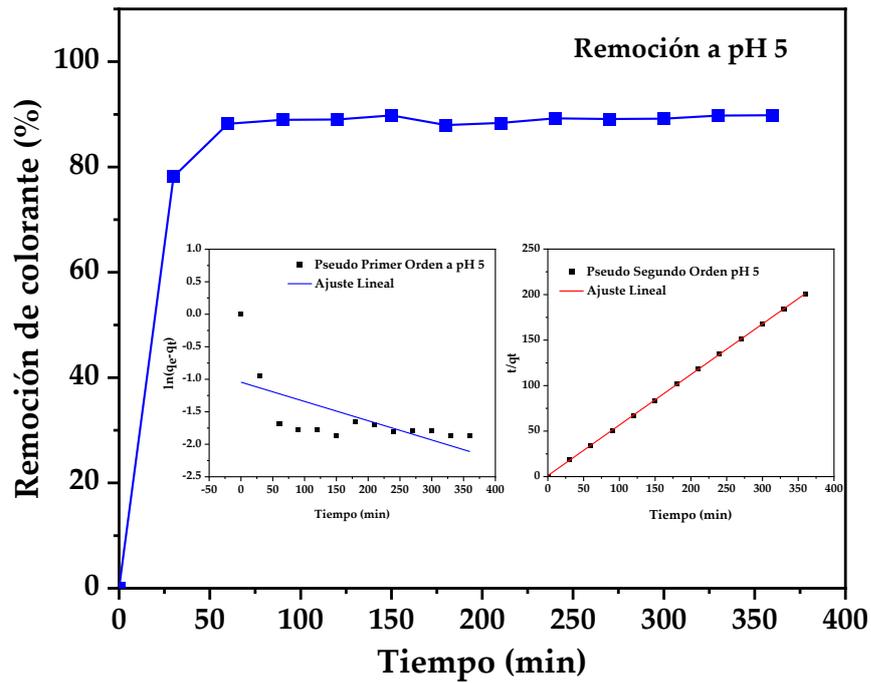
Eficiencia de la remoción del colorante pH 3, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)



Nota. En la figura 25 se muestra las cinéticas de adsorción de la cáscara de la granadilla a distintos pH.

Figura 26

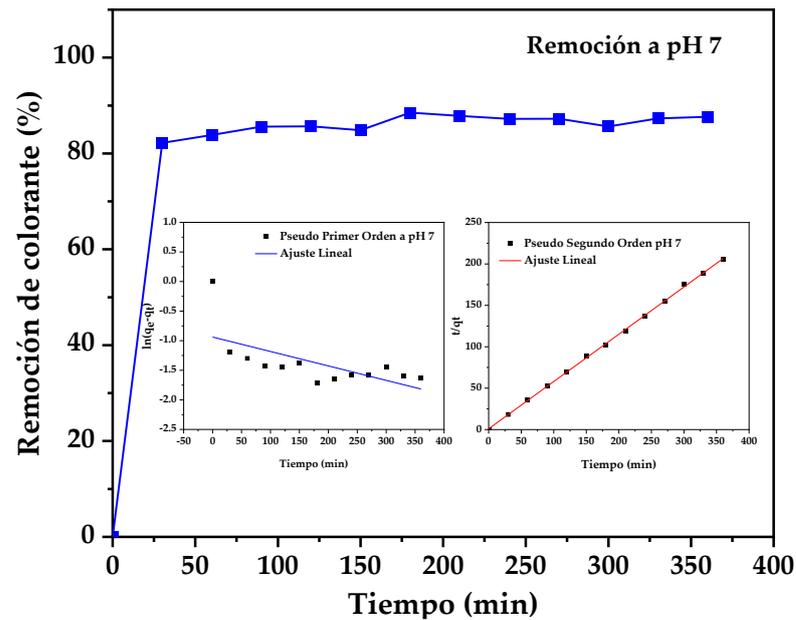
Eficiencia de la remoción del colorante a pH 5, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)



Nota. El grado de ionización, la carga superficial del adsorbente y la naturaleza de la solución del colorante son afectados por el pH. Por lo tanto, la influencia del pH de la solución en la eficiencia de la remoción del colorante se evaluó a distintos pH, tales como 3, 5, 7, 9 y 11, partiendo con una concentración de colorante de 10 mg/L.

Figura 27

Eficiencia de la remoción del colorante pH 7, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)

**Figura 28**

Eficiencia de la remoción del colorante pH 9, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)

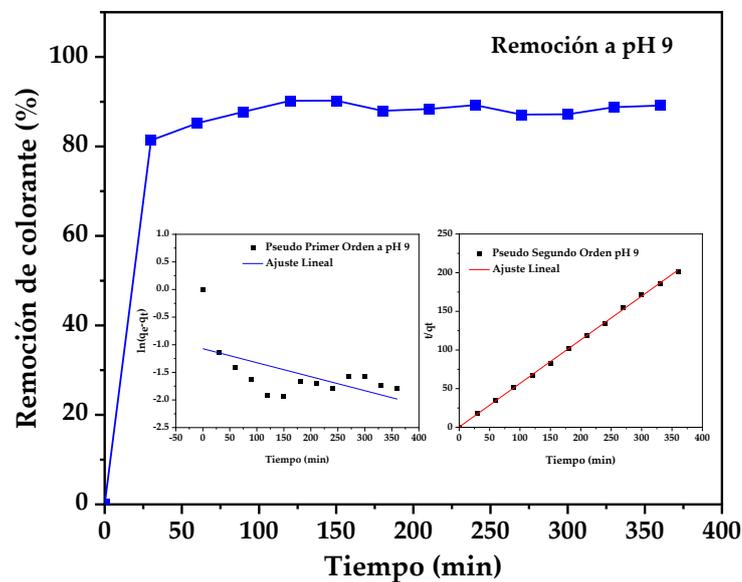
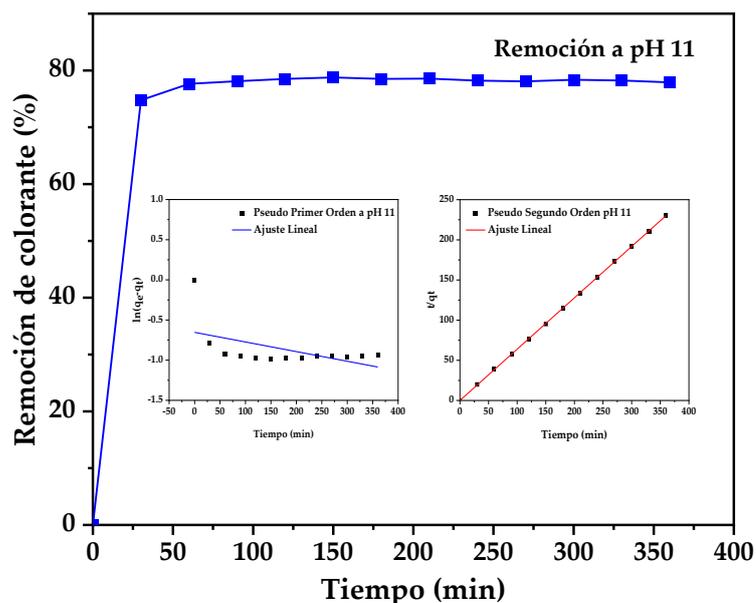


Figura 29

Eficiencia de la remoción del colorante pH 11, (imágenes insertadas en cada figura, a la izquierda ajuste pseudo primer orden, derecha, pseudo segundo orden)



Nota. En todas las figuras 25, 26, 27, 28 y 29 se aprecia que, para todos los casos, sin importar el pH, la mayor parte del proceso de adsorción se realiza en un periodo muy corto de tiempo, de alrededor de 60 minutos, por ejemplo, en pH ácidos esta alcanza una eficiencia de ~85% y ~90% a pH 3 y 5 respectivamente, mientras que este disminuye a ~83% a pH 7 y se incrementa ligeramente a pH 9 alcanzado una eficiencia de 86%, pero vuelve a bajar a pH 11 llegando al valor más bajo que es 79%.

4.1.5. Cinética de adsorción 2: Modelos evaluados

El estudio de la cinética de adsorción es muy importante en el tratamiento de efluentes acuosos, ya que proporciona información valiosa sobre el proceso y el mecanismo de las reacciones de adsorción. Los parámetros cinéticos de los modelos ajustados se presentaron en las tablas 3 y 4. Como

puede verse, los modelos de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden, se ajustaron correctamente.

De los dos modelos cinéticos evaluados, el modelo cinético de pseudo segundo orden cuenta con mejor ajuste en comparación con el modelo cinético pseudo primer orden, ya que presenta en la mayoría de los casos un valor de coeficientes de correlación $R^2 > 0.999.9$

Tabla 5

Parámetros de adsorción de pseudo primer orden

Pseudo Primer Orden			
Condición	Q_e (mg/g)	K₁ (10⁻⁶) (1/min)	R²
pH 3	0,41604161	5,69	0,32632
pH 5	0,35180438	8,25	0,3732
pH 7	0,39129247	6,78	0,3665
pH 9	0,34260058	7,06	0,28252
pH 11	0,52024262	3,33	0,21228

Nota. En este cuadro se muestra los parámetros obtenidos para el modelo cinético de adsorción pseudo primer orden del azul de metileno a distintos pHs.

