



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de *Punica granatum*, Lima 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Amasifuen Hidalgo, Angie (ORCID: 0000-0002-2997-8382)

Sanchez Baique, Aaron (ORCID: 0000-0001-8806-5797)

ASESOR:

Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo (ORCID: 0000-0003-3536-881X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de investigación con mucho cariño a Dios, a mis padres que me motivaron cada día para seguir adelante, a mi hermano por brindarme todo su apoyo, su amor que me inspiraron, por darme todo su apoyo y motivarme para no rendirme, gracias por todo el apoyo de cada día.

Amasifuen Hidalgo, Angie

Todo este tiempo y esfuerzo en realizar esta investigación se la dedico a mis padres por el apoyo incondicional brindado y en especial a mi hermana por el apoyo económico de principio a fin sin titubear con los gastos de la universidad para poder lograr mi sueño de ser ingeniero ambiental y formar parte del orgullo de la familia.

Sánchez Baique, Aarón

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme fuerza y sabiduría, a mis padres, a mi hermano y a mis docentes que me brindaron enseñanza cada día, gracias a ellos he obtenido muchos conocimientos en mi carrera profesional y puedo culminar mi proyecto de investigación con mucho éxito, en especial agradezco a mi madre por brindarme todo su apoyo y aliento en cada paso de mi formación profesional.

Amasifuen Hidalgo, Angie

Agradezco a mi familia, en especial a mi madre por el constante apoyo emocional y económico cuando más lo necesitaba, agradecido por todas las enseñanzas brindadas, es por ello que seré el ingeniero ambiental del cual sientas orgullo de decir: "Ese es mi hijo". Te amo infinitamente mamá, gracias por ser parte de mi vida.

Sánchez Baique, Aarón

Índice de contenidos

Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de Figuras.....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	21
3.1. Tipo, diseño de investigación	21
3.2. Variables y Operacionalización	21
3.3. Población, Muestra, Muestreo y unidad de análisis.....	22
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	22
3.5. Procedimiento de recolección de datos	24
3.6. Método de análisis de datos.....	49
3.7. Aspectos éticos	50
IV. RESULTADOS.....	51
4.1. Caracterización inicial del agua residual industrial de textilería por azul de metileno	51
4.2. Obtención de los parámetros físico-químicos de la cáscara de granada ...	54
4.3. Recopilación de datos en el proceso térmico de la cáscara de granada. ...	56
4.4. Evaluación de bioadsorción de cáscara de granada (Método Langmuir) y (Método Espectrofotometría UV/V).	58
4.5. Tratamiento del agua residual textil contaminado con azul de metileno	62
V. DISCUSIÓN.....	70
VI. CONCLUSIONES.....	74
VII. RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS.....	88

Índice de tablas

Tabla 1. Validez de expertos	23
Tabla 2. Materiales y equipos	26
Tabla 3. Normalidad de los parámetros iniciales del agua residual textil con azul de metileno.	44
Tabla 4. Homogeneidad de varianzas en los parámetros iniciales.	44
Tabla 5. Análisis de varianza de los parámetros iniciales del agua textil con azul de metileno	45
Tabla 6. Normalidad de parámetros físicos del biocarbón de granada.	45
Tabla 7. Determinación del análisis de varianza del biocarbón.	45
Tabla 8. Normalidad de los parámetros físico-químicos del tratamiento del agua residual textil.	46
Tabla 9. Análisis de varianza de los parámetros físico-químico en los 8 tiempos del tratamiento.	46
Tabla 10. Normalidad de sólidos totales, disueltos, y suspendidos totales.	46
Tabla 11. Análisis de varianza de los parámetros gravimétricos.	47
Tabla 12. Prueba de normalidad para los parámetros biológicos.	47
Tabla 13. Anova de los parámetros de oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y DBO5.	48
Tabla 14. Normalidad de reducción del azul de metileno en los 8 tiempos del tratamiento.	48
Tabla 15. Análisis de varianza de la reducción del azul de metileno	48
Tabla 16. Homogeneidad de varianzas de la reducción del azul de metileno	49
Tabla 17. Parámetros físicos y químicos del agua residual inicial.	51
Tabla 18. Oxígeno disuelto (OD) del agua residual industrial textil.	51
Tabla 19. Demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual industrial textil.....	52
Tabla 20. Oxígeno disuelto (OD) inicial del DBO5.....	52

Tabla 21. Oxígeno disuelto (OD) final después de 5 días del DBO5.	52
Tabla 22. Demanda biológica de oxígeno DBO5.	53
Tabla 23. Sólidos totales (ST).	53
Tabla 24. Sólidos disueltos (SD).	53
Tabla 25. Sólidos Suspendidos Totales (SST).	54
Tabla 26. Rendimiento de cáscara de la fruta <i>Punica granatum</i> (Método físico).	54
Tabla 27. Parámetros físicos y químicos de la cáscara de granada.	55
Tabla 28. Cálculo de la humedad de la cáscara extraída de la granada (Método físico).	55
Tabla 29. Densidad aparente de la cáscara de granada (Método parafina).	56
Tabla 30. Curva térmica de la cáscara de granada.	56
Tabla 31. Humedad del biocarbón de cáscara de granada.	57
Tabla 32. Materia volátil del biocarbón de la cáscara de granada.	57
Tabla 33. Ceniza del biocarbón de cáscara de granada.	57
Tabla 34. Carbón fijo del biocarbón de cáscara de granada.	58
Tabla 35. Elaboración de la solución madre de azul de metileno (C16 H18 CIN3S).	58
Tabla 36. Determinación de la constante (k) a partir de 100 ppm.	58
Tabla 37. Concentración Inicial de la muestra textil azul de metileno.	59
Tabla 38. Cálculo de la cantidad de adsorción de la cáscara de granada (método Langmuir).	59
Tabla 39. Determinación de la concentración de equilibrio (método espectrofotometría UV/V).	60
Tabla 40. Parámetros físico-químicos (método potenciométrico).	62
Tabla 41. Sólidos totales (método gravimétrico).	62
Tabla 42. Sólidos disueltos (método gravimétrico).	63
Tabla 43. Sólidos suspendidos totales.	63

Tabla 44. Oxígeno disuelto (método Winkler).....	64
Tabla 45. Demanda química del oxígeno (método dicromato de potasio).	65
Tabla 46. Oxígeno disuelto inicial del DBO5.	65
Tabla 47. Oxígeno disuelto final después de 5 días del DBO5.....	66
Tabla 48. Demanda biológica de oxígeno (DBO5).	66
Tabla 49. Concentración del azul de metileno en el tratamiento.	67
Tabla 50. Capacidad de adsorción del biocarbón en el proceso.	68

Índice de Figuras

Figura 1 Procedimiento de recolección de datos.....	24
Figura 2 Recolección de muestra (<i>Punica granatum</i>).....	25
Figura 3 Ubicación de la industria textil.....	25
Figura 4 a) Pesado, b) Pelado, c) Rendimiento del exocarpio de la <i>Punica granatum</i>	27
Figura 5 a) Cantidades de exocarpio de la <i>Punica granatum</i> , b) Pelado de la granada.....	27
Figura 6 Pesado de la cáscara de <i>Punica granatum</i>	28
Figura 7 Secado de la cáscara de <i>Punica granatum</i>	28
Figura 8 Medición de humedad.....	29
Figura 9 Medición de Potencial de hidrógeno, a) Equipo de rotación, b) pH de la cáscara de la granada fresca.....	29
Figura 10 Medición de conductividad eléctrica.....	30
Figura 11 a) Pirólisis b) Producto biocarbón de la cascara de granada.....	30
Figura 12 Molido de biocarbón de cáscara de <i>Punica granatum</i>	31
Figura 13 Materia volátil.....	31
Figura 14 Densidad aparente, a) Cortado de parafina, b) Pesado, c) Volumen de la probeta, d) Amarrado de biocarbón, e) Baño maría, f) Empapado de parafina, g) Introducción de parafina en probeta.....	33
Figura 15 Granulometría de la cáscara de <i>Punica granatum</i> , a) Malla +N.º 12; b) Malla -N.º 12.....	34
Figura 16 Pesado de la materia prima, a) Malla +N.º12 b) Malla -N.º 12.....	34
Figura 17 Realización de las dimensiones de los tubos para el diseño del tratamiento.....	36
Figura 18 Filtro para el diseño del tratamiento.....	36
Figura 19 Muestra de agua residual industrial con azul de metileno.....	37
Figura 20 Medición de la concentración de azul de metileno, a) Curva de calibración; b) Espectrofotometría UV/V.....	38
Figura 21 Medición de temperatura.....	38
Figura 22 Medición de Potencial de hidrógeno.....	39
Figura 23 Medición del potencial redox.....	39
Figura 24 Medición de la turbidez.....	40

Figura 25 Determinación de OD, DQO y del DBO5, a) Oxígeno disuelto; b) Demanda química de oxígeno	41
Figura 26 Método espectrofotometría UV/V del agua residual de azul de metileno.....	42
Figura 27 Reducción del azul de metileno.....	43
Figura 28 Rendimiento de la cáscara de <i>Punica granatum</i>	54
Figura 29 Curva del tratamiento térmico de la cáscara de granada	56
Figura 30 Isotherma de Langmuir.....	61
Figura 31 Capacidad de adsorción del biocarbón en el proceso	68

RESUMEN

La investigación determinó la capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de *Punica granatum*. Por ello, la metodología que se empleó fue de enfoque cuantitativo dado que se recolectaron 41 kg de cáscara de granada y 60L de efluente residual textil con azul de metileno. Así mismo, la investigación fue de tipo aplicada debido que se presentó la cáscara de granada como una alternativa eficaz y económica para la reducción de azul de metileno de los efluentes textiles. Además, el diseño de investigación fue experimental dado que se tuvo como unidad de análisis 2L de efluente textil con azul de metileno en un tiempo de 35 minutos por cada tratamiento. Como resultado, se obtuvo una reducción del 65.69% de azul de metileno, la variación del pH fue de 8.96 a 8.10 y la capacidad de adsorción mínima fue de 2.53 mg/g y máxima de 9.43 mg/g de la cáscara de granada, utilizando dosis de 950 g y 550 g en los dos filtros empleados para una concentración inicial del azul de metileno de 13.7 ppm y una concentración final de 4.7 ppm a un tiempo de 280 minutos. Finalmente, el estudio evidenció que la cáscara de granada se puede utilizar como un tratamiento convencional para la eliminación del azul de metileno en efluentes textiles.

Palabras clave: Azul de metileno, cáscara de granada, efluente textil, tratamiento.

ABSTRACT

The research determined the adsorption capacity of methylene blue from textile industry effluents by *Punica granatum* shell. For this reason, the methodology used was a quantitative approach since 41 kg of pomegranate peel and 60L of textile residual effluent with methylene blue were collected. Likewise, the research was of an applied type because the pomegranate peel was presented as an effective and economical alternative for the reduction of methylene blue from textile effluents. In addition, the research design was experimental since the unit of analysis was 2L of textile effluent with methylene blue in a time of 35 minutes for each treatment. As a result, a reduction of 65.69% of methylene blue was obtained, the pH variation was from 8.96 to 8.10 and the minimum adsorption capacity was 2.53 mg/g and maximum 9.43 mg/g of the pomegranate peel, using doses of 950 g and 550 g in the two filters used for an initial concentration of methylene blue of 13.7 ppm and a final concentration of 4.7 ppm at a time of 280 minutes. Finally, the study showed that pomegranate peel can be used as a conventional treatment for the removal of methylene blue in textile effluents.

Keywords: Methylene blue, pomegranate peel, textile effluent, treatment.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación estudió a la industria textil por su alto consumo de agua, energía, y reactivos químicos, generando grandes cantidades de aguas residuales contaminadas con presencia de bacterias, microorganismos, sustancias químicas y residuos industriales, por ende son los responsables en deteriorar la calidad de este recurso hídrico cuando se vierten a cuerpos de agua o alcantarillados, la preocupación mundial es la contaminación del agua, debido a las cargas de compuestos xenobióticos, y como es el caso del azul de metileno, teniendo un comportamiento recalcitrante y de difícil biodegradación presentando toxicidad a las especies acuáticas, animales y personas. Así mismo, el azul de metileno o 3,7-bis (dimethylamino)-cloruro de Penhenithiazin-5-iu es un heterocíclico aromático que tiene por fórmula molecular $C_{16}H_{18}N_3SCl$.

A nivel internacional, en México la contaminación de los ríos, lagos y mares, están alterando el equilibrio de los ecosistemas, los que en muchos casos son irreversibles reflejándose en la calidad de vida. Por lo tanto, la investigación propone el uso de la cáscara de granada (*Punica granatum*), como tratamiento para la reducción del colorante textil azul de metileno donde los poros que se forman después del procedimiento térmico y la superficie del mismo serán buenos adsorbentes de adsorbato dejándolo con parámetros aceptables para verter en el alcantarillado o reutilizarlo en los sembríos agrícolas. Sin perjudicar ecosistemas acuáticos ni a las personas. Según estudios realizados han revelado que para el año 2050 el consumo por parte de la industria representaría un 25% del consumo total de agua (Burek et al, 2016). Además, los efectos de los colorantes en la salud humana cuando entran en contacto ya sea directo o indirecto son diversos, los cuales pueden iniciar con un dolor de cabeza, irritación a la piel hasta causar cáncer. Así mismo, estos compuestos al llegar a las fuentes de agua naturales dañan la vida acuática (Salas, 2003), (Kant, 2012).

Estos colorantes debido a su compleja estructura química son difíciles de eliminar por tratamientos convencionales ya que poseen alta resistencia a agentes de origen químico y son poco biodegradables (Garcés et al, 2005). También, a raíz de los principales contaminantes que son las industrias textiles la UNESCO nos dice que las industrias manufactureras para el año 2050 aumentaría su consumo de agua de hasta un 400% (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, 2016).

Así mismo, a nivel nacional, la FAO indica que el Perú es uno de los países con mayores reservas de agua dulce ubicándose en el octavo puesto, sin embargo, la calidad y gestión de este recurso es ineficiente e inadecuado. El uso de agua por parte de la industria en el Perú representa el 12% del uso consuntivo del agua a nivel nacional. Existe un desbalance territorial entre la disponibilidad y el uso de agua, siendo así que la ciudad de Lima alberga el 65% de la población peruana y posee solo el 1.7% de agua de todo el Perú, generando así una escasez severa de agua (Oblitas, 2010). También, la industria textil en Perú es una de las más relevantes, debido a que es la tercera actividad con mayor contribución en el PBI manufacturero (IEES, 2021), su consumo de agua es mayor que otras industrias y sus efluentes contienen gran proporción de contaminantes. Entre los contaminantes de la industria textil se encuentran los colorantes que son los más difíciles de eliminar por su alta resistencia. Aproximadamente el 30% de los efluentes de la industria están contaminados por colorantes esto es debido al ineficiente proceso de teñido existente, por lo que los colorantes representan una problemática para esta industria (Cortázar, Escalante, y Gonzáles, 2016).

Por ello, se propuso solucionar el **problema general** ¿Cuál será la capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante la cáscara de *Punica granatum*?, y se consideró como **problemas específicos** ¿Cómo será la obtención de cáscara de *Punica granatum* para reducir el azul de metileno de los efluentes textiles? ¿Cuál será la granulometría y dosis óptima que se utilizará para la reducción del azul de metileno de efluentes textiles? ¿Cuál será el tiempo adecuado para la interacción de la cáscara de *Punica granatum* con el efluente de la industria textil?

Considerando lo relevante que es el tema, el desequilibrio de la calidad del agua por contaminante del azul de metileno utilizado en la industria textil que afecta a los ecosistemas como al hombre hace que la investigación experimental proponga niveles de solución social, económico, ambiental, y tecnológico. Por consiguiente, una vez que los colorantes tienen contacto con los efluentes de agua, estos comienzan a producir gran variedad de reacciones químicas y procesos físicos que provocan la degradación del medio acuático. Por ejemplo, algunos colorantes al entrar en contacto con el agua se transforman en compuestos más peligrosos, como aminas aromáticas potencialmente cancerígenas (Piña, 2018).

Por lo que, la investigación se justificó a **nivel social** la mala gestión del manejo del agua residual textil, será manejada de manera sostenible en el agua, suelo y aire dando la posibilidad de una mejor calidad de vida, **nivel económico** las aguas residuales que son vertidos en los alcantarillados no ocasionaran gastos excesivos en su tratamiento ya que la cáscara de *Punica granatum* se puede conseguir como un residuo al quien se dará un valor agregado, **nivel ambiental** solucionará los problemas en los ecosistemas acuáticos mejorando la oxigenación del agua, y levantando la demanda química de oxígeno a rangos aceptables para la vida acuática, el agua utilizada en el riego de vegetales serán seguro ya que por cadena trófica no habría contaminación ni enfermedades para los animales y seres humanos, **nivel tecnológico** el uso de la cáscara de *Punica granatum* para su obtención tiene un proceso natural, utilizando la pirólisis en hornos convencionales que no necesitan grandes equipos sofisticados en la obtención y además el producto es renovable a bajo costo.

Por ello, se planteó como **objetivo general** de la investigación: Determinar la capacidad de adsorción del azul de metileno mediante la cáscara de *Punica granatum* en efluentes de la industria textil, y como **objetivos específicos planteados fueron**: Determinar la obtención de cáscara de *Punica granatum* para reducir el azul de metileno de los efluentes textiles; Identificar la granulometría y dosis óptima de la cáscara de *Punica granatum* para la reducción del azul de metileno de efluentes textiles; Determinar el tiempo adecuado para la interacción de la cáscara de *Punica granatum* con el efluente de la industria textil.

Teniendo en cuenta los problemas planteados en la investigación, se consideró como **hipótesis general**: La capacidad de adsorción del azul de metileno mediante la cáscara de *Punica granatum* influirá en los efluentes de la industria textil. Así mismo, como **hipótesis específicas** se consideró: La cáscara de *Punica granatum* reduce un 60 % el azul de metileno en los efluentes textiles. La granulometría y dosis óptima de la cáscara de *Punica granatum* influye en la reducción del azul de metileno de efluentes textiles. El tiempo de adsorción influye en la adsorción del tinte azul de metileno del efluente de la industria textil.

II. MARCO TEÓRICO

Agua, es un recurso imprescindible para el desarrollo de todos los seres vivos en el planeta y es un derecho de que todo ser humano goce de este recurso. El 97.2% del H₂O en el planeta donde habitamos es salina y el 2.5% es agua fresca; de este último el 30% es agua subterránea, 68% son glaciares con capas de nieve y solo el 1.2% es agua superficial y se halla en lagos, ríos y otras maneras de agua de superficie. El agua es realmente muy importante debido a que influye en el desarrollo sostenible y es esencial para el avance socioeconómico, producción de alimentos, creación de energía, soporte de los ecosistemas y para la existencia de todo ser vivo. El agua también cumple un papel importante en el cambio climático con el calentamiento global y es un factor determinante entre el medioambiente y la sociedad. La ONU, mediante la agenda 2030 con sus 17 metas para el desarrollo sostenible, sostiene que el agua es un factor determinante para la economía circular y la responsabilidad social para alcanzar una responsabilidad empresarial (Gómez, 2018). Así mismo, el agua es indispensable para que todo ser vivo pueda sobrevivir en nuestro globo terráqueo, por lo tanto, toda persona merece obtener una óptima calidad de este servicio, el cual influye en el terreno de la salud ambiental y del desarrollo sostenible (Dueñas, 2021).

Agua residual industrial, es todo aquel cuerpo hídrico que se haya empleado en diversas utilidades benefactoras. El entendimiento del origen del residuo hídrico es sustancial para la operación, diseño y monitoreo de los sistemas de residuos hídricos (recolectarlas y tratarlas) (Ramírez, 2021). Así mismo, en países en busca del desarrollo, aproximadamente el 90% de residuos hídricos se desechan sin el empleo de algún tratamiento y casi dos millones de toneladas de residuos agrícolas, domésticos e industriales son descargados de la misma manera en ríos o canales. En cuanto a las industrias la que genera una mayor carga de contaminantes al medio ambiente son las textiles debido a la utilización de diversos colorantes que se aplican en sus diversos procesos de teñido y son desechados como residuos hídricos sin aplicar un adecuado tratamiento. La industria textil es la que más colorantes y tintes emplean en su producción teniendo así un uso de aproximadamente 700, 000 ton al año.

Así mismo, se ha podido apreciar que el 50% de los colorantes usados en la industria textil son provenientes de este sector industrial y esto se debe al mínimo grado de fijación en las telas. Los efluentes ya sea en estado líquido o gaseoso originados por cualquier industria son dañinas para la salud del hombre. En el momento en el que los efluentes emitidos tienen una carga de contaminantes ya se consideran como potencialmente dañinos a sus destinatarios. Es por eso que, toda agua residual proveniente de una industria y/o fábricas son un gran problema para el medio ambiente (Zaruma, 2018).

Calidad de agua, es una relación de especificaciones, concentraciones y factores físicos de naturaleza orgánica e inorgánica, y ii) La constitución y la condición de la biota acuática que está en el cuerpo hídrico. La calidad está compuesta por modificaciones espaciales y momentáneas y esto se debe a agentes externos que influyen en el cuerpo de agua (Ramírez, 2021). Además, la salud y el agua son elementos importantes que están vinculados con la calidad de los seres vivos. Se comprende que el recurso hídrico forma parte del desarrollo del ser humano y de las demás formas de vidas que existen en el planeta. Villena (2018), sostiene que la calidad de agua es básicamente un valor ecológico que es indispensable para toda la salud de los seres vivos y delinea las peculiaridades químicas, físicas y microbiológicas, en las que los parámetros estén en óptimas condiciones para el consumo humano. Así mismo, la problemática de la calidad del H₂O continúa a nivel mundial ya sean países desarrollados o en vía de desarrollo, la pésima calidad del agua perjudica a las personas que requieren y se proveen de esta fuente hídrica originando así una serie de enfermedades como el cólera, la esquistosomiasis y entre otras las cuales son las que más se presentan en las personas por la contaminación del recurso hídrico, todo lo descrito se tomó en consideración a lo difundido por la ONU (ONU, 2019).

Contaminación del agua, el agua que se provee a las comunidades está continuamente amenazada por las diversas actividades económicas que se viene realizando. Según la OMS, sostiene que desde el año 2015 el 89% de la población accede a un recurso hídrico apto para el consumo humano y estima que este porcentaje irá disminuyendo, y sostiene que alrededor de 260 millones de personas ya no gozan de una calidad óptima para el consumo humano.