Tabla 6***Parámetros de adsorción pseudo segundo orden***

Pseudo Segundo Orden			
Condición	Q_e (mg/g)	K₂ (g/mg.min)	R²
pH 3	1,7157073	0,344670484	0,99975
pH 5	1,79927309	0,292638278	0,99983
pH 7	1,7520192	0,337699174	0,99961
pH 9	1,77339552	0,745957707	0,99954
pH 11	1,56450452	0,679270092	0,99996

Nota. En este cuadro se muestra los parámetros obtenidos para el modelado cinético de adsorción pseudo segundo orden del azul de metileno a distintos pHs.

Este resultado sugiere que el proceso de adsorción fue la adsorción química.

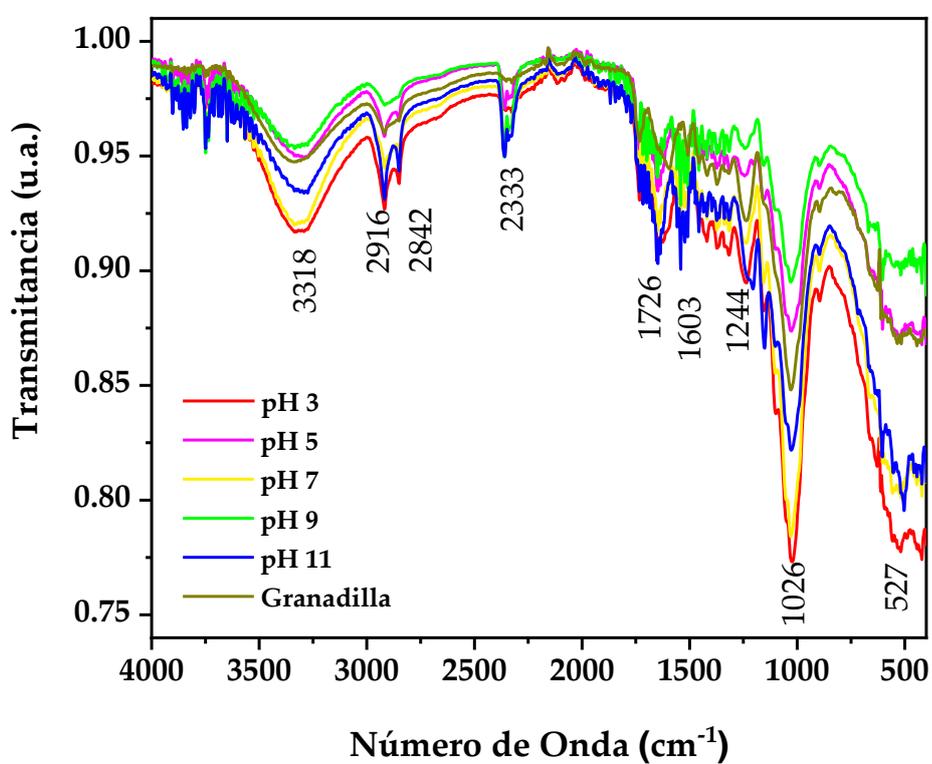
Con base en estos resultados cinéticos y en los resultados previamente descritos, existen varios argumentos para afirmar que el mecanismo de adsorción de azul de metileno en la cáscara de granadilla debe seguir un mecanismo de adsorción química, es decir, el biosorbente debe de formar enlaces con el colorante.

Los resultados mostrados en los espectros FTIR en la figura 30 tomados a la cáscara de granadilla, posterior a los ensayos de adsorción a distintos pH, indican que el proceso de adsorción se da en todo el rango de pH en estudio, puesto que todos los casos, los espectros presentan una mayor adsorción en las bandas más representativas comparadas con la muestra pulverizada, tales como las bandas de los grupos O-H en 3318 cm^{-1} , así como C-O en 1026 cm^{-1} , entre otras.

El incremento en la absorción de estas bandas corrobora lo descrito en la cinética de adsorción, puesto que esto representa la formación de enlaces entre el colorante y el adsorbente.

Figura 30

Espectro FTIR de la cáscara de granadilla pulverizada evaluada a distintos pHs



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La adsorción es un método que ha demostrado ser una alternativa sustentable para la remoción de colorantes en medios acuosos, en la presente investigación se propuso aplicar la cáscara de *Passiflora ligularis juss* (granadilla) como adsorbente del azul de metileno en soluciones acuosas. Los adsorbentes tienen forma esférica, pequeños gránulos cuyos tamaños comprenden de 0.1 mm a 12 mm, tienen una estructura muy porosa y fina, cuyo volumen alcanza hasta el 50 % total de la partícula (Fernández, 2011) por lo cual es necesario encontrar un fruto que cumpla con todas las características morfológicas y apropiadas para su respectiva caracterización. (Albis, et al., 2018)

Características morfológicas, que son reflejadas en la cáscara de granadilla, como la firmeza del fruto, fuerza requerida para lograr compresión, la punción o el corte de material al momento de procesarse. (Linares et al., 2013), características similares que coinciden con el trabajo de investigación de la cáscara de maracuyá amarilla, cuya familia frutal es la granadilla y sus características destacan por las mismas cualidades del fruto, sin embargo, la máxima capacidad de adsorción con cáscara de maracuyá fue de 0,0068 mmol g⁻¹, después de 50 h de tiempo de contacto a pH 9,0. (Pavan et al., 2008)

En diversos estudios sobre adsorbentes con residuos orgánicos utilizados para la remoción de contaminantes en recursos acuosos dan a concluir el impacto positivo que presentan, el resultado que presenta la cáscara de *Passiflora ligularis juss* (granadilla) es significativo y favorable y esto se debe a sus características morfológicas.

En concordancia con el trabajo de investigación de Álvarez et al., (2019), se evaluaron los parámetros de pHs, la concentración de colorante y tamaño de adsorbente, se añadió los reactivos hidróxido de sodio y Ácido clorhídrico en un proceso de agitación de 200 ppm y 150 rpm, donde, se obtuvo porcentajes

significativos y mostrando eficiencia de remoción 77% a un pH de 7,5 con quitosano Ch₁₀₂₀ y 81% a pH 8,0 con quitosano calcáreo ChCa₁₀₂₀ .

Al-Othman et al. (2012), en su trabajo de investigación, indican que la materia de carácter adsorbente se determinara por el tamaño de la partícula y la alta porosidad que contenga, así mismo la respiración y la maduración de la fruta climatérica influyen en la porosidad, ya que algunos frutos muestran que la maduración ocurre en ausencia de cualquier aumento en la respiración. (Bouzayen, et al., 2010).

La granadilla es un fruto que cumple con las características en mención, ya que es altamente poroso, cual crecimiento del fruto se presenta de manera acelerada durante los primeros 34 días, es un fruto aclimatado, es decir su producción puede desarrollarse en climas fríos y calientes. (Espinosa et al., 2015), en comparación con otro trabajo de investigación como es la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca), que es un tubérculo, usado como adsorbente, es una materia que demora entre los 6 o 7 meses en crecer, pero con el sol de los últimos meses los cultivos no han podido desarrollarse lo suficiente, es decir que crece en climas fríos. (López, 2015)

Entre demás materiales adsorbentes reportados en trabajos de investigación y artículos científicos con mejores porcentajes de remoción de color, se encuentran residuos como palma de aceite, viruta, aserrín, bambú, algas, hojas de pino, tallos de canola entre otros. (Cai, et al., 2009)

En el trabajo de investigación de Dawood & Sen, (2012), utilizo el mismo mecanismo de adsorción y la cinética de adsorción del colorante azul de metileno, se determinó los diversos factores de control físico-químicos sobre la tasa de adsorción y también sobre la capacidad del adsorbente utilizando espectroscopia infrarroja transformado de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM), los datos de equilibrio fueron mejor representados por los modelos de isoterma de adsorción de Langmuir y Freundlich, la constante de Freundlich indicó una adsorción favorable. La adsorción es una técnica muy usada debido a la

simplicidad de la disponibilidad del diseño, la capacidad para tratar los tintes más concentrados de otras técnicas y el bajo costo.

En conjunción con el desarrollo de las evaluaciones de equilibrio y cinética de adsorción del trabajo de investigación de Broche et al., (2022), donde, se hicieron diluciones volumétricas para los diferentes análisis, se realizó un barrido de exploración para escoger la longitud de onda de máxima de adsorción mediante espectroscopia UV-Vis, empleando espectrofotómetro y se agito las soluciones a rpm. El modelo cinético que mejor se ajusto fue de pseudo segundo orden representando una excelente adsorción de azul de metileno con residuo agroindustrial de sorgo, considerando los criterios de $R^2 = 0,999$, lo que indica que estos procesos están controlados por la adsorción química o quimisorción, al igual que el presente trabajo de residuos de cáscara de granadilla que presento el coeficiente $R^2 = 0,999$ y la ejecución de proceso fue por adsorción química.

En la investigación de Albis-Arrieta et al., (2018), existe una similitud en cuanto a la cantidad de adsorbente que se utilizó que fue de 500 mg., sin embargo, la máxima capacidad de adsorción de azul de metileno con cáscara de yuca fue de 24,88 mg/g, modificada a 50 °C por dos horas, añadido ácido oxálico/biomasa con un porcentaje de remoción de hasta 99,48% de remoción. El proceso de adsorción de azul de metileno con cáscara de yuca modificada puede describirse como un sistema de superficie heterogénea que implica fuertes interacciones químicas entre los grupos funcionales de la cáscara de yuca y el colorante.