La excesiva alteración del agua conlleva a diversos problemas de salud pública que afectan no solo a todos los seres vivos, sino también los ecosistemas y el ambiente en general. Por otra parte, la tasa de mortalidad infantil es alta y esto es principalmente por la excesiva contaminación de los cuerpos de agua. Se calcula que alrededor de 1800 millones de personas ingieren cuerpos de agua contaminado con heces fecales; en Colombia se estima que el 64% del pueblo ingiere agua contaminada y que las zonas rurales son las más afectadas en el cual no solo se transforma en diarreas de manera continuas, sino que a la vez se presenta como desnutrición aguda y modificaciones en el desarrollo psicomotor (Gómez, 2018). Así mismo, la adulteración de un sistema acuático se traduce a la ingesta de manera indirecta o directa de partículas nocivas para la calidad de vida y la salud de las personas (Ramírez, 2021).

La temperatura, está intrínsecamente vinculada entre dos cuerpos mediante el estado de equilibrio térmico. Pues, dos cuerpos presentan la misma temperatura si están en un equilibrio térmico. Si dos cuerpos entran en contacto y al conectarlos sus condiciones termodinámicas empiezan a variar, entonces los cuerpos no tenían la misma temperatura; sin embargo, tendrán una misma temperatura cuando se logre el equilibrio térmico. La base de las medidas termométricas es el principio cero, el cual consiste que dos cuerpos A y B tienen la misma temperatura cuando están unidos, pero al separarlos con un termómetro C, indicará valores iguales en su determinada escala (Beléndez, 2017).

Potencial de hidrógeno, se define como el nivel de alcalinidad o acidez de una solución. Así mismo, de 0 a 6 se conoce como solución ácida y de 8 a 14 se considera como solución alcalina. Por otra parte, si una solución obtiene un pH de 7 se dice entonces que es neutro (Ondarse, 2021).

Conductividad eléctrica, Es el paso de corriente eléctrica que se da debido al flujo de partículas eléctricas dentro un determinado cuerpo (Ondarse, 2021).

Potencial redox, es la medición de partículas eléctricas que se emplea para identificar si las cargas eléctricas se encuentran o no se encuentran en equilibrio en un determinado cuerpo (Ondarse, 2021).

Turbidez, es la medición del grado de transparencia en la que se encuentra el agua generada por partículas en suspensión (Induanálisis, 2019).

Oxígeno disuelto, es la cantidad de oxígeno que se encuentra presente en el agua a una determinada temperatura (Induanálisis, 2019).

Demanda química de oxígeno, es el oxígeno que se requiere para poder oxidar el cuerpo orgánico por medio químico y transformarlo en CO₂ y H₂O. Así mismo, mientras más DQO tenga un cuerpo de agua entonces estará más contaminada (Mendoza, 2018).

Sólidos totales, son las materias que se encuentran como residuo luego de la evaporación, ya sea de 103°C a 105°C; estos los que forman parte de los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos (Induanálisis, 2019).

Sólidos disueltos, es la cantidad de partículas que se encuentran disueltas en un determinado volumen de agua. Así mismo, son los que pasan de un medio filtrante mientras se identifican y/o determinan los sólidos suspendidos (Mendoza, 2018).

Azul de metileno, conocido como el contaminante que más se libera por la industria textil sobre los cuerpos de agua, adsorbente de cationes que minimizan la entrada de la luz al agua debido a su elevada DQO. Además, es el responsable de la generación de diversas enfermedades en los seres vivos. (Albios, 2018). Así mismo, este colorante es usado en grandes cantidades por diversas industrias ya sea para colorantes de pieles de animales, papeles y entre otros. De este tinte, se han realizado diversos estudios los cuales indican que una alta concentración de azul de metileno puede generar un elevado ritmo cardiaco, mareos y entre otros problemas para el ser humano. Además, se llegó a la conclusión que una gran parte de los colorantes son cancerígenos y/o mutágenos lo que significa que es un problema para la salud pública. (Ramos, 2017).

Concentración del contaminante, Rodrigo et al. (2018) menciona que es aquella medida que indica la cantidad de una sustancia ajena que altera la composición de un cuerpo natural. En el estudio del agua, es necesario la identificación de contaminación, siendo la industria textil, una fuente de eliminación de residuos tanto orgánicos, como los inorgánicos, y con mayor énfasis, los colorantes empleados en sus procesos, los cuales deben ser tratados con eficiencia, ya que al ser descargados en fuentes de agua se debe considerar el cuidado ambiental, por lo que se aplica diversos procesos para caracterización y rastreo de contaminantes en agua (Liu et al. 2019). Se expresa a través de unidades en volumen, ya que al ser de consistencia líquida las unidades se miden el contenido líquido como “miligramos por litro (mg/L)” (Keskin et al., 2021).

Solución madre, Pérez y Tello (2020) coinciden en la importancia de la solución madre que es un término común aplicado en la elaboración de disoluciones en la química, donde se usa un soluto y un solvente para generar una mezcla que facilitará el trabajo experimental, en la solución elaborada se conocen las cantidades de sus elementos. Por ejemplo, las soluciones estándar o madre, generalmente son preparadas a partir de soluciones puras, las cuales se emplean en diversos métodos de análisis químico. Puesto que, al saber exactamente las cantidades de las sustancias, se puede emplear en experimentación de todo tipo, a través de diversos tiempos o temperatura (Kiseleva et al. 2020). Por ello, se debe almacenar en temperaturas adecuadas para mantener las soluciones con las mismas propiedades a largo plazo (Khedr, Ryad y Youssef 2019).

Espectrofotometría, Villegas (2019) la espectrofotometría se aplica a la absorbancia de rayos ultravioleta para la identificación de soluciones y su concentración, el cual explica el proceso de la adsorción, aplicado en un instrumento denominado espectrofotómetro. Este consta de un prisma que evalúa las ondas de radiación a través de medidas longitudinales, donde se aplica soluciones con cierta concentración de analito diluido, para estudiar cuanta energía magnética adsorbe. La adsorbancia medida es comparada con una solución referencial, donde se sabe su concentración, dentro de este método se debe cumplir con que las cubetas cuenten con un grosor de 1 cm y estar muy limpias para la mejor captación de ondas radiactivas UV (Asheri, Ezra y Fishbain, 2018).

La presencia y manipulación de variables en este método, suele ser complicada de aplicar (Mokhtar et al. 2019).

Isotermas de adsorción, Sapailla (2020) da a conocer a través de un estudio experimental que es un modelo matemático que explica el equilibrio de la capacidad de adsorción de capas o elementos que cuentan con porosidad necesaria encargada de adsorber diversas sustancias, ya sea en fase gaseosa o líquida. Gran parte de estos procesos son dados en alimentos, ya que se empleó a través de experimentación en semillas expuestas a diversas temperaturas, aplicando diversos métodos como el gravimétrico-estático o de pseudo segundo orden, ya que cada uno explica que diversos elementos naturales poseen un modelo de isoterma o capa, la cual da a conocer el comportamiento de un solvente alrededor de un alimento (Asheri, Ezra y Fishbain 2018). Dando a conocer la capacidad de ciertos alimentos para realizar este proceso, aplicable para la reducción de contaminantes (Kaveeshwar et al., 2018).

La cáscara de granada, viene a ser un subproducto de la industria, el cual es desechado ya que no cuenta con valor y se elimina en vertederos, provocando impactos en el entorno (Maillard, Ponce y Schettino 2018). Sin embargo, cuenta con una capa externa (cáscara), el cual es un producto secundario usado en las agroindustrias, como un agente funcional para la salud humana, ya que la cáscara tiene un alto contenido en fibras, polifenol y ácido elágico (EA), el cual es de relevancia debido a sus actividades biológicas como antiviral y antibacteriano, el cual es añadido a otros alimentos que pueden ser beneficiosos para su consumo (Xiang et al. 2022). Es por ello que parte de los compuestos de la piel de granada es un valor adicional a otros productos de consumo humano, siendo beneficioso para una dieta saludable (Wu et al., 2021).

Pirólisis, la crisis energética ha optado por atender estrategias viables para reducir la contaminación, siendo la biomasa, una fuente de carbono renovable. Es aquel proceso de carácter termoquímico, el cual consta de la exposición de materia orgánica a altas temperaturas desde los 300 a los 700 °C. en un ambiente que no contenga oxígeno por un intervalo temporal (Peñaranda, 2021). El calor extremo de este proceso conlleva a la excitación molecular de la sustancia, por lo que sus enlaces se rompen formando una solución compleja (Liu et al., 2020).

Es por ello que, su alta eficacia también es considerada como económico, ya que también se implementa para que a partir de la biomasa se generen combustibles, bioaceites, gases o productos químicos, empleando materia orgánica como residuos de frutas especies vegetales ya sean terrestres o marinas, y el uso de sustancias líquidas, para volverlas sólidas (Pourkarimi et al., 2019).

Biocarbón, es considerado como energía renovable, debido a su eliminación como residuo y posterior transformación, ya que es una masa orgánica de consistencia sólida y con alta porosidad, el cual se genera a partir de diversos residuos o materia orgánica, expuesto a la actividad termoquímica en un entorno que no cuenta con oxígeno, por lo que es capaz de almacenar carbono a plazos largos, y mejorar potencialmente el suelo y sus propiedades de fertilidad, sin embargo el proceso puede ser diverso en cuanto a materia orgánica, debido a su proporción de humedad (Velázquez et al., 2019). Es por ello que el carbón es parte del proceso de la carbonización al que es sometido diversos residuos o parte de diversas especies vegetales. Por lo que en los estudios realizados se emplearon residuos frutales, ya que tienen un alto contenido lignocelulósico, para aplicarlo en el suelo como parte de la vegetación (Alnouss et al., 2021). La cáscara empleada en este proceso es sometida a una temperatura mayor a 300 °C y a 1 atm de presión (Yan et al., 2019).

Adsorción, este proceso es llevado a cabo por elementos o materiales fibrosos, el cual tiene una composición de partículas que varían por tamaño, por lo que su biomasa cuenta con gran porosidad, ya sea en tamaño macro (menor de 50 nm) o micro (alcanza los 2 nm), los cuales se dan durante la generación de biocarbón, ya que esta estructura permite una mayor capacidad de captura de agentes ajenos en soluciones (Présiga, Rubio y Pérez, 2020). Esta característica, permite la retención de compuestos ya sea en estado líquido, sólido o gaseoso, asimismo otras características como la superficie u otros factores de la materia usada (Jiang et al., 2018). Suele ser factible para la remoción de agentes contaminantes en efluentes, impidiendo así la reinfección del agua (Ahmed, Hameed y Hummadi, 2020).

Caudal, según estudios de (Díaz y Alarcón, 2018) (Figueroa, 2018) e (ICC, 2017), destacan que el caudal es el volumen de agua que pasa por un punto específico que, para expresarse a través de un modelo matemático, se usa una herramienta de medida que se da en el recorrido de agua por tiempo, por lo que se determina a través de la fórmula de volumen en mililitros del contenido, sobre su tiempo en segundos. Comúnmente se aplica para determinar la cantidad líquida de canales superficiales y ríos.

Según antecedentes internacionales:

Mohamed et al., (2021) realizaron un estudio sobre “Eliminación superior de azul de metileno utilizando un compuesto de cáscara de granada / nano hematita fabricado en verde: estudio de reutilización, isoterma y cinética”. Tuvo como objetivo sintetizar nanopartículas de hematita verde utilizando extracto de piel de granada de diferentes concentraciones (2 g, 4 g y 6 g). Los productos que se obtuvieron de la granada se trataron para luego ser utilizados como adsorbentes para los contaminantes del colorante azul de metileno en el agua. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se mostró de qué manera el área superficial influye con la adsorción de azul de metileno. El estudio concluye que los resultados que se mostraron en el proceso de adsorción reflejaron un alto rendimiento a los 480 minutos de la interacción, indicando así los estudios de isoterma y cinética que los sistemas de adsorción de los materiales son los óptimos.

Han et al., (2020) realizaron un estudio sobre “Alta adsorción de azul de metileno por carbón activado preparado a partir de residuos de eucalipto”. Tuvo como objetivo utilizar residuos que se generaban gracias a la caída de hojas de los eucaliptos para luego ser utilizados en aguas con tintes. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se mostró de qué manera el área superficial que presentaba las hojas de eucalipto influenciaba en los procesos de adsorción del azul de metileno. Los resultados que se obtuvieron fueron: la capacidad que presenta algunos residuos, entre ellos los residuos orgánicos, presentan una capacidad micro porosa comparado con los demás materiales y un área superficial superior, siendo el caso de los residuos de eucalipto, ya que presenta una alta capacidad de adsorción debido a que presenta una gran área superficial y una alta concentración de grupos funcionales.

El estudio concluye que la adsorción de colorantes se debe principalmente al área de superficie, presentando así una gran área superficial de $1545 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$. Sin embargo, esta área superficial puede incrementarse mediante una activación térmica de residuos de eucalipto impregnados ácido fosfórico.

Garduño (2019) realizó un estudio sobre la “Remoción del Colorante azul de metileno empleando residuos de té verde”. Tuvo como objetivo plantear métodos o alternativas de solución de que puedan remover colorantes en aguas residuales con gran carga orgánica utilizando residuos de té verde. El nivel de investigación fue descriptivo, ya que permitió describir métodos no convencionales sobre el método de adsorción de colorantes. Los resultados que se obtuvieron fueron: Los residuos de verde mostraron una remoción del colorante con una eficiencia de 98%. El estudio concluye que la eficiencia va disminuyendo en función del incremento de la concentración del colorante y su carga orgánica.

Caldeira et al., (2018) realizaron un estudio sobre “Eliminación del tinte textil por adsorción en la torta como residuo sólido de la prensa-extracción del aceite de maracuyá (*Acrocomía aculeata*)”. Tuvo como objetivo probar la capacidad que tiene la torta de almendra de maracuyá (*Acrocomía aculeata*) como adsorbente para eliminar el azul de metileno en pruebas de adsorción por lotes. El nivel de investigación fue relacional, ya que se vio de qué manera se relaciona la capacidad de adsorción que tiene maracuyá. Los resultados que se obtuvieron fueron: los residuos generados de la cáscara de maracuyá presentaron una capacidad de adsorción superior, debido a que capacidad micro porosa que presentaba este. El estudio concluye que los datos cinéticos de adsorción que se obtuvieron en el equilibrio fueron modelados asumiendo tanto la isoterma de Langmuir como la de Freundlich; por lo cual los resultados esperados fueron una capacidad de adsorción máxima de $3,5 \text{ mg g}^{-1}$.

Fontana et al., (2018) realizaron un estudio sobre los “Efectos del pH en la Adsorción del Azul de Metileno con Chips de Quebracho Agotado”. Tuvo como objetivo estudiar el efecto del pH en el fenómeno de adsorción de azul de metileno sobre chips de quebracho agotado. El nivel de investigación fue descriptivo, ya que permitió describir de qué manera afecta el pH en la adsorción de colorantes. Los resultados que se obtuvieron fueron: de acuerdo a los análisis que hicieron sobre las curvas de dosaje y equilibrio, utilizaron modelos de isotermas de adsorción Langmuir y Freundlich a distintos pH (4,6 y 9) para ver de qué manera influye una solución ácida, básica y neutra, sin embargo, se pudo tener mejores resultados en soluciones básicas. El estudio concluye que el medio alcalino favorece las condiciones para que se pueda dar una correcta adsorción de colorantes. La adsorción responde al modelo de Langmuir y la cinética de adsorción al modelo de pseudo segundo orden.

Arrieta et al., (2018) realizaron un estudio sobre la “Adsorción de azul de metileno utilizando cáscaras de yuca (*Manihot esculenta*) modificada químicamente con ácido oxálico”. Tuvo como objetivo evaluar ver la capacidad que presentaban los residuos de yuca, que fueron modificados con ácido oxálico para verificar la adsorción de colorantes en solución acuosa. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se mostró cómo influye el área de la superficie de los residuos de yuca en la capacidad de adsorción de azul de metileno. Los resultados que se obtuvieron fueron: la modificación del área superficial de la cáscara de yuca introduciendo grupos funcionales de ácidos carboxílicos evidenció un cambio de punto de carga cero del absorbente, por lo cual se logró hasta el 95% de adsorción de azul de metileno en un tiempo de 15 minutos para concentraciones de 125 mg/L de colorante. El estudio concluye que el mejor modelo de isotermas, fue el modelo de Freundlich y el cinético de pseudo segundo orden.

Shu et al., (2018) realizaron un estudio sobre la “Adsorción de colorantes sobre residuo de manganeso electrolítico modificado: cinética, isoterma, termodinámica y análisis de mecanismos”. Tuvo como objetivo sintetizar un residuo de manganeso electrolítico modificado (MEMR) como adsorbente de alta eficiencia para la remoción de azul de metileno (MB) por método hidrotermal. El nivel de investigación fue relacional, ya que permitió ver de qué manera se relaciona la eficiencia de la adsorción de azul de metileno con la modificación del electrolito de manganeso. Los resultados que se obtuvieron mostraron que el área de superficie específica BET fue de 500,8 m² / g y dentro de los 50 min cuando el pH de la solución inicial era de 6,05 y la concentración inicial de fue de era de 1600 mg / L, la capacidad máxima de adsorción fue de 548,15 mg / g y las isotermas de equilibrio describieron una precisión mediante el modelo de la isoterma de Langmuir.

Kyzas et al., (2018) realizaron un estudio sobre la “Eliminación básica de tinte con adsorción en fibras textiles naturales de bajo costo”. Tuvo como objetivo realizar la adsorción de colorantes utilizando 3 tipos de fibras y se realizó la caracterización de su estructura morfológica mediante varias técnicas como la microscopía electrónica de barrido (SEM), la cristalinidad, la difracción de rayos X (XRD) y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), siendo estas caracterizaciones una herramienta útil para proponer un mecanismo de todo el proceso de adsorción. El nivel de investigación fue descriptivo, ya que permitió dar un análisis descriptivo sobre los análisis y la caracterización de los residuos. Los resultados fueron: que la temperatura obtenida fue de (25-55 °C) y aun pH de (12). El estudio concluye que la capacidad de adsorción de las fibras es muy alta gracias a su área superficial y su estructura de microporos.

Romero (2017) realizó un “Estudio del potencial uso de residuos de palta como agente adsorbente”. Tuvo como objetivo estudiar la capacidad adsorbente del cuesco de palta en soluciones acuosas de azul de metileno. Los resultados que se obtuvieron fueron: de acuerdo a las isotermas de Freundlich y Langmuir se determinó la cinética del proceso, por lo cual la mayor adsorción de azul de metileno por gramo de agente adsorbente es alcanzada por el cuesco de palta con un valor de 39,308 mg/g.

El estudio concluye que la adsorción máxima obtenida, varía según la concentración de agente adsorbente presente en la solución. Por lo que se concluye, que la concentración de agente adsorbente afecta indirectamente a la adsorción. Puesto que una mayor concentración requiere una mayor cantidad de energía para asegurar el contacto entre el adsorbato y el adsorbente.

Zhao y Zhou (2016) realizaron un estudio sobre la “Biosorción de azul de metileno de aguas residuales por un residuo de extracción de *Salvia miltiorrhiza*”. Tuvo como objetivo realizar pruebas por lotes con modificación química y original para verificar de qué manera influyen los parámetros de: tamaño de partícula, dosis, pH de la solución, tiempo de contacto y concentración inicial del tinte. El nivel de investigación fue relacional, ya que permitió ver de qué manera influyen los parámetros en la eficiencia de adsorción de colorantes. Los resultados que se obtuvieron en base a experimentos se ajustaron mejor a la isoterma de Langmuir y la cinética de pseudo segundo orden en comparación con otros modelos aplicados en el estudio. La caracterización de la adsorción se determinó mediante FT-IR, SEM y se midió el área superficial de las partículas. La capacidad máxima de biosorción sin procesar es 100 mg/g y con la modificación mejoró significativamente este valor hasta 161,29 mg/g y 178,57 mg/g respectivamente.

Balarak et al ., (2015) realizaron un estudio sobre “El uso de materiales sin un valor agregado (residuos de canola) para la adsorción de azul de metileno a partir de solución acuosa: estudios isotermos, cinéticos y termodinámicos”. Tuvo como objetivo realizar experimentos de adsorción por lotes para determinar la adsorción de colorantes, el equilibrio de adsorción y el tiempo de contacto. El nivel de investigación fue descriptivo, ya que se enfocó principalmente en la descripción de los análisis y los parámetros adecuados para que se pueda dar un proceso de adsorción eficiente. Los resultados fueron que: la mejor eficiencia de adsorción se da en soluciones básicas cuyas dosis de adsorbente (residuos de canola) es de 3.5 g / L, concentración inicial del azul de metileno fue de 25 mg / L y tiempo de contacto de 75 minutos. El estudio concluye que el proceso de adsorción depende principalmente del tiempo de contacto, concentración del adsorbente y el pH.

Sáenz et al., (2017) realizaron un estudio sobre la “Adsorción de fenol y colorantes sobre carbón activado tratado térmicamente: estudios de caracterización, cinética y equilibrio”. Tuvo como objetivo realizar un estudio integral para un carbón activado tratado térmicamente para evaluar la influencia de este tratamiento en las propiedades físicas y químicas del carbón activado mineral, así como la adsorción de colorantes. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se mostró de qué manera influye la temperatura en el tratamiento de los residuos para así ser utilizados en la adsorción de azul de metileno. Los resultados fueron: Después del tratamiento térmico que se hizo, se pudo observar que el área superficial disminuyó y el volumen de poros total disminuyó aproximadamente un 8,5%, y los grupos básicos totales disminuyeron un 18% mientras que los grupos ácidos totales aumentaron un 8% en comparación con el carbón activado crudo. El estudio concluye que la difusión microscópica tiene que ver mucho con la velocidad en el proceso de adsorción.

Sharma et al., (2016) realizó un estudio sobre la: “Enfoque de ajuste de un modelo para la adsorción de colorantes en adsorbentes derivados de semillas de Camelina y Sapindus”. Tuvo como objetivo verificar de qué manera influyen los parámetros: tiempo, la concentración inicial y la temperatura en la adsorción por lotes. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se mostró de qué manera influyen los parámetros en el proceso de adsorción. Los resultados fueron: de acuerdo a la evaluación que se dio sobre la cinética, los modelos utilizados fueron pseudo primer y segundo orden, con el objetivo de calcular los parámetros óptimos, por lo cual se pudo verificar que los parámetros fueron: T 25C^o y tiempo de 45 minutos. El estudio concluye que los grupos funcionales identificados en la superficie son importantes, ya que ello permite que se dan las condiciones de adsorción.