Los resultados expuestos en el trabajo de tesis de Bermeo (2017), evidenciaron una correlación lineal óptima de $R=0.999$ a pH 8,83; y el coeficiente R^2 de la cáscara de granadilla es de 0,999 a pH 5. (Tabla 6). Los resultados del proceso mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción 97,95% para Demanda Química de Oxígeno y 99,20% para Color.

En coincidencia con el trabajo de investigación de Zevallos (2018), evaluó la capacidad de adsorción de los residuos orgánicos de *Gypsophila elegans* (ilusión) por espectrofotometría visible, el adsorbente interactuó durante un periodo de 60 y

90 minutos respectivamente, los mejores resultados de adsorción de azul de metileno fueron durante el periodo de 60 minutos con un porcentaje de adsorción óptimo, al igual que el proceso de cinética de adsorción de la cáscara de granadilla, cuyo tiempo estimado fue de 60 minutos. (ver figura 26). El proceso de remoción del colorante por ilusión generó buenos resultados para concentraciones bajas del contaminante, que fueron casi del 99 % de eficiencia, si se incrementa la concentración del colorante la eficiencia disminuye proporcionalmente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Los resultados del presente estudio demostraron que el proceso de caracterización y adsorción con cáscara de granadilla obtuvieron resultados óptimos en la cinética de adsorción del colorante azul de metileno en una solución acuosa.
- La cáscara de granadilla puede ser empleado como adsorbente alternativo para eliminar el azul de metileno u otros colorantes catiónicos de soluciones acuosas mediante proceso físico-químico al ser un residuo altamente poroso.
- El tiempo de adsorción estimado se vio a partir de los 60 minutos, con una duración de agitación de 4 horas, cuyo pH óptimo para la adsorción de azul de metileno fue pH 5, alcanzando la mayor eficiencia de remoción al 89%, en pH ácidos esta alcanza una eficiencia de ~85% y ~90% a pH 3 y 5 respectivamente, mientras que este disminuye a ~83% a pH 7 y se incrementa ligeramente a pH 9 alcanzado una eficiencia de 86%, y a pH 11 el valor baja a 79%, respaldando que existe una influencia del pH en la eficiencia de adsorción.
- Los indicadores del efecto de contacto del adsorbente sobre el colorante mostraron en el tiempo resultados favorables en los espectros FTIR tomados a la cáscara de granadilla (figura 30), en todos los casos, los ensayos de espectros de adsorción a distintos pH (3, 5, 7, 9, y 11), presentaron resultados de adsorción, una mayor adsorción en las bandas más representativas comparadas con la muestra pulverizada, tales como las bandas de los grupos O-H en 3318 cm⁻¹, así como C-O en 1026 cm⁻¹, entre otras. El incremento en la adsorción de estas bandas valida lo

señalado en la cinética de adsorción, al representar la formación de enlaces entre el colorante y el adsorbente.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar el proceso pulverizando de la cáscara de granadilla, con esto podríamos aumentar el área superficial del material y tendría una mayor adsorción sobre el pH.
- Se sugiere utilizar residuos orgánicos con mayor índice de porosidad, esto permite una mejor adsorción.
- Para el uso de laboratorio es importante tener en consideración los implementos de bioseguridad ya que se va estar expuesto al uso de sustancias químicas.
- Es recomendable aplicar este procedimiento en aguas residuales que contengan otros tipos de colorantes o contaminantes y evaluar la concentración del material orgánico.
- Es importante diversificar la implementación de técnicas sostenibles a gran escala, como es el caso de la adsorción, con residuos de cáscara de granadilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración de drogas y alimentos de los Estados Unidos (26 de julio del 2011). Comunicado de la FDA sobre la seguridad de los medicamentos. Recuperado del sitio web: <https://www.fda.gov/drugs/drug-safety-and-availability/fda-drug-safety->
- Agencia de agraria de noticias (23 de octubre del 2012). Producción nacional de granadilla y maracuyá incrementó más de 30%. Recuperado del sitio web: [https://agraria.pe/noticias/produccion-nacional-de-granadilla-y-maracuya - incremento-mas--3587](https://agraria.pe/noticias/produccion-nacional-de-granadilla-y-maracuya-incremento-mas--3587)
- Aguilar, M. B. & Flores, C. P. (2016). Evaluación de la cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) como material adsorbente natural de ion metálico Cu (ii). (Tesis de Pregrado). Universidad nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería química. Arequipa, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7105/IQagsamb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (28 de julio de 2010). El derecho al agua y al saneamiento. Recuperado del sitio web: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml#:~:text=El%2028%20de%20julio%20de,de%20todos%20los%20derechos%20humanos.
- Ahmad, A.L., Loh, M.M., Aziz, J.A. (2007). Preparación y caracterización de carbón activado a partir de madera de palma aceitera y su evaluación sobre la adsorción de azul de metileno. *Revista: Dyes and Pigments*. 75(2), 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.05.034>
- Aksu, Z. (2005). Aplicación de la biosorción para la eliminación de contaminantes orgánicos: una revisión. *Revista: Proceso Biochem*, 40(3-4), 997-1026. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.04.008>

- Albis-Arrieta, A., Llanos-Reales, H., Galeano-Gil, J., & García, D. (2018). Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada químicamente con ácido oxálico. *Revista ION*, 31(2), 99-110. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n2-2018007>
- Alfayate, J. M., González, M. N., Orozco, C., Pérez, A. R. & Vidal, F. J. (2004). Contaminación ambiental. Una visión desde la química: una visión desde la química. Ediciones Paraninfo, S.A. pp. 13. https://books.google.es/books?id=nUoOx8knyUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Ali, I. (2012). Adsorbentes de nueva generación para el tratamiento del agua. *Revista: Chem Rev*, 112(10), 5073-5091. <https://doi.org/10.1021/cr300133d>
- Ali, I. (2014). Tratamiento de agua por columnas de adsorción: evaluación a nivel del suelo, revisiones de separación y purificación. *Revista: Separation & Purification Reviews*. 43(3), 175-205. DOI: 10.1080 / 15422119.2012.748671
- Ali, I., & Gupta, V. K. (2007). Avances en el tratamiento del agua mediante tecnología de adsorción. *Revista: Nature Protocols*, 1(6), 2661-2667. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.370>
- Alméciga, A. & Muñoz, M. (2013). pH, Historia de un concepto , análisis en textos de edición superior. (Tesis de Maestría) Universidad Pedagógica Nacional, Facultad de ciencias y tecnología, Departamento de química. Bogota, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/297/T-O-16386.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Al-Othman, Z. A, Ali, R. y Naushad, M. (2012) Eliminación de cromo hexavalente del medio acuoso mediante carbón activado preparado a partir de cáscara de maní: cinética de adsorción, equilibrio y estudios termodinámicos. *Revista de ingeniería química*, 184, 238-247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.048>
- Álvarez B. J., Castro, O. N. y Tinoco G. O. (2019). Adsorción de azul de metileno con biopolímeros (quitosano calcáreo y quitosano) obtenidos de las cabezas

de langostinos a nivel piloto. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 20(3), 90-104. Recuperado de: reviberpol.org/2019/04/01/adsorción-de-azul-de-metileno-con-biopolimeros-quitosano-calcareo-y-quitosano-obtenidos-de-las-cabezas-de-langostinos-a-nivel-piloto/

Anaya, K. (2018). Actividad fotocatalítica de una heteroestructura de $TiO_2/SnO_2:F$ /Sustrato en una solución de azul de metileno. (Tesis de Pregrado), Universidad Tecnológica de la Mixteca, Facultad de Ingeniería química, México. Recuperado de: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11519.pdf

Andaluz, C. (2013). Manual de derecho ambiental. Editorial Iustitia, pag. 48-53.

Andina, (20 de julio del 2020). Granadilla: el superalimento que ayuda a combatir el insomnio, ansiedad y otros males. Recuperado del sitio web: <https://andina.pe/agencia/noticia-granadilla-superalimento-ayuda-combatir-insomnio-ansiedad>

Aouad, R.I., Valiente M, Gutiérrez-Bouzán, C., Vilaseca M., Yaacoubi A., Tanouti, B. y López-Mesas, M. (2015). Relevancia de la evaluación de la toxicidad en el tratamiento de aguas residuales: estudio de caso: cuatro procesos de Fenton aplicados a la mineralización del rojo ácido Cl_{14} . *Revista: Journal of Analytical Methods in Chemistry*. ID 945489. <https://doi.org/10.1155/2015/945489>

Asociación Regional de Explotadores de Lambayeque (2011). Perfil comercial Granadilla. <https://es.scribd.com/document/421979386/Perfil-Comercial-de-Granadilla#>

Arango, A. y Garcés, L. F. (2009). Remoción del colorante azoico amaranto de soluciones acuosas mediante electrocoagulación. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(2), pp. 31-38. 1794-4449. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5764358>

Auriol, M., Filali-Meknassi, Y., & Tyagi, R. (2006). Eliminación de compuestos disruptores endocrinos de las aguas residuales, un nuevo desafío. *Process Biochemistry*. 41(3), 525-539. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.09.017>.