Jedynak y Repelewicz (2017) realizaron un estudio sobre la: “Adsorción de colorantes y verde de malaquita en materiales de carbono micro-mesoporosos”. Tuvo como objetivo determinar la cinética de adsorción y las isothermas de adsorción para el azul de metileno. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se mostró de qué manera influye la temperatura, mediante sus isothermas en el proceso de adsorción de azul de metileno. Los resultados fueron: Casi en todos los casos analizados se pudo verificar que de acuerdo al modelo de reacción de pseudo orden II, la temperatura es un factor importante en el proceso de adsorción; siendo estas condiciones de equilibrio descritas por las ecuaciones de Langmuir y Freundlich.

Nyankson et al., (2020) realizó un estudio sobre la: “Aplicación dual de material de arcilla natural para la decoloración y adsorción de tinte azul de metileno”. Tuvo como objetivo ver la eficiencia que presentaba la arcilla calcinada recuperada de un proceso de excavación arqueológica para el proceso de adsorción de colorantes. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se estudiara de qué manera influye un material calcinado en la adsorción de azul de metileno. Los resultados mostraron que al someter la arcilla a un proceso de calcinación a 600°C mostro una fuerte adsorción hacia el azul de metileno. El estudio concluye que, al someter el material a temperaturas altas, esto aumentó área superficial, llevándolo así a presentar una mayor capacidad de adsorción.

Adesina et al., (2019) realizaron un estudio sobre la: “Adsorción de colorantes y rojo Congo a partir de una solución acuosa utilizando un compuesto sintetizado de alúmina y circonio”. Tuvo como objetivo aplicar el método de combustión para la adsorción de azul de metileno. Los resultados obtenidos de la adsorción de gas y área superficial concuerdan entre sí, mostrando meso y macroporosidad de poros Inter aglomerados. El estudio concluye que La eliminación de los dos tintes dependieron principalmente del pH. Sin embargo, el pH muy básico favoreció la adsorción de azul de metileno. Los datos que se obtuvieron se ajustaron a los modelos de isothermas de Langmuir y Liu, teniendo una capacidad máxima de adsorción de 57,50 y 53,44 mg g⁻¹ para el rojo Congo y el azul de metileno, respectivamente.

Putranto y Aziz (2019) realizaron un estudio sobre la: "Transferencia de masa de adsorción de colorantes en carbones activados basados en biomasa: modelo de difusión de superficie heterogénea". Tuvo como objetivo implementar un modelo heterogéneo de difusión superficial para describir la transferencia de masa de azul de metileno en carbones activados basados en biomasa. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se verificará de qué manera influye la transferencia de masa en la adsorción de azul de metileno a partir de materiales derivados de biomasa. Los resultados obtenidos indican que el modelo representa una buena transferencia de masa durante la adsorción. El estudio concluye que los perfiles de concentración tanto en la superficie del mesoporo como en el del microporo ayudan a analizar los fenómenos de transporte del azul de metileno dentro de los carbones activados.

Lakshmipathy y Sarada (2015) realizaron un estudio sobre la: "Adsorción de colorantes sobre cáscara de sandía nativa: estudios en columna de lecho fijo y por lotes". Tuvo como objetivo ver de qué manera influyen en el proceso de adsorción por lote variando los parámetros de pH, tiempo de contacto, adsorbente-dosis, concentración inicial de tinte y temperatura. El nivel de investigación fue relacional, debido a que se mostró de qué manera influyen los parámetros en el proceso de adsorción. Los resultados obtenidos indican que los modelos de isothermas de Langmuir, Freundlich y Temkin son mejores que los modelos de Langmuir y Temkin. Del estudio se concluye que, las isothermas de Langmuir, Freundlich y Temkin son mejores que los modelos de Langmuir y Temkin.

Li et al., (2021) realizaron un estudio sobre la: "Mejora la estructura de los poros del carbono poroso a base de cianobacterias mediante polipropileno para mejorar la capacidad de adsorción del azul de metileno". Tuvo como objetivo sintetizar carbono poroso a base de cianobacterias derivado de cianobacterias y plástico. Los resultados obtenidos fueron que el proceso de pirólisis mejoró la estructura porosa. El estudio concluye que la estructura de los poros juega un papel esencial en el rendimiento de la adsorción.

Xu et al., (2021) realizaron un estudio sobre la: “Carbonización hidrotermal de granos de destilería con minerales arcillosos para mejorar la adsorción de fosfato y azul de metileno”. Tuvo como objetivo desarrollar un nuevo método de síntesis para preparar residuos que quedaban de las actividades de hidrocarburos, para modificarlos mediante carbonización. Los resultados obtenidos mostraron que la carga de los minerales arcillosos sobre las superficies de los hidrocarburos alteró la estructura y la composición de la superficie del hidrocarburo de modo que los hidrocarburos modificados con arcilla mostraron una mejor capacidad para adsorber el azul de metileno. El estudio concluye que la capacidad máxima de adsorción de azul de metileno y fosfato del hidrocarburo modificado alcanzaron 340,3 y 96,9 mg g⁻¹, respectivamente, comparable o superior al de muchos sorbentes comerciales.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo, diseño de investigación

El presente trabajo de investigación presentó un **enfoque cuantitativo**, ya que se recolectaron muestras de efluentes de aguas de la industria textil, con el objetivo de que se pueda contrastar la adsorción de azul de metileno según la hipótesis dada, con mediciones numéricas y la aplicación estadística para que se puedan dar las conclusiones del trabajo.

La investigación fue de **tipo aplicada** porque se buscó el desarrollo del conocimiento para la solución a problemas prácticos (Hernández, 2014).

El diseño de investigación fue **experimental**, porque es el proceso en la cual se somete un grupo de personas u objeto a condiciones, tratamientos y estímulos, para evaluar las reacciones o efectos. Así mismo, en la investigación se manipuló la variable independiente para tener efectos en la variable dependiente (Hernández, 2014). La variable dependiente no se manipula ya que en ella se medirá el efecto de la manipulación de la variable independiente en ella.

El estudio optó por la naturaleza exploratoria, ya que es poco estudiada la metodología de la cáscara de *Punica granatum* como adsorbente de azul de metileno. Según (Fidias, 2016) el **nivel exploratorio** es aquella que efectúa un tema u objeto desconocido como también poco estudiado, el cual los resultados constituyen una visión aproximada del tema estudiado, es decir el nivel superficial de conocimientos.

3.2. Variables y Operacionalización

La presente investigación tuvo 2 variables de estudio, las cuales fueron:

- **Variable Dependiente:** Capacidad de adsorción del azul de metileno.
- **Variable Independiente:** Cáscara de *Punica granatum*.

En el anexo 5, se presenta la matriz de operacionalización de las variables con sus dimensiones e indicadores.

3.3. Población, Muestra, Muestreo y unidad de análisis

Población del presente trabajo de investigación fueron los efluentes que se producen debido a las actividades de la industria textil. Así mismo, la población es el universo de elementos que se pretende estudiar (Hernández, 2014).

Muestra fue de 60 litros de efluente residual de la industria textil ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho. Así mismo, la muestra es aquel subgrupo o parte representativa que se establece a partir de la población de estudio (Hernández 2014).

Muestreo se conformó de 40 litros de efluente residual de la industria textil en el que se tuvo en cuenta colocarlo a temperatura ambiente y respetando los protocolos de seguridad. La técnica de muestreo que se aplicó para la presente investigación, fue probabilística, porque todos los elementos de la población pueden ser elegidos para la muestra (Hernández, 2014).

Unidad de Análisis fue de 2 litros por cada tiempo en el tratamiento las que fueron evaluados en sus parámetros físicos, químicos, y concentración de azul de metileno. (Hernández 2014), refiere que unidad de análisis es cada elemento que forma parte de una población y consecuentemente de la muestra.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica que se utilizó en el desarrollo de la investigación fue la observación, para poder determinar las decisiones en todo el proceso del agua residual de la industria textil. Técnica de observación en el cual se recopilan datos con la finalidad de identificar las características del objeto de estudio (Yuni y Urbano, 2014).

Instrumentos de recolección se realizaron con la finalidad de poder obtener resultados más eficientes en la investigación, de tal forma este método lo usa el indagador para recolectar datos del estudio, como formularios, cuestionarios, fichas, entre otros Otori (2022). El instrumento utilizado para la recolección de datos, fueron fichas por cada fase.

Validez de instrumentos es la eficacia con el que un instrumento mide lo que se pretende medir entre las teorías y los aspectos (Sánchez, 2017). Así mismo, las mediciones de los instrumentos son verificados con expertos en el tema planteado. Esto se realizó a partir de expertos como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Validez de expertos

EXPERTO VALIDADOR	VALIDEZ %	PROMEDIO DE VALIDEZ %
Jorge Leonardo, Jave Nakayo	85 %	85 %
Elmer Gonzales, Benites Alfaro	85 %	
Luis Fernando, Mendoza Apolaya	85 %	

Confiabilidad de un instrumento y de medición hace referencia al grado de confianza de la adaptación reiterada del investigador que son basados en los procedimientos utilizados en los estudios (Briones, 2017). Es por ello que en el estudio se utilizó los instrumentos el cual presentó una alta confiabilidad ya que de ese modo nos permitió recolectar la información.

3.5. Procedimiento de recolección de datos

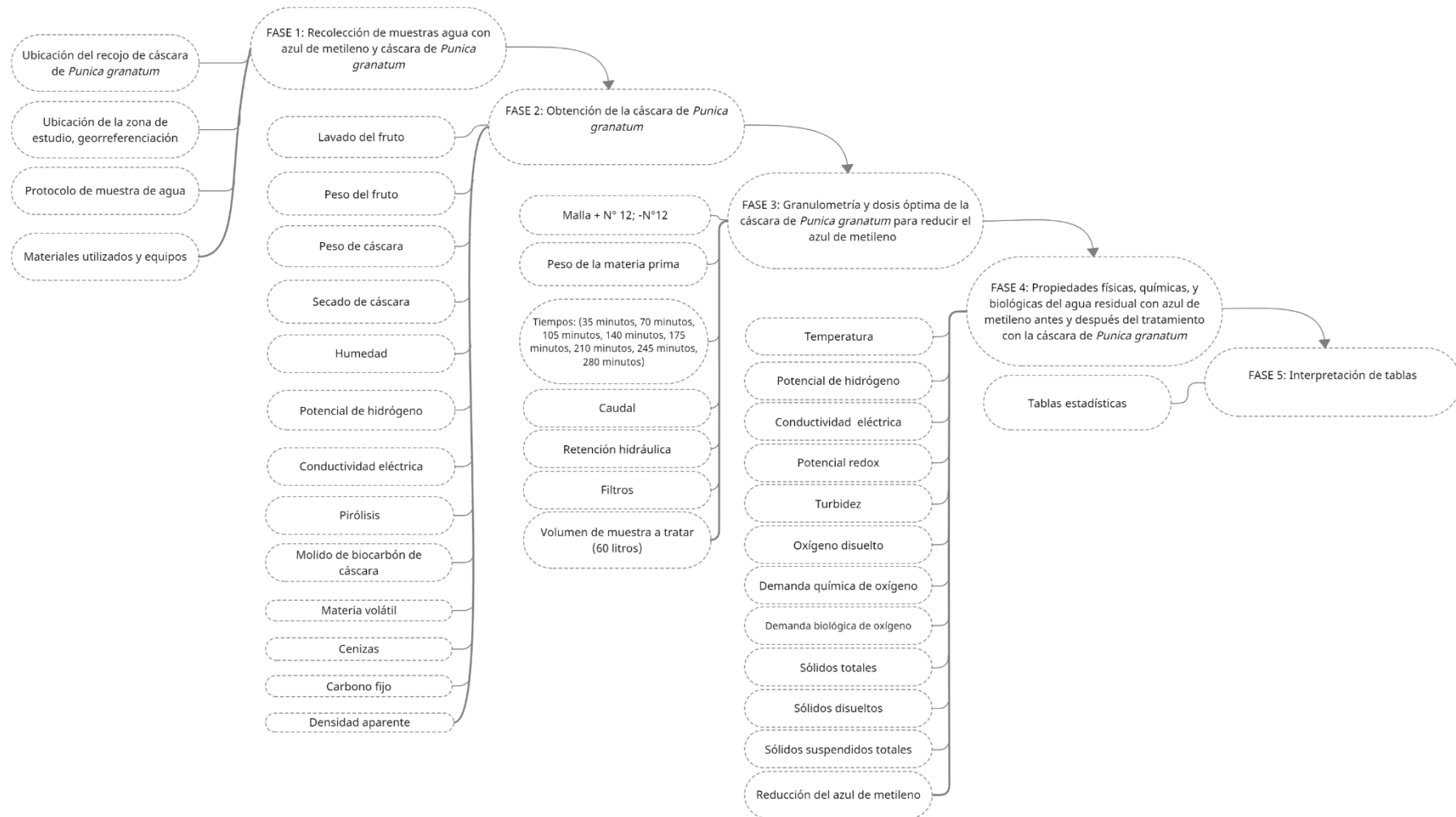


Figura 1 Procedimiento de recolección de datos

Fase 1: Recolección de muestras agua y cáscara de *Punica granatum*

Ubicación del recojo de cáscara de *Punica granatum*, la fruta granada (*Punica granatum*) se ubicó en los puestos de fruta del mercado de “Caquetá” del distrito de Rímac donde se expende la fruta de granada la que actualmente en el mes de marzo es su época de la fruta, la evidenciamos en la Figura 2, del recojo de la materia prima para trasladarlo al lugar donde realizamos el experimento. Así mismo, en esta etapa se recolectó la fruta de granada utilizando la bata de laboratorio de la Universidad César Vallejo y una mascarilla.



Figura 2 Recolección de muestra (*Punica granatum*)

Ubicación de la zona de estudio, la industria textil se encuentra ubicado en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, lugar donde se realizó la toma de muestra de efluentes de la industria textil con presencia de azul de metileno para la investigación.



Figura 3 Ubicación de la industria textil

Georreferenciación del lugar de toma de muestra

Código	Coordenadas UTM – WG84	
PTM- IT	X: 12°1'1.73208"	Y: 76°59'23.22132"

PTM-IT: Punto de toma de muestra en la industria textil.

Protocolo de muestra de agua, el agua residual de la empresa textil contiene azul de metileno, por lo que se tomó como aplicación el Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), toda vez que esta agua es tóxica y peligrosa para la salud de las personas.

Tabla 2 Materiales y equipos

Materiales	Equipos
02 baldes de 5 litros	01 medidor de papel pH
01 balde de 40 litros	
01 jarra graduada de 2 litros	01 medidor de temperatura
24 frascos de polietileno de 1 litro	
01 lapiceros indelebles	01 cronómetro
01 juego de sticker blanco	
50 bolsas de polietileno de densidad media	01 GPS

Fase 2: Obtención de la cáscara de *Punica granatum*

Lavado del fruto, peso del fruto y peso de la cáscara, primero se realizó el lavado de las frutas de granada para posteriormente pesar el fruto y también pesar la cantidad de cáscara que nos ofrecía cada fruta de granada.

Rendimiento del exocarpio de *Punica granatum*, se obtuvo de la cáscara evaluando 5 kg de fruta y se eligió de acuerdo al peso de cada uno para poder obtener un dato representativo y obtener la cantidad necesaria que se recolectó.



Figura 4 a) Pesado, b) Pelado, c) Rendimiento del exocarpo de la *Punica granatum*

Luego de realizar el rendimiento se obtuvo las cantidades necesarias de la cáscara de granada para el tratamiento final. Después de ello, ya teniendo conocimiento de la cantidad de cáscara de granada que se va utilizar se procedió a recolectarlas para posteriormente lavarlas, pesarlas y pelarlas cuidadosamente, para que al momento de ponerles a secar no tenga mucha humedad.



Figura 5 a) Cantidades de exocarpo de la *Punica granatum*, b) Pelado de la granada

Peso de la cáscara *Punica granatum*, ya pelado la fruta entonces se procede a pesar para saber la cantidad de materia prima que vamos a obtener para su secado.

Fórmula que se aplicó;

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{peso de cáscara extraída}}{\text{peso del fruto}} \times 100$$



Figura 6 Pesado de la cáscara de *Punica granatum*

Secado de la cáscara de granada, después de realizar el pesado se procede a secar la cáscara por 15 días a temperatura ambiente en un sistema de efecto invernadero obteniéndose una humedad de 8%, la que es aceptable para realizar la pirólisis, después de esta fase se llevó a laboratorio para realizar los análisis fisicoquímicos de la cáscara.



Figura 7 Secado de la cáscara de *Punica granatum*

Humedad (%) (Método Norma ASTM D3173), es importante conocer la humedad ya que para poder llevarlo a un proceso térmico esta no puede ser mayor de 10%, para realizar se pesa la muestra en un crisol de porcelana y se lleva a 105°C por 2 horas luego se enfría en un desecador para volver a pesar en la balanza analítica, los resultados de encuentran en la Tabla 28.

Formula aplicada:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$



Figura 8 Medición de humedad

Potencial de hidrógeno (Método Potenciométrico), para medir el potencial de hidrógeno, la muestra debe estar seca y molida, la que se puso en un equipo de rotación a 30 rpm por un tiempo de 30 minutos, obteniendo un extracto en la solución, donde inicialmente se calibro el electrodo de pH con buffer de 4, 7, y 10, quedando listo para realizar las lecturas que se encuentran en la Tabla 27.



Figura 9 Medición de Potencial de hidrógeno, a) Equipo de rotación, b) pH de la cáscara de la granada fresca

Conductividad eléctrica (Método Potenciométrico), esta fue medida con un electrodo que fue calibrado con la solución estándar de 1113 mS/cm, su calibración se procedió a medir con la cáscara de *Punica granatum* que fue secada y molida en una relación 1:3 de p/v, teniendo sus resultados en la Tabla 27.



Figura 10 Medición de conductividad eléctrica

Tratamiento térmico de la cáscara de granada por pirólisis, la cáscara de *Punica granatum*, fue secado al ambiente en un sistema de efecto invernadero obteniéndose una humedad de 8%, la que aceptable para realizar la pirólisis que es un tratamiento que se realizó en un reactor anaeróbico, donde la temperatura estuvo de 25 °C a 300 °C, para luego tapanlo totalmente y este se encuentre en ausencia del oxígeno del aire, dejándose hasta que esta se enfríe para luego retirarlo y así obtener el biocarbón como se observa en la Figura 11b. para realizar el proceso de adsorción del azul de metileno industrial.



Figura 11 a) Pirólisis b) Producto biocarbón de la cáscara de granada

Molido del producto de biocarbón de la cáscara *Punica granatum*, ya habiendo realizado pirólisis y teniendo como producto final la cáscara de *Punica granatum* carbonizada, se procedió a moler la cáscara con la ayuda de un molino tradicional, como se puede apreciar en la Figura 12.



Figura 12 Molido de biocarbón de cáscara de *Punica granatum*

Materia volátil (Método: Norma ASTM D3175), cuando ya obtenemos la humedad entonces en una mufla a 900 °C por 7 minutos se determinó la materia volátil de la cáscara de granada, esta fue realizada en un crisol con tapa donde fue pesado inicialmente, para que al final del proceso ya estando frío este crisol se vuelva a pesar y así obtener los resultados de materia volátil que están en la Tabla 32.

Formula aplicada:

$$\%MV = \frac{(\text{Peso crisol} + \text{Peso de la muestra}) - (\text{Peso del crisol} + \text{muestra } 900^{\circ}\text{C por } 7')}{(\text{Peso crisol} + \text{muestra}) - (\text{Peso del crisol})} \times 100$$



Figura 13 Materia volátil

Cenizas de cáscara *Punica granatum* (Método: Norma ASTM D5142), en un crisol de porcelana limpio en un horno eléctrico a 550°C durante 3 horas, hasta que se observa un color blanco o blanco grisáceos se retira luego dejándolo reposar a temperatura ambiente en un desecador, para finalmente pesarlo en una balanza analítica, el resultado obtenido se puede apreciar en la Tabla 33.

Formula que se aplicó;

$$\% \text{ CENIZA} = \frac{(\text{peso del crisol} + \text{muestra } 900^{\circ}\text{C}) - (\text{peso del crisol})}{(\text{peso del crisol} + \text{muestra}) - (\text{peso del crisol})} \times 100$$

Carbono Fijo (Método: Norma ASTM D3172), este parámetro se realizó para poder determinar la capacidad de adsorción que tenía el biocarbón de la cáscara de granada, cuando más grande sería el carbono fijo mejor capacidad de adsorción tendría porque se mejora los poros macroporos, microporos que se encuentran en la superficie dando mayor reducción del contaminante de azul de metileno. El resultado se puede observar en la Tabla 34.

Formula que se utilizó; %CF= 100 – (%Ceniza + %Materia Volátil)

Densidad aparente, para la cuantificación del biocarbón de la cáscara de *Punica granatum* se aplicó el método de la parafina, donde primero se tuvo que cortar la parafina en finas láminas, luego de ello se procedió a pesar una cantidad de láminas el cual se obtuvo 30 g que se utilizará en el proceso. Después, se colocó la parafina en láminas en un vaso precipitado de 250 ml para realizar el baño maría para obtener las láminas derretidas, luego se procede a amarrar con una pita 7.8 g de biocarbón de la cáscara de granada, después se colocó en una probeta de 500 ml para probar si la cantidad amarrada ingresaba en ello, luego de este paso se llevó el biocarbón donde se realizó el baño maría para introducirlo dentro del vaso precipitado y empaparlo de parafina derretida, dentro de la probeta se colocó 150 ml de agua para que el biocarbón empapado se introduzca dentro de ello y así se pudo determinar que la cantidad de volumen que aumentó fue de 15 cm³ con el biocarbón y la parafina al momento de introducirlo. El resultado se puede apreciar en la Tabla 30.



Figura 14 Densidad aparente, a) Cortado de parafina, b) Pesado, c) Volumen de la probeta, d) Amarrado de biocarbón, e) Baño maría, f) Empapado de parafina, g) Introducción de parafina en probeta

Fase 3: Granulometría, y dosis óptima para reducir el azul de metileno

Malla +N°12 y Malla -N°12, se consideró el uso de estas dos mallas para la aplicación del método granulométrico en los tubos de 10cm de diámetro por una altura de 30 cm, teniendo un volumen del filtro de 2356 cm³, en el primer y segundo filtro.