- Balcha, A., Yadav, O., & Dey, T. (2016). Degradación fotocatalítica de colorante azul de metileno por nanopartículas de óxido de zinc obtenidas a partir de métodos de precipitación y sol-gel. *Revista: Environ Sci Pollut Res*, 23, 25485–25493. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-016-7750-6>
- Banco Interamericano de Desarrollo (2010). Informe de Sostenibilidad del BID. Editora, Natasha Ward. <https://www.iadb.org> Rvdo.
- Barazorda, K. R., & Lima, E. (2019). Evaluación de la capacidad de adsorción de oro con carbón activado obtenido a partir de la cáscara de castaña. (Tesis de Posgrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ingeniería de Procesos. Cusco, Perú. Recuperado de: https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4484/253T20190486_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barreto, H. L. (2016). Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad. (Tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingeniería. Trujillo, Perú. Repositorio Institucional de la UCV <https://hdl.handle.net/20.500.12692/6627>
- Bautista, L. (2011). Degradacion de colorantes (Azul de Metileno) por métodos electroquimicos. (Tesis de Pregrado), Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Química, Veracruz, México. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14568801/degradacion-de-colorantes-azul-de-metileno-por-metodo-/19>
- Bermeo, M. (2017). Remoción eficiente de colorante refractario azul MNO reactivo en combinación con vinil sulfónico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción. (Tesis de Doctorado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica, Lima, Perú. Repositorio Institucional de la UNMSM <https://hdl.handle.net/20.500.12672/6368>

- Bonilla, E., Hurtado, J. & Jaramillo, C. (2019). La investigación: Aproximaciones a la construcción del conocimiento científico. (pp.87- 134). Bogotá: Alfaomega.
- Bouzayan, M., Latché, A., Nath, P. & Pech, J. (2010). Biología del desarrollo vegetal - Perspectivas biotecnológicas. Mecanismo de maduración de la fruta, 16(3), 364-365. DOI:10.1007/978-3-642-02301-9_16
- Broche-Galindo, M.H., Rodríguez-Rico, I. L., Pérez, M. M. & Prieto-García, J. (2022). Equilibrio y modelos cinéticos en la adsorción de azul de metileno sobre residuos agroindustriales. *Tecnología Química*, 42 (3), 420-434. Epub 15 de octubre de 2022. Recuperado el 8 de diciembre de 2022, de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000300420&lng=es&tlng=es.
- Bruker (s.f.). Software de espectroscopia ft-ir opus. Recuperado del sitio web: <https://www.bruker.com/es/products-and-solutions/infrared-and-raman/opus-spectroscopy-software/downloads.html>
- Cai, J., Cui, L., Wang, Y., & Lui, C. (2009). Efecto de los grupos funcionales sobre los lodos para la biosorción de colorantes reactivos. *Revista: Journal of Environmental Sciences*, 21(4), 34-53. DOI.10.1016 / s1001-0742 (08) 62304-9
- Calderón, J., & Alzamora, L. (2019). Diseños de investigación para tesis de posgrado. *Revista Peruana de Psicología y Trabajo Social*, 7(2), 71-76. DOI: <https://doi.org/10.32544/psicologia.v7i2.660>.
- Canals, C., (2012). Adsorbentes preparados a partir de residuos y su aplicación en la eliminación de compuestos de olores (NH_3 y $H_2 S$). (Tesis de Doctorado) Universidad de Girona, Programa de Doctorado de ciencias experimentales y sostenibles. Girona, España. <http://hdl.handle.net/10803/101206>
- Caselatto, A., Ferrari Ferreira, J., Tambourgi, E., Morales, R., & Silveira, E. (2011). Biodegradation of textile azo dyes by *Shewanella putrefaciens* (CCT 1967). *Revista: Chemical Engineering Transactions*, 24, 871–876. <https://www.semanticscholar.org/paper/Biodegradation-of-Textile-Azo-Dyes-by-Shewanella-Caselatto>

- Chávez, F., Rodríguez, I. & Petranovskii, V. (2014). Caracterización por SEM, EDS y micro-Raman de la influencia de la relación molar $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2 \text{O}_3$ y temperatura de reducción sobre el sistema CuZSM_5 . *Revista Mexicana de Física*, 60(5), 340–349. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v60n5/v60n5a2.pdf>
- Cedillo, C., Rosales, L., & Constantino, F. (2001). Linfquistosis en peces tetra fantasía (*Parambassis baculis*) de la ciudad de México. *Revista veterinaria México*, 32(1), 73-76. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42332111>
- Chang, J. S., Chen, B. Y., & Lin, Y. S. (2004). Estimulación de la decoloración bacteriana de un colorante azo por metabolitos extracelulares de la cepa NO_3^- de *Escherichia coli*. *Revista: Bioresource Technology*, 91(3), 243–248. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00196-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00196-2)
- Chong, M., Jin, B., Chow, C., & Saint, C. (2010). Desarrollos recientes en la tecnología fotocatalítica de tratamiento de agua: una revisión. *Revista: Water Research*, 44(10), 2997-3027. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.039>
- Cole, J. (5 de junio del 2019). El teñido de tejidos: el mayor problema de contaminación de la industria de la moda. *Revista: Vogue*. Recuperado de sitio web de Vogue España: <https://www.vogue.es/moda/articulos/tintes-toxicos-ropa-problemas-contaminacion-industria-moda>
- Cortázar, A., Coronel, C., Escalante, A. y González, C. (2009). Contaminación generada de la industria textil. *Vida científica, Boletín científico de la escuela preparatoria No. 4*, 2(3). Recuperado por: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/1862>
- Cova, V. (2018). Físico-química biológica. Unidad 5: Soluciones acuosas. p. 6. Universidad Nacional del litoral, dirección de articulación, ingreso y permanencia. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/medicina/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/Quimica_05.pdf

- Cruz, G., Canepa, C., y Aguirre, D., (2013). Producción y caracterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales. *Revista Manglar, de la Universidad Nacional de Tumbes*, 10(2), 17-25. DOI: 10.17268/manglar
- Cui, L., Liu, C., & Wu, G. (2008). Rendimiento y mecanismo de la biosorción de azul de metileno sobre piel de naranja. *Revista: Environmental Technology*, 29(9), 1021–1030. <https://doi.org/10.1080/00207210802166872>
- Dawood, S., & Sen, T. K. (2012). Eliminación del colorante aniónico rojo Congo de la solución acuosa mediante pino crudo y polvo de piña tratada con ácido como adsorbente: equilibrio, termodinámica, cinética, mecanismo y diseño del proceso. *Revista: Water Research*, 46(6), 1933–1946. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.01.009>
- De Costa, P. D.; Furmanski, L. M. & Dominguini, L. (2015). Producción, caracterización y aplicación de carbón activado de cáscara de nuez para la adsorción de azul de metileno. *Revista: Virtual Química*, 7 (4), 1272-1285. <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/871/585>
- De la Torre, S. (1975). *Manual básico de la microtecnia biológica*. Editorial pueblo y educación 1985, 1, p. 193 La Habana, Cuba.
- Deng, H. (2011). Adsorción de azul de metileno en materiales adsorbentes producidos a partir de tallos de algodón. *Revista: Chemical engineering journal*, 172(1), 326-334 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.013>
- Dhawan, K., Dhawan, S., & Sharma, A. (2004). *Passiflora* : una actualización de revisión. *Revista: Journal of ethnopharmacology*, 94(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.02.023>
- Diccionario Oxford-Complutense Química. (2003). Acuosa. Editorial: Complutense, S.A.editorial. Recuperado de https://books.google.es/books?id=VmdvQfFbq9UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=oneandaluze&q&f=false
- Diccionario Oxford-Complutense Química. (2003). Agua destilada. Editorial: Complutense, S.A.editorial. Recuperado de

https://books.google.es/books?id=VmdvQfFbq9UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Domínguez-Martínez, Leyanis, Pérez-Villar, Maira María, Zorrilla-Velazco, Margie, González-Roche, Yaribey Mayusca, & Pedrozo-Anoceto, Francisco. (2019). Evaluación de la remoción de colorantes mediante humedales subsuperficiales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 108-119. Recuperado en 25 de abril de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100108&lng=pt&tlng=es.
- El-Ashtoukhy, S. Z. (2009). Loofa egyptiaca como un adsorbente novedoso para la eliminación de colorante azul directo de una solución acuosa. *Revista: Journal of Environmental Management*, 90(8), 2755-2761. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.03.005>
- Escudero, E. (7 de mayo del 2020). Colorantes naturales e inocuos. Recuperado del sitio web Thefoodtech.com: <https://thefoodtech.com/industria-alimentaria-hoy/colorantes-naturales-e-inocuos/>
- Espinosa, D. S., Perez, W., Hernández, M. S., Melgarejo, L.M., Miranda, D., Fischer, & Fernández, J. P. (2015). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de granadilla (*Passiflora ligularis juss*). 3, pp 111. Recuperado de: <https://uneditorial.net/uflip/granadilla-caracterizacion-ecofisiologica/pubData/source/Granadilla.pdf>
- Esteban, N. (2018). Tipos de Investigación, Editorial: Universidad Santo Domingo de Guzmán, P.3. Recuperado de: <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>
- Fernandez, F. (2011). Análisis de los sistemas de refrigeración solar por adsorción. (Proyecto de fin de carrera). Escuela técnica superior de Ingenieros Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Energética, Grupo de Termodinámica y Energías Renovables. Sevilla , España. Recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4986/fichero/indice.pdf>
- Foo, K., & Hameed, B. (2009). Utilización de residuos de biodiesel como recurso renovable para carbón activado: aplicación a problemas ambientales.

- Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2495–2504.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.009>
- Franco, O., Tobar, R., Quijano, R. & Gonzáles, A., (2008). Caracterización preliminar de frutas de granada china (*Passiflora ligularis Juss*) en Hueyapan y Teziutlán, Puebla. *Revista: Ciencia Ergo Sum*, 15(1), 54-60.
Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10415106>
- Fuentes Moyado, S., & Diaz Guerrero, G. (1988). Catalizadores: ¿La piedra filosofal del siglo XX? . Editorial Fondo de cultura económica, Coleccion: La ciencia para todos. 59, 150-160. México.
- Garduño, C. (2019). Remoción del colorante Azul de Metileno empleando residuos de té verde. (Tesis de Pregrado) Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de planeación urbana y regional. Toluca, Estado de México. Recuperado de : <http://hdl.handle.net/20.500.11799/104539>
- Garg, V., Amita, M., Kumar, R., & Gupta, R. (2004). Eliminación de tinte básico (azul de metileno) de aguas residuales simuladas mediante adsorción con aserrín de palisandro indio: un residuo de la industria maderera. *Revista: Dyes and Pigments*, 63(3), 243-250.
<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.03.005>
- Garzón, R. (2009). Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por hongos y bacterias. (Tesis de Pregrado) Pontificia Universidad Javeriana. Colombia. Recuperado del repositorio <http://hdl.handle.net/10554/8222>. Pág. 10-11
- Gil, M. (28 de agosto de 2019). Azul de metileno: características, preparación, usos. Sitio web:<http://www.lifeder.com/azul-de-metileno/>
- Gokce, Y. y Aktas, Z. (2014). Modificación con ácido nítrico del carbón activado producido a partir de residuos de té y adsorción de azul de metileno y fenol. *Revista: Ciencia de superficies aplicadas*, 313, 352–359.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.05.214>
- Gulay, B., Nezaket, A., Gozde, E., Meltem, Y., & Yakup, A. (2017). Eliminación de tintes textiles de solución acuosa utilizando biomasa vegetal modificada

- con amina de *A. caricum*: estudios de equilibrio y cinética. *Revista: Water, Air, & Soil Pollution*, 224-1604 <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1640-z>
- Gupta, V., Suhas, A. I., & Saini, V. (2004). Eliminación de rodamina B, verde rápido y azul de metileno de las aguas residuales mediante el uso de lodo rojo, un residuo de la industria del aluminio. *Revista: Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43(7), 1740-1747. <https://doi.org/10.1021/ie034218>
- Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Aplicación de adsorbentes de bajo costo para la eliminación de tintes: una revisión. *Revista: Journal of Environmental Management*, 90(8) 2313–2342. DOI: 10.1016 / j.jenvman.2008.11.017
- Han, F., Subba, V., Srinivasan, M., Rajaratham, D., & Naidu, R. (2009). Fotocatalizadores de dióxido de titanio a medida para la degradación de colorantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales: una revisión. *Revista: Applied Catalysis A: General*, 359(1-2), 25-40. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.02.043>
- Han, R., Wang, Y., Han, P., Shi, J., Yang, J., & Lu, Y. (2006). Eliminación de azul de metileno de la solución acuosa por paja en modo discontinuo. *Revista: Journal of Hazardous Materials*, 137(1), 550–557. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.029>
- Han , R., Zou , W., Yu , W., Cheng, S., Wang, Y., & Shi, J. (2007). Biosorción de azul de metileno a partir de una solución acuosa por las hojas caídas del árbol fénix. *Revista: Journal of Hazardous Materials*, 141(1) , 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.107>
- Hao O.J., Kim H. y Chang P.C., (2000). Decoloración de aguas residuales. *Revista: Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30(4), 449-505. DOI: 10.1080 / 10643380091184237
- Hernandez, R., Fernandez, C. & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. 5ta Edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana, p.32. ISBN 978-607-15-0291-9
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México:

- Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Hesse, M., Meier, H. & Zeeh, B. (2005). Métodos espectroscópicos en Química Orgánica. 2ª edición, Editorial Síntesis 2005, Madrid, España, pp 135-144 ISBN: 84-7738-522-X.
- Ho, Y. S. y McKay, G. (1998). Absorción de tinte de solución acuosa por turba. *Revista de Ingeniería química*, 70 (2), 115-124. [https://doi.org/10.1016/S0923-0467\(98\)000761](https://doi.org/10.1016/S0923-0467(98)000761)
- Houas, A., Lachheb, H., Ksibi, M. Elalouia, E., Guillard., C. and Herrmann, J. (2001). Vía de degradación fotocatalítica del azul de metileno en agua. *Revista: Applied Catalysis B: Environmental*, 31(2), 145-147. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(00\)00276-9](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(00)00276-9)
- Iannacone, J. & Alvariño, L. (2007). Ecotoxicidad acuática de dos colorantes y de tres Antiparasitarios de importancia en acuicultura. *Revista: Ecología aplicada*, 6(12), 1,2. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v6n1-2/a12v6n1-2.pdf>
- Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Aguas residuales, el recurso desaprovechado (2017). Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los recursos hídricos. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Janos, P., Buchtova, H., & Ryznarova, M. (2003). Sorción de tintes de soluciones acuosas en cenizas volantes. *Revista: Water Research*, 37(20), 4938–4944. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.08.011>
- Janoš, P., Coskun, S., Pilařová , V. & Rejnek, J. (2009). Eliminación de tintes básicos (azul de metileno) y ácidos (naranja Egacid) de las aguas por sorción en virutas de madera tratadas químicamente. *Revista: Bioresource Technology*, 100(3), 1450-1453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.069>
- Jin, X., Liu, G., Xu, Z., & Tao, W. (2007). Decoloración de un efluente de la industria de tintes por *Aspergillus fumigatus* XC6. *Revista: Appl.*

- Microbiol. Biotechnol.*, 74, 239–243. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0658-1>
- Johnson, T., Jain, N., Joshi, H., & Prasad, S. (2008). Residuos agrícolas y de procesamiento agrícola como adsorbentes de bajo costo para la eliminación de metales de las aguas residuales: una revisión. *Revista: J Sci Ind Res*, 67(9), 647–658. Recuperado de : <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/1862>
- Jonstrup, M., Kumar, N., Murto, M., & Mattiasson, B. (2011). Tratamiento secuencial anaeróbico-aeróbico de colorantes azoicos: decoloración y degradabilidad de aminas. *Revista: Desalination*, 280(1-3), 339-346. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.022>
- Jung, K. W., Choi, B. H., Hwang, M. J., Jeong, T. U., & Ahn, K. H. (2016). Fabricación de carbones activados granulares derivados de posos de café gastados por atrapamiento en perlas de alginato de calcio para la adsorción de naranja ácido 7 y azul de metileno. *Revista: Bioresource Technology*, 219, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.098>
- Kuch, H., & Ballschmiter, K. (2001). Determinación de compuestos fenólicos y estrógenos disruptores endocrinos en agua de superficie y potable por HRGC– (NCI) –MS en el rango de picogramo por litro. *Revista: Enviromental Scincie Technology*, 35(15), 3201–3206. <https://doi.org/10.1021/es010034m>
- Lagergren S. (1898). Zur theorie der sogenannten adsorption geloster stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar.* (Vol. 24). <https://www.sid.ir/en/journal/viewpaper.aspx?id=263167>
- Linares, L., Castillo, B. & Londoño, M. (2013). Caracterización de propiedades mecánicas del fruto de la granadilla (*Passiflora ligularis juss.*). *Agronomía Colombiana*. 31(2): pp. 208-214.
- Martínez, C. (11 de mayo de 2020). Balanza de precisión: características, funciones, partes, usos. Sitio web: <https://www.lifeder.com/balanza-de-precision/>

- Maldonado, J., Casaña, R., Martínez, I. & San Martín, E. (2018). La espectroscopia UV-Vis en la evaluación de la viabilidad de células de cáncer de mama. Instituto Politécnico Nacional. *Revista: Latin-American Journal of Physics Education*, ISSN-e 1870-9095, Vol. 12, Nº. 2, 2018.
- Meena, A.K., Mishra, G.K., Rai, P.K., Rajagopal, C., & Nagar, P.N. (2005). Eliminación de iones de metales pesados de soluciones acuosas utilizando aerogel de carbono como adsorbente. *Revista: Journal of Hazardous Materials*, 122(1-2):161-170. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.03.024.
- Meshko V., Marrkovska L, Mincheva M, Rodrigues A.E. (2001). Adsorción de tintes básicos sobre carbón activado granular y zeolita natural. *Revista: Water Research*. 35(14), 3357-3366. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00056-2)
- Mohammed, H. J., Kadhim, B. J. & Mohammed, A. S., (2011) Estudio de adsorción de algunos colorantes azoicos sulfanílicos en carbón vegetal. *Revista Journal of Chemistry*, 8, p.7. Recuperado de: <https://doi.org/10.1155/2011/487287>
- Mohd, S., Mohamad, A., Dalia, K. M., Wan, A. Wan, A. K. & Azni, I. (2011). Adsorción de colorantes catiónicos y aniónicos por desechos sólidos agrícolas: una revisión completa. *Revista: Desalination*, 280(1-3), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.019>
- Moeller G, Alatorre F. (2006). Influencia De Las características hidráulicas y geometrías De Biofiltros Empacados Sobre La Eliminación De Un Colorante Azo. XV Congreso Nacional de Ingeniería sanitaria y ciencias ambientales.
- Mondragón, P. (2017). Espectroscopia de infrarrojo para todos ... y 51 espectros de alimentos consumidos en México. Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del Estado de Jalisco, A. C., Unidad de Tecnología Alimentaria, Jalisco, México. Recuperado de: https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf