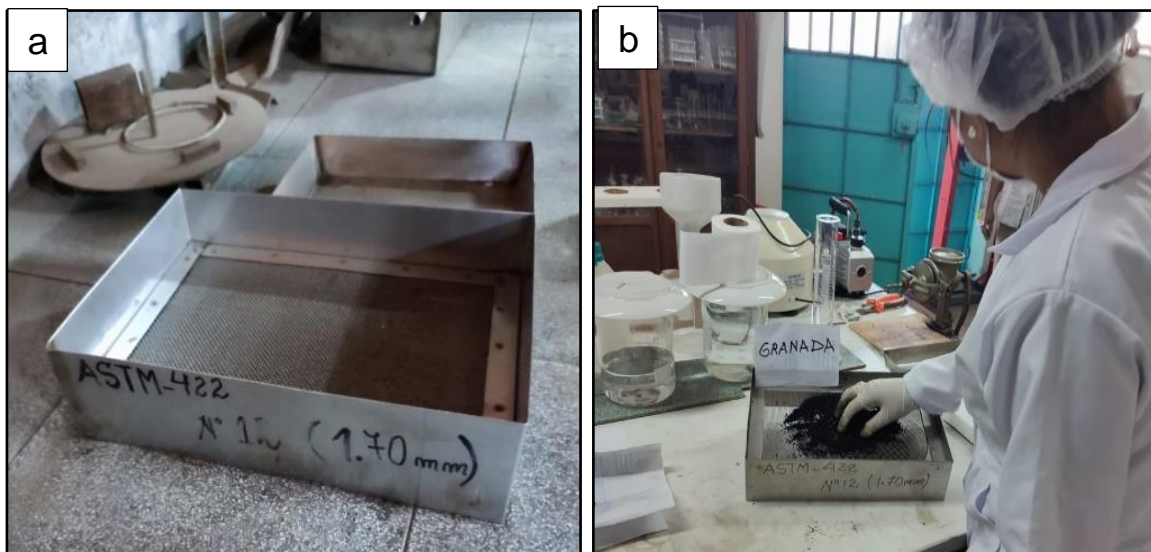


Figura 15 Granulometría de la cáscara de *Punica granatum*,

a) Malla +N.º 12; b) Malla -N.º 12

Pesos de la materia prima, después de realizar la granulometría del biocarbón de la cáscara de granada, se realizó el pesado de las materias primas que se quedaron en la malla +N.º 12. Así mismo, se realizó también el pesado de las materias primas de la malla -N.º 12 con la finalidad de obtener las dosis óptimas para la realización del tratamiento con la cáscara de granada, las cuales fueron de 950 g y 550 g respectivamente.

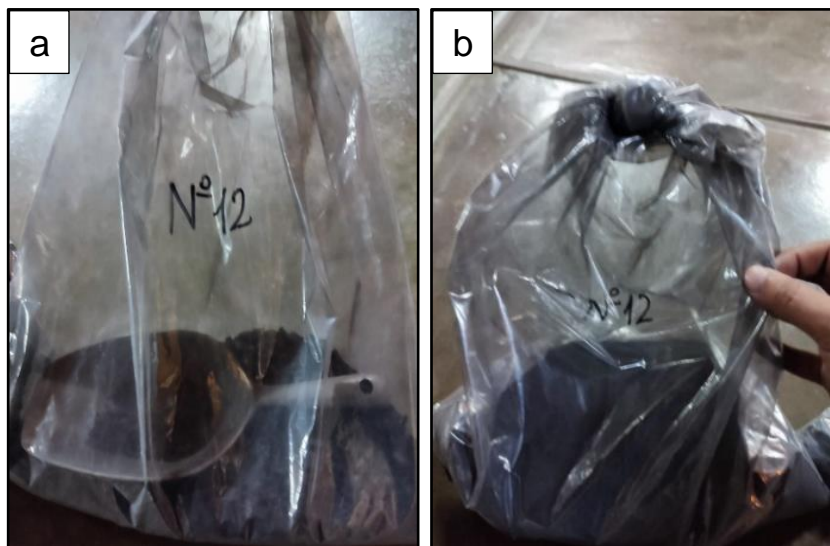


Figura 16 Pesado de la materia prima, a) Malla +N.º12 b) Malla -N.º 12

Tiempos de tratamiento, se tuvo 8 tiempos para el tratamiento del agua residual de la industria textil los cuales fueron: 35 minutos, 70 minutos, 105 minutos, 140 minutos, 175 minutos, 210 minutos, 245 minutos y 280 minutos respectivamente.

Caudal, se midió la caída de un volumen de 0.15 litros de la muestra obtenida del efluente residual de la industria textil en 656 segundos. Así mismo, como resultado se obtuvo un caudal de 0.0002289 L/s. Para hallar el caudal, se realizó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V(L)}{t(s)}$$

En lo que:

V= Volumen (L)

T= Tiempo (s)

Q= Caudal (L/s)

Tiempo de retención hidráulica, se midieron las dimensiones de los 4 tubos de forma cilíndrica con los que se realizó el tratamiento de la cáscara de granada, en los que cada tubo tuvo un diámetro de 10cm y una altura de 30cm, teniendo así un volumen de 2356 cm³ cada tubo. Así mismo, ya teniendo el volumen y el caudal se pudo obtener un tiempo de retención hidráulica de 10,29 segundos. Para hallar la retención hidráulica, se consideraron las siguientes fórmulas:

Cálculo del volumen de un cilindro:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = 3.1416 \times (5\text{cm})^2 \times 30\text{cm}$$

$$V = 2356 \text{ cm}^3$$

Se tiene un caudal de 0.0002289 L/s. Entonces, se hace la conversión a cm³/s:

$$Q = \frac{0.0002289\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1000\text{cm}^3}{1\text{L}}$$

$$Q = 0.2289 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Teniendo la conversión hecha, se realiza el cálculo del tiempo de retención hidráulica:

$$THR = \frac{V}{Q}$$

$$THR = \frac{2356 \text{ cm}^3}{0.2289 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

$$THR = 10.29 \text{ segundos}$$



Figura 17 Realización de las dimensiones de los tubos para el diseño del tratamiento

Filtros, para la realización de los filtros se aplicaron tapas con medida de 2 y de 3 pulgadas, en estas tapas se tuvo que realizar pequeños agujeros con taladro para así obtener una filtración adecuada.



Figura 18 Filtro para el diseño del tratamiento

Volumen de muestra a tratar, para la presente investigación se tuvo que recolectar 60 litros de agua residual de la industria textil como valor representativo para la realización del tratamiento.



Figura 19 Muestra de agua residual industrial con azul de metileno

Fase 4: Propiedades físicas, químicas, y biológicas del agua residual con azul de metileno antes y después del tratamiento.

Adsorción de la cáscara de granada (método Isotherma de Langmuir), en la evaluación de adsorción, se realizó una solución madre de azul de metileno de 100 mg/l (ppm), de donde se obtuvieron estándares de 0.5 ppm, 1ppm, 2ppm, 3ppm, y así poder determinar la constante para poder tener la curva de calibración y poder utilizarlo en las lecturas por espectrofotometría UV/V a una longitud de onda de 666 nm, encontrándose los resultados de la constante en la Tabla 36 y de la concentración inicial del azul de metileno en la Tabla 37.

Formulas aplicadas:

$$\text{Absorbancia} = -\log \left(\frac{\%T}{100} \right)$$

$$\text{Concentración} = \frac{Ab}{K}$$

Cálculo de la concentración;

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C₁: Concentración

V₁: Volumen

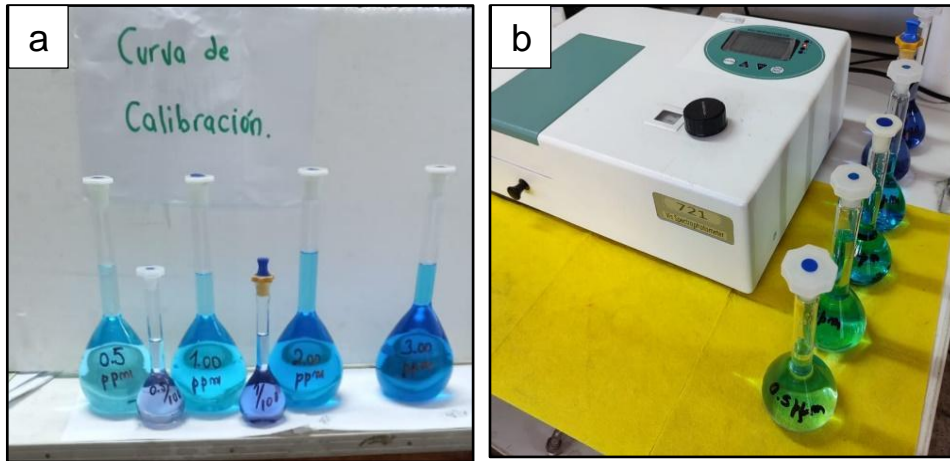


Figura 20 Medición de la concentración de azul de metileno, a) Curva de calibración; b) Espectrofotometría UV/V

Temperatura, el agua que sale en el ducto de la empresa fue de 25 °C, lo que se tomó en cuenta para la caracterización de la muestra de agua inicial, ya que esta es importante para determinar el oxígeno disuelto del agua y también para los ecosistemas acuáticos existentes, que con el agua residual que se genera no se podrían mantener con vida, utilizamos un termómetro analógico que mide de 0°C a 150°C.



Figura 21 Medición de temperatura

Potencial de hidrógeno (pH) (Método Potenciométrico), el potencial de hidrógeno medido tubo un primer paso, la calibración del electrodo de pH, donde se utilizó los buffers Hanna, de pH 4, pH 7, y pH 10, dando un porcentaje de eficiencia en la calibración de 96% lo que es aceptable en las mediciones que se realizan.



Figura 22 Medición de potencial de hidrógeno

Conductividad eléctrica (mS/cm) (Método Potenciométrico), la conductividad eléctrica nos mide las sales disueltas en el agua, también datos para poder evaluar la cantidad de sólidos totales que tiene la muestra, fue calibrado con un buffer de 1343 mS/cm, los resultados se encuentran en la Tabla 17.

Potencial redox (mV) (Método potenciométrico), el potencial redox fue determinado con un electrodo de ORP, tomando una muestra de 100 ml del agua en estudio, las que dieron los resultados en milivoltios.



Figura 23 Medición del potencial redox

Turbidez (NTU) (Método fotométrico), el parámetro fue realizado tomando una muestra agitada con un agitador magnético por 2 minutos, y tomar una alícuota de 10 ml en un frasco transparente que trae el equipo lo que se calibra con sus estándares, de 0, 100, 500, 800 NTU, y luego se realizaron las lecturas.



Figura 24 Medición de la turbidez

Oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO) (Método Winkler, y por reflujo – dicromato de potasio) para realizar estos parámetros biológicos fue importante homogenizar la muestra total, se utilizó el frasco Winkler, para OD y DBO5, para el DQO, se utilizó un reactor térmico donde se digirió la muestra por 2 horas y por volumetría se obtuvo los resultados para ambos casos.

Formula;

$$\text{Oxígeno disuelto} = \frac{\text{Vol. Gst. TSNa} \cdot \text{Normalidad del TSNa} \cdot 8000 \cdot \text{Vol. Winkler}}{\text{Vol. De Muestra} \cdot (\text{Vol. Winkler} - 2)}$$

Donde:

OD: Oxígeno disuelto (mgO₂/L)

Vol. Gst. TSNa: Volumen gastado en la muestra de tiosulfato de sodio (ml)

$$\text{Demanda química de oxígeno} = \frac{(\text{Vol. Gast. Bk} - \text{Vol. Gast. Muestra}) \cdot N \cdot 8000}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

Donde:

DQO: Demanda química de oxígeno (mgO₂/l)

Vol. Gast. Bk: Volumen gastado en el blanco (ml)

Vol. Gast.: Volumen gastado de sulfato ferroso amoniacal en la muestra (ml)

N: Normalidad del sulfato ferroso amoniacal.