- Momenzade, H., Tehrani-Baghab, A.R., Khosravia, A., Gharanjigc, K. and Holmbergd, K. (2011). Eliminación reactiva de tinte de las aguas residuales mediante una nano dispersión de quitosano. *Revista: Desalination*, 271(1–3), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.036>
- Montalvo Andia, J., Larrea, A., Salcedo, J., Reyes, J., Lopez, L., & Yokoyama, L. (2020). Síntesis y caracterización de carbón activado químicamente de *Passiflora ligularis*, *Inga feuillei* y plantas nativas de américa del sur. *Revista de Ingeniería Química Ambiental*, 8 (4), 103892. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103892>
- Mukhlis, M.Z.B., Khan, M.R., Bhoumick, M.C. & Sumona, P. (2012). Polvo de hoja de papaya (*Carica papaya l.*): nuevo adsorbente para eliminar el azul de metileno de una solución acuosa. *Revista: Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 4949–4958. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1249-7>
- Navarro, D., Cruz, G., Rimaycuna, J., Solis, J., Keiski, R., y Gómez, G. (2016). Adsorción de azul de metileno en medio acuoso empleando carbones activados y carbones activados modificados con nanopartículas de ZnO. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 61-71. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810
- Noria Latín América (2014). Espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier. Obtenido del sitio web: <https://noria.mx/lublearn/espectrometria-infrarroja-por-transformadas-de-fourier/>
- Noroozi, B., Sorial, G., Bahrami, H. and Arami, M. (2007). Estudio de equilibrio y adsorción cinética de un tinte catiónico por un adsorbente natural: crisálida de gusano de seda *Revista: Journal of Hazardous Materials*, 139(1-2), 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.021>
- Oladoja, N. A., Aboluwoye, C. O., Oladimeji, Y. B., Ashogbon, A.O. & Otemuyiwa, I.O. (2008). Estudios sobre la cáscara de ricino como sorbente en la remediación de aguas residuales contaminadas con colorantes básicos.

Revista: *Desalination*, 227(1–3), 190-203.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.06.025>

Organismo de evaluación y fiscalización ambiental – OEFA (2014). Recuperado de:
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Organización Mundial de la Salud (14 de junio de 2019). Agua. Recuperado de:
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water2019>

Osorio, E. R. (2018), Determinación del potencial de remoción de azul de metileno en solución acuosa de hueso de palta y carbón de hueso de palta. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento químico y ambiental. Valparaíso, Chile. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/11673/42591>

Pavan, F.A., Mazzocato, A.C. & Gushiken, Y. (2008). Eliminación de colorante azul de metileno de soluciones acuosas por adsorción utilizando cáscara de maracuyá amarilla como adsorbente. *Revista: Bioresource Technology*. 99(8) 3162-3165. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.067>

Palomino, M. y F. Restrepo. (1991). Síntomas de deficiencias nutricionales en el cultivo de la Granadilla (*Passiflora ligularis Juss*). Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Pce Instruments (s.f.). pHmetro de mesa. Recuperado del sitio web: <http://www.pce-instruments.com>

Pinedo, A. V. (2016). Preparación y caracterización de un material compuesto a base de carbón activado y armazones metal orgánicos aplicados en la adsorción de dimetilamina. (Tesis de Magister). Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Posgrado. Lima, Perú. Recuperado de:
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6934/PI_NEDO_ANGELA_PREPARACION_CARACTERIZACION_MATERIAL_COMPUESTO_BASE_CARBON.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Piqué, T. M. & Vázquez, A. (2012). Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 3(2), 62-71. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007
- Piña, S. (2018). Decoloración biológica del colorante azul directo 2 en un filtro anaerobio/aerobio. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Maestría, Instituto de Ingeniería, México México. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1732/pi%C3%B1amondragon.pdf?sequence=1>
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R. and Ahmad, A. (2010). Adsorción de azul de metileno en adsorbentes de bajo costo: una revisión. *Revista: Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>
- Rangel, S. (04 de octubre del 2019). Espectrómetro vs. Espectrofotómetro: ¿Cuál es la diferencia?. Recuperado del sitio web: <https://xritemx.com/espectrometro-vs-espectrofotometro-cual-es-la-diferencia/>
- Real Academia Española (s.f.). Agua. Diccionario panhispánico de dudas. Recuperado de: <https://www.rae.es/dpd/agua>
- Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (2011) Elaborado por: Dirección general de salud ambiental del Ministerio de Salud, Recuperado de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf
- Richardson, S.D. & Ternes, T. (2011). Análisis del agua: contaminantes emergentes y problemas actuales. *Revista: Analigy Chemsty*, 83 (12), 4614-4648 <https://doi.org/10.1021/ac200915r>

- Rivera, B., Miranda, D., Ávila, L., Nieto, A. (2002). Manejo integral del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis juss*). Manizales: Editorial Litoas. p. 126.
- Robinson, T., Chandram, B. & Nigam, P. (2002). Eliminación de colorantes de un efluente de colorante textil sintético mediante biosorción en orujo de manzana y paja de trigo. *Revista: Water Reserch*, 36(11), 2824-2830. DOI: 10.1016/s0043-1354(01)00521-8
- Roca, A. A., (2019). Estudio comparativo del poder biosorbente de la cáscara de naranja y hojas de neem para la remoción de colorantes en soluciones acuosas. (Tesis de Pregrado) Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias químicas, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/40865/1/BCIEQ-T>
- Rojas, D. J. y Sánchez K. L. (2020). Capacidad de adsorción de un material compuesto a base de bentonita y óxido de grafeno para remover arsénico en agua contaminada. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería química e Industrias alimentarias. Lambayeque, Perú. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8443>
- Rojas, I. R. (2011). Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Revista: Tiempo de Educar*, 12, 277-297. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/311/31121089006.pdf>
- Sánchez, I. J, Parrales, M. A., Toala, L. M. y Orlando, S. R., (2018). Contaminación del río Jipijapa y sus efectos hacia el turismo del cantón Jipijapa, Ecuador. *Revista Brasileira de ecoturismo (RBEcotur)*, 12(4), 2588 – 0659. DOI: <https://doi.org/10.34024/rbecotur.2019.v12.6702>
- Sartorius (s.f.). Sartorius. Soluciones para todos sus pesajes necesarios. Recuperado del sitio web: <https://www.sartorius.com/en/products-es/weighing-es>

- Sawyer, C. N., McCarty, P. L. and Parkin, G. F. (2001). Química para la ingeniería y la ciencia ambientales, 4 Ed. Estados Unidos: McGraw Hill. P. 58.
- Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M., (2011) Equilibrio, cinética y mecanismo de eliminación del azul de metileno de la solución acuosa por adsorción en la biomasa de piña de *Pinus radiata*. *Revista: Water, Air, & Soil Pollution*, 218, 499–515. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0663-y>
- Schiewer, S., & Volensky, B. (1995). Modelado del intercambio iónico protón-metal en biosorción. *Revista: Enviromental science & technology*, 3049-3058. <https://doi.org/10.1021/es00012a024>
- Sivaraj, R., Namasivayam, C. & Kadirvelu, K. (2001). Cáscara de naranja como adsorbente en la eliminación de violeta ácido 17 (colorante ácido) de soluciones acuosas. *Revista: Waste Management*, 21(1), 105-106. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00076-3)
- Smith, J. (1986). Ingeniería de la Cinetica Química, 6ta ed. Compañía Editorial Continental: McGraw Hill. Recuperado de: https://www.academia.edu/31609531/Ingenieria_de_la_cinetica_quimica_J_M_SMITH
- Suárez, D. & Villegas, D. (2019). Evaluación de la adsorción del carbón del mesocarpio del cacao (*Theobroma cacao l.*) modificado por ultrasonido. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 216-230. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810634X2019000200009&lng=es&tlng=es.
- Suárez, I. E. (2018). Influencia de la concentración en la solución acida de activación y del tiempo de calcinación en la propiedad textural de adsorción de carbón activado preparado con cáscara de coco. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. Recuperado de: <https://industrial.unmsm.edu.pe/UPG/archivos/TESIS2019/DOCTORADO/tesis41.pdf>

- Tangjuank, S., Insuk, N., Tontrakoon, J., & Udeye, V. (2009). Adsorción de iones de plomo (II) y cadmio (II) a partir de soluciones acuosas mediante adsorción en carbón activado preparado a partir de cáscaras de anacardo. *Revista: World Academy of Science, Engineering and Technology*, 52, 110-116. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.973.1515&rep=rep1&type=pdf>
- Thermo Fisher (s.f.). Microscopios electrónicos de barrido. Microscopios electrónicos de barrido para una amplia gama de necesidades de análisis de superficies. Recuperado del sitio web: <https://www.thermofisher.com/pe/en/home/electronmicroscopy/products/scanning-electron-microscopes.html>
- Unimedios (2014): Universidad Nacional de Colombia, Agencia de Noticias UNAL, Cascarilla de arroz para remover colorantes 2014. Recuperado del sitio web: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/cascarilla-de-arroz-para-remover-colorantes.html>.
- Universidad Politécnica de Valencia (2020). Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo. Recuperado del sitio web: <http://www.upv.es/entidades/SME/info/859071normalc.html>
- Vadivelan, V. & Kumar, K.V. (2005). Equilibrio, cinética, mecanismo y diseño del proceso para la sorción de azul de metileno en la cáscara de arroz. *Revista: Journal of Colloid and Interface Science*, 286(1), 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.01.007>
- Valladares-Cisneros, M. G., Valerio, C., De la Cruz, P. y Melgoza, R. M. (2016). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55-73. DOI:10.22395/riuv16n31a3.
- Vasco, C., Ruales, J. and Kamal-Eldin, A. (2008). Compuestos fenólicos totales y capacidades antioxidantes de las principales frutas de Ecuador. *Revista:*

Food Chemistry, 111, 816-823.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>

- Vargas, M., Cabañas, D., Gamboa, M. y 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. *Revista: Ingeniería* 13-3 (2009) 39-43
- Vigil, D. M. (2018). La planificación presupuestaria y su influencia en el mantenimiento de activos fijos de la Municipalidad Provincial de Tacna, periodo 2016. (Tesis de Pregrado). Universidad Privada de Tacna, Facultad de Ciencias empresariales, Tacna, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/621/1/Vigil-Davalos-Milagros.pdf>
- Vilaseca, M. (2015). Eliminación del color de las aguas residuales procedentes de la tintura con colorantes reactivos. (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de ingeniería textil y papelera. Catalunya, España. <http://hdl.handle.net/10803/317959>
- Vilaseca, M., López, V., Gutiérrez, C., & Crespi, M. (2015). Métodos de eliminación del color en efluentes de tintura. Laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental del Instituto de Investigación Textil (INTEXTER)., 1-10. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28332/Vilaseca,+Merc%E8.+M%E9todos+de+eliminaci%F3n+del+color+en+efluentes+de+tintura+textil.pdf;jsessionid=E26C3966531634702BE103D887087C6C?sequence=3>
- Villamizar de Borrero, F., Gutiérrez, C. y Pulido, A. (1992). La Granadilla, su caracterización física y comportamiento postcosecha. *Ingeniería e Investigación*. (28), 14-23. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n28.20787>
- Villanueva, A. (2017). Estudio de la remoción de cromo hexavalente presente en solución acuosa empleando la biomasa de la *Musa paradisiaca* como

biosorbente. (Tesis de Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación urbana y regional. México, México. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/67625>

Wang, L., & Yan, G. (2011). Eliminación por adsorción de tinte amarillo 161 directo de una solución acuosa utilizando carbón de bambú activado con diferentes productos químicos. *Revista: Desalination*, 274(1-3), 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.01.082>

Zevallos, C. A. (2018). Obtención de carbón activado a partir de residuos orgánicos de *Gypsophila elegans* (Ilusión) del Distrito de Cayma y su evaluación como adsorbente de plomo (II) en solución acuosa. (Tesis de Maestría) Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de ciencias naturales y formales. Arequipa, Perú. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/26029615-8f76-411c-bf56-b6785122e759/content>

Zuorro, A., Lavecchia, R., Medici, F. and Piga, L. (2013). Hojas de té gastadas como posible adsorbente de bajo costo para la eliminación de colorantes azoicos de las aguas residuales. *Revista: Chemical Engineering Transactions*. 32, 2013. <https://doi.org/10.3303/CET1332004>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Matriz de Consistencia

**CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE *Passiflora ligularis juss* (granadilla) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN
COMO ADSORBENTE DEL AZUL DE METILENO EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA, AÑO 202**

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Es aplicable la caracterización de la cáscara de granadilla como proceso de adsorción del azul de metileno en una solución acuosa?	Caracterizar la cáscara de granadilla y evaluar su proceso como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa.	La cáscara de granadilla es potencialmente aplicable como adsorbente de azul de metileno en una solución acuosa.	VI: Cáscaras de <i>Passiflora ligularis juss</i> (granadilla)	Cantidad de cáscaras de granadilla. pH Concentración de colorante.	Ficha de recolección de datos Software OPUS pHmetro de mesa Espectroscopio infrarojo por transformada de Fourier Microscopio electrónico de Barrido Espectroscopio UV Agitador magnético Balanza
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS			
¿Será posible emplear cáscara de granadilla mediante procesos físico-químicos como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa?	Emplear cáscara de granadilla mediante procesos físico-químicos para aplicarla como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa.	El proceso físico-químico de la cáscara de granadilla es aplicable como adsorbente de azul de metileno en una solución acuosa.	VD: Adsorción del colorante azul de metileno en una solución acuosa.	Eficiencia de adsorción del colorante azul de metileno en una solución acuosa. Tiempo promedio de adsorción. Cantidad de remoción.	
¿Cuánto tiempo toma el proceso de la cáscara de granadilla como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa?	Evaluar el tiempo del proceso de adsorción del colorante azul de metileno al interactuar con la fase sólida en la solución acuosa hasta alcanzar el equilibrio.	El proceso de adsorción de azul de metileno alcanza el equilibrio al interactuar en una solución acuosa.			
¿Cuál es la curva de efecto en el tiempo de la cáscara de granadilla como adsorbente del azul de metileno en una solución acuosa?	Determinar la curva de efecto en el tiempo de contacto sobre la adsorción del colorante en solución acuosa.	La curva de efecto en el tiempo de adsorción del azul de metileno en una solución acuosa tiene un resultado óptimo.			

ANEXO 2: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRUEBA PRELIMINAR DE LA CANTIDAD DE CÁSCARA DE GRANADILLA

										
CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE <i>Passiflora ligularis juss</i> (granadilla) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN COMO ADSORBENTE DEL AZUL DE METILENO EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA, AÑO 2022										
MUESTREO REALIZADO POR:		Luisa Monserrat Condori Mamani								
LUGAR:		Laboratorio de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman								
INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE MATERIAL	MATERIALES	EQUIPOS	MUESTRA	CANTIDAD DE CÁSCARA (mg)	pH	CONCENTRACIÓN DE COLORANTE	TIEMPO DE AGITACIÓN (h)	TIEMPO PROMEDIO DE PROCESO DE ADSORCIÓN (min)	EFICIENCIA DE RESULTADO	OBSERVACIONES
	· Vasos de precipitado 500 y 100 ml.	· Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo	M1	50	7	10 mg/L	4	60	78%	La carga superficial del adsorbente y solución del colorante son afectados por el pH.
	· Bolsas de polietileno, papel de filtro rápido	· Espectroscopio Infrarrojo por Transformada de Fourier	M2	100	7	10 mg/L	4	60	80%	La carga superficial del adsorbente aun se ve afectad por el pH.
	· Tubos de ensayo de polipropileno	· Espectroscopio Uv-visible	M3	300	7	10 mg/L	4	60	85%	Ocasiona un pequeño aumento del área de contacto del adsorbente con el colorante.
	· Ácido clorhídrico 37%	· Balanzas de precisión	M4	500	7	10 mg/L	4	60	83%	Se evidencia que el porcentaje de remoción es bajo de adsorbente.
	· Hidróxido de sodio	· Horno Binder	M5	700	7	10 mg/L	4	60	82%	Formacion de aglomeraciones de la cáscara de granadilla.
	· Agua destilada y azul de metileno	· Agitador magnético	M6	1000	7	10 mg/L	4	60	80%	Se sigue evidenciando deformacion con aglomeraciones de la cáscara de granadilla.

ANEXO 4

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante (Experto): José Antonio Tiburcio Moreno
- 1.2. Grado Académico: Dr. en Ciencias en la especialidad de física aplicada
- 1.3. Profesión: Licenciado en Física
- 1.4. Institución donde labora: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
- 1.5. Cargo que desempeña: Docente Investigador
- 1.6. Denominación del Instrumento: Ficha de recolección de datos
- 1.7. Autor del Instrumento: Luisa Monserrat Condori Mamani

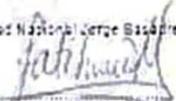
II. VARIACIÓN:

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS Sobre los ítems de instrumento	MUY MALO	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
		1	2	3	4	5
1. CLARIDAD	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión				X	
2. OBJETIVIDAD	Están expresado en conductas observables, medibles					X
3. CONSISTENCIA	Existe una organización lógica en los contenidos y relación con la teoría					X
4. COHERENCIA	Existe relación de los contenidos con los indicadores de la variable					X
5. PERTINENCIA	Las categorías de respuestas y sus valores son apropiados				X	
6. SUFICIENCIA	Son suficiente la cantidad y calidad de ítems presentados en el instrumento					X
SUMATORIA PARCIAL						
SUMATORIA TOTAL						

III. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

- 3.1. Valoración total cuantitativa:
- 3.2. Opinión: FAVORABLE DEBE MEJORAR NO FAVORABLE
- 3.3. Observaciones:

Firma


 Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
 Dr. JOSÉ ANTONIO TIBURCIO MORENO
 Investigador Principal

ANEXO 5**DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIZACIÓN**

Yo, Luisa Monserrat Condori Mamani, identificada con DNI 47792022, de la Facultad de Ingeniería ambiental de la Universidad Latinoamericana CIMA declaro bajo juramento, autorizar en merito a la Resolución Nacional Directivo N° 033-2016-SUNEDO/CD del reglamento de registro Nacional de Trabajos de investigación para optar Grados Académicos y Títulos profesionales, registrar mi trabajo de investigación para optar el Grado de Ingeniero Ambiental.

a) Acceso abierto; tiene la característica de ser público y accesible al documento a texto completo por cualquier tipo de usuario que consulte el repositorio.

b) Acceso restringido; solo permite el acceso al registro del metadato con información básica, mas no al texto completo, ocurre cuando el autor de la información expresamente no autoriza su difusión.



**LUISA MONSERRAT
CONDORI MAMANI
DNI: 47792022**

ANEXO 6**DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA**

Yo, Luisa Monserrat Condori Mamani, identificada con DNI 47792022, egresada de la carrera de Ingeniería ambiental declaro bajo juramento ser autora del trabajo de investigación “CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE *Passiflora ligularis* juss (granadilla) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN COMO ADSORBENTE DEL AZUL DE METILENO EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA, AÑO 2022”, además de ser un trabajo original, de acuerdo a los requisitos establecidos en el artículo pertinente del Reglamento de grados y títulos de la Universidad Latinoamericana CIMA.

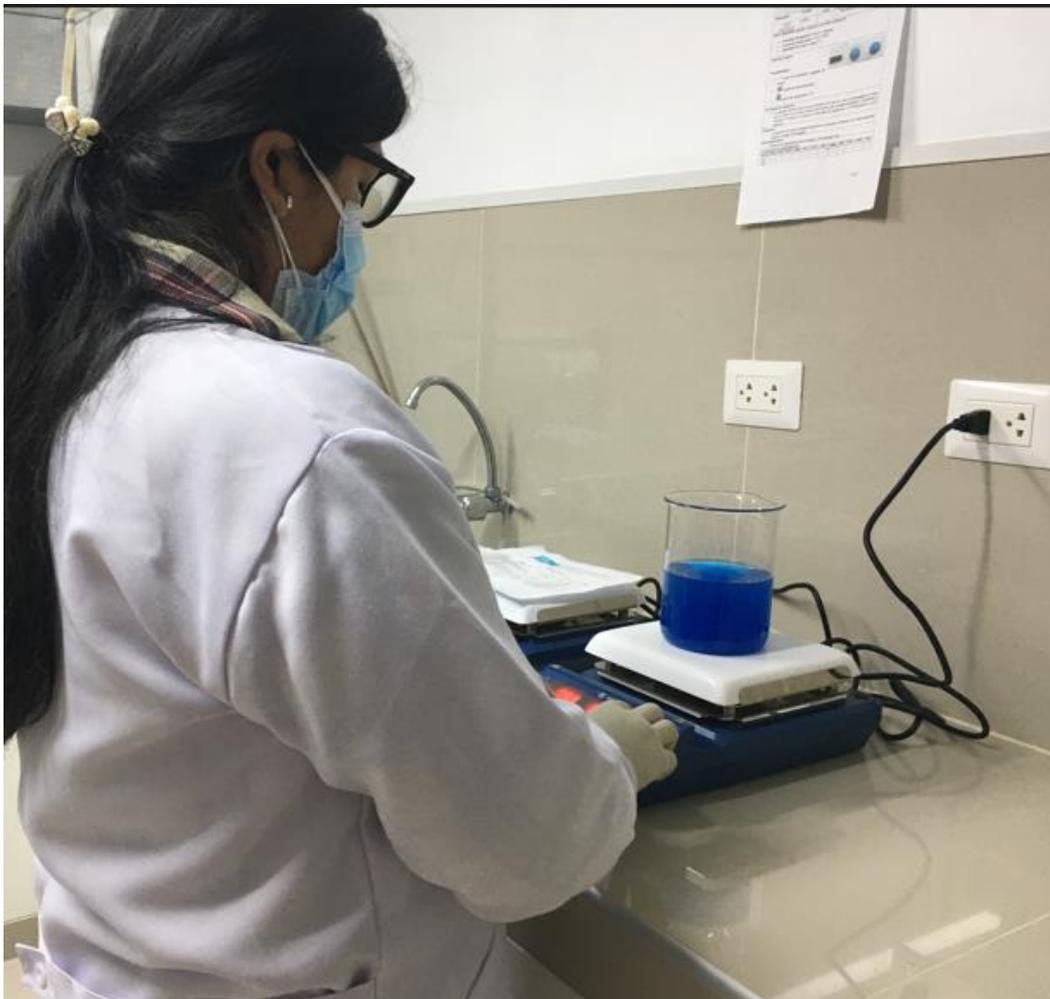


**LUISA MONSERRAT
CONDORI MAMANI
DNI: 47792022**

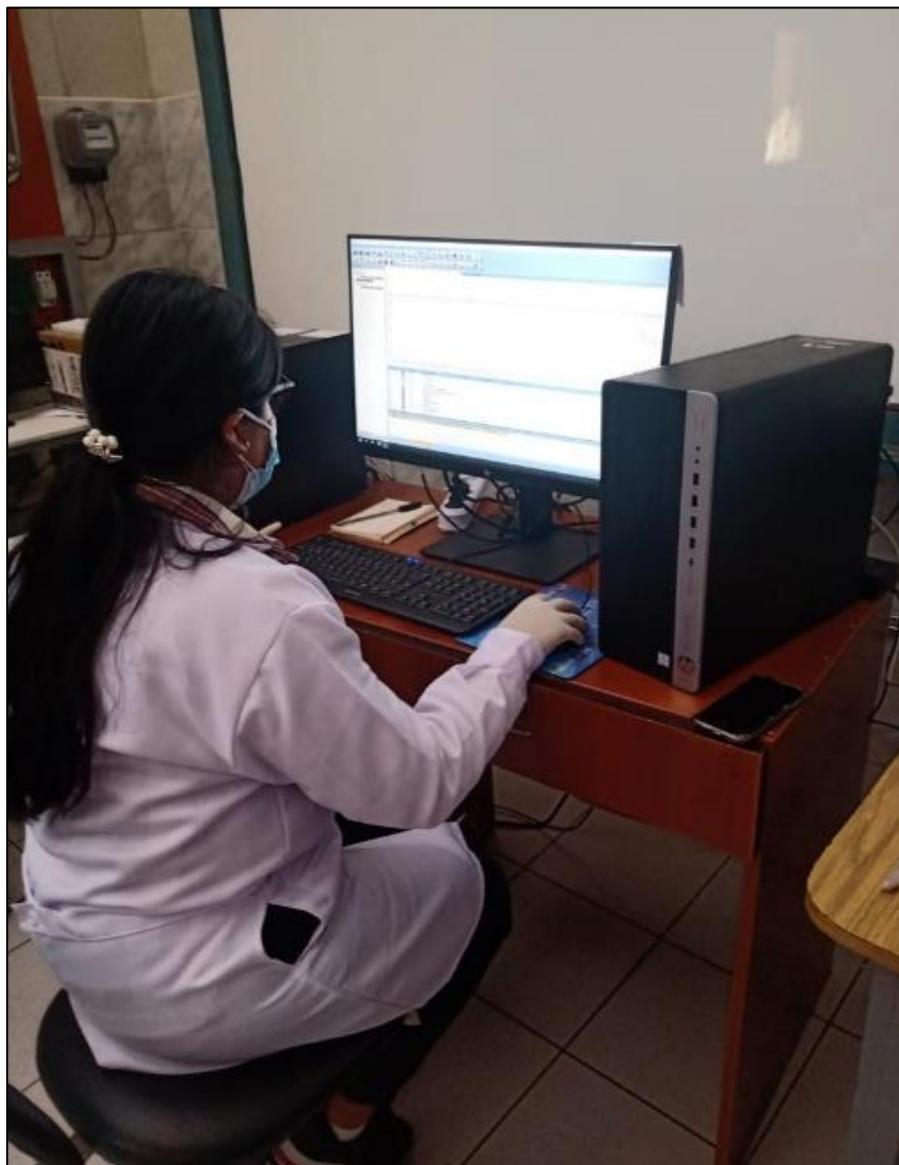
ANEXO 7
PANEL FOTOGRÁFICO



**ESTUDIO DE ADSORBENTE MEDIANTE ESPECTROSCOPIA
INFRARROJA POR TRANSFORMADO DE FOURIER (FTIR)**



**AGITACIÓN MAGNETICA DEL AZUL DE METILENO CON MUESTRA
DE CÁSCARA DE GRANADILLA**



**ANALISIS DE LA EFICIENCIA DE ADSORCIÓN DEL
COLORANTE AZUL DE METILENO**