(Oxígeno disuelto inicial – Oxígeno disuelto final)

$$\text{DBO5} = \frac{\text{Factor de dilución}}{\text{Factor de dilución}}$$

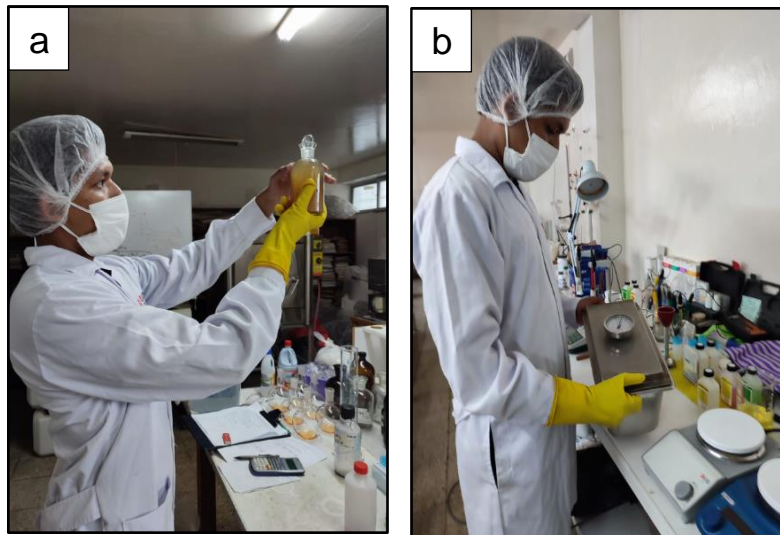


Figura 25 Determinación de OD, DQO y del DBO5, a) Oxígeno disuelto; b) Demanda química de oxígeno

Sólidos totales (ST), Sólidos disueltos (SD) (Método gravimétrico)

Se pudo observar la diferencia de los dos parámetros uno que los sólidos totales no se filtran mientras que los sólidos disueltos se filtran con filtro Whatman N°40 cuantitativo, proceso físico de pesar los vasos secos, verter las muestras con una probeta de 100 ml, llevar a sequedad, volverlos a la estufa a 105°C por 2 horas enfriar y pesar obteniéndose así los resultados.

$$\text{ST (mg/L)} = \frac{(\text{A-B}) * 1000}{V}$$

Donde:

A: Peso del vaso seco a 105 °C por 60 minutos.

B: Peso del vaso + sólidos secos a 105°C por 120 minutos.

V: Volumen de la muestra (litros)

$$SD \text{ (mg/L)} = \frac{(A-B) * 1000}{V}$$

Donde:

A: Peso del vaso seco a 105 °C por 60 minutos.

B: Peso del vaso + sólidos secos a 105°C por 120 minutos.

V: Volumen de la muestra (litros)

Concentración de azul de metileno (Método Espectrofotetría UV/V), la concentración del azul de metileno en la muestra fue tomada en un equipo de espectrofotetría UV/V, a una longitud de onda de 880 nm, elaborando una curva de calibración de 1ppm, 2ppm, 4ppm, 5ppm, con la finalidad de obtener una recta de acuerdo a la ley de Lambert – Beer.



Figura 26 Método espectrofotetría UV/V del agua residual de azul de metileno

Reducción del azul de metileno, se realizó el diseño del tratamiento de agua residual industrial donde la medida de 4 tubos es de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, la medida del tubo para el sistema de aireación es de 60 cm, obteniendo el volumen de 2356 cm³, dentro del tubo se colocó una malla de 100-150 mu el cuál ingresó 950 g de cáscara de *Punica granatum* pasado por la malla +N°12, como también se utilizó 550 g de cáscara de granada que fue pasado por la malla -N°12, el tiempo de caudal 10:56 minutos en un volumen de 0.15 L y el tiempo de retención fue de 10.29 segundos.



Figura 27 Reducción del azul de metileno

Fase 5: Interpretación de tablas

Tabla 3. Normalidad de los parámetros iniciales del agua residual textil con azul de metileno.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PFQBG_I	0,873	9	0,133

Como se puede observar en la tabla 3, el estadístico que se usó fue Shapiro – Wilk, debido a que el grado de libertad es menor a 50 datos. Así mismo, se tiene una significancia de $p > 0.05$ lo que significa que los parámetros iniciales del agua residual textil con azul de metileno presentan una distribución normal y una estadística paramétrica. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 4. Homogeneidad de varianzas en los parámetros iniciales.

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PFQBG_I	Se basa en la media	2,052	2	6	0,209
	Se basa en la mediana	1,452	2	6	0,306
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,452	2	3,952	0,337
	Se basa en la media recortada	2,016	2	6	0,214

Como se puede apreciar en la tabla 4, se tiene una significancia de $p > 0.05$. Entonces, se concluye con los grupos son homogéneos.

Tabla 5. Análisis de varianza de los parámetros iniciales del agua textil con azul de metileno

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	12838104,483	2	6419052,241	6,284	,034
Dentro de grupos	6129135,635	6	1021522,606		
Total	18967240,118	8			

Como se puede observar en la tabla 5, Fischer (F) es medianamente bajo, pero tiene una significancia menor a $p < 0.05$. Entonces, se rechaza la hipótesis nula, porque indica que las medias en comparación son iguales.

Tabla 6. Normalidad de parámetros físicos del biocarbón de granada.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	GI	Sig.
PF_CG	0,814	4	0,130

Como se puede apreciar en la tabla 6, el biocarbón de la granada tiene un valor de significancia mayor al $p > 0.05$. Por lo que, es una estadística paramétrica y presenta una distribución normal. Así mismo, significa la aceptación de la hipótesis nula.

Tabla 7. Determinación del análisis de varianza del biocarbón.

PF_CG	Suma de cuadros	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	808,849	1	808,849	1,841	0,308
Dentro de grupos	878,617	2	439,308		
Total	1687,466	3			

Como se puede observar en la tabla 7, el estadístico de medias tiene una significancia mayor al $p > 0.05$ y un Fischer (F) medianamente pequeño, lo que determina la aceptación de la hipótesis nula.

Tabla 8. Normalidad de los parámetros físico-químicos del tratamiento del agua residual textil.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	GI	Sig.
PFQ_8T	0,744	32	,000

En la tabla 8, los tiempos del tratamiento del agua residual textil con azul de metileno los parámetros físico-químicos presentan una significancia de $p < 0.05$. Entonces, se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis del investigador ya que no presenta una distribución normal.

Tabla 9. Análisis de varianza de los parámetros físico-químico en los 8 tiempos del tratamiento.

PFQ_8T	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	483534,190	3	161178,063	5,555	,004
Dentro de grupos	812474,168	28	29016,935		
Total	1296008,358	31			

En la tabla 9, se puede observar una significancia de $p < 0.05$. Por lo que, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador.

Tabla 10. Normalidad de sólidos totales, disueltos, y suspendidos totales.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PG_8T	,955	24	,350

En la tabla 10, los parámetros gravimétricos como los sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos totales tienen una distribución normal. Puesto que, presentan una significancia de $p > 0.05$ aceptando la hipótesis nula.

Tabla 11. Análisis de varianza de los parámetros gravimétricos.

PG_8T	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	21879271,083	2	10939635,542	32,221	,000
Dentro de grupos	7129988,250	21	339523,250		
Total	29009259,333	23			

En la tabla 11 como se puede apreciar, el valor de Fischer (F) es grande. Entonces, la variabilidad esperada es mayor. Así mismo, se tiene una significancia de $p < 0.05$, lo que significa el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis del investigador.

Tabla 12. Prueba de normalidad para los parámetros biológicos.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PB_8T	,864	24	,004

En la tabla 12, se observa que el valor de significancia es menor al $p < 0.05$. Por lo que, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. Además, no presentan una distribución normal siendo una estadística no paramétrica.

Tabla 13. Anova de los parámetros de oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y DBO5.

PB_8T	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9594334,592	2	4797167,296	230,070	,000
Dentro de grupos	437869,467	21	20850,927		
Total	10032204,059	23			

Como se puede apreciar en la tabla 13, la variabilidad de las medias es mayor que la esperada y el valor de significancia es de $p < 0.05$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador.

Tabla 14. Normalidad de reducción del azul de metileno en los 8 tiempos del tratamiento.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
RAM_8T	,974	8	,925

En la tabla 14, se puede observar que el valor de significancia es mayor a $p > 0.05$. Entonces, es una estadística paramétrica y presenta una distribución normal. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 15. Análisis de varianza de la reducción del azul de metileno

RAM_8T	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16,604	3	5,535	14,710	,013
Dentro de grupos	1,505	4	,376		
Total	18,109	7			

Como se puede apreciar en la tabla 15, el estadístico ANOVA tiene un valor de significancia de $p < 0.05$. Por lo que, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador.

Tabla 16. Homogeneidad de varianzas de la reducción del azul de metileno

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
RAM_8 T	Se basa en la media	4859327300874871000 00000000000,000	3	4	,000
	Se basa en la mediana	4859327300874871000 00000000000,000	3	4	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	4859327300874871000 00000000000,000	3	1,000	,000
	Se basa en la media recortada	5399252556527635000 00000000000,000	3	4	,000

Como se puede apreciar en la tabla 16, los 8 tiempos utilizados en el tratamiento presentan una significancia menor $p < 0.05$. Por lo tanto, los grupos no son homogéneos.

3.6. Método de análisis de datos

Para la presente investigación se aplicó la estadística inferencial para dar respuesta o contrastar las hipótesis, por lo que, para el procesamiento de datos se utilizaron los siguientes programas computacionales:

- SPSS 26: Se utilizó para el análisis estadístico de los datos realizando pruebas estadísticas como la normalidad, ANOVA y entre otros.
- Excel 2016: Se utilizó para las representaciones gráficas de los resultados obtenidos.

3.7. Aspectos éticos

La investigación realizada tuvo en cuenta el cumplimiento de los siguientes principios éticos como:

- La resolución del consejo universitario N.º 0126-2017/UCV.
- Utilización del software Turnitin, para la verificación de la originalidad del trabajo.
- Estructura desarrollada acorde a la guía de producto de investigación de la Universidad César Vallejo, cumpliendo con la norma ISO-690. Puesto que, se mantuvo el respeto a la propiedad intelectual de los autores utilizados como referencia bibliográfica.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización inicial del agua residual industrial de textilería por azul de metileno

Tabla 17. Parámetros físicos y químicos del agua residual inicial.

Código	Temperatura °C	Potencial de Hidrógeno Acido/base	Conductividad eléctrica mS/cm	Potencial Redox mV	Turbidez NTU
ARI- AM	25	8.96	4.82	- 313	598

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Se puede observar que el agua industrial residual que se tomó como muestra inicial presentó una temperatura ambiente, un potencial hidrógeno de 8.96, lo cual se traduce en que existe una alta cantidad de amonio y amoniaco para la formación de nitratos generando así una contaminación del agua. Así mismo, presenta una conductividad eléctrica de 4.82 mS/cm, un potencial redox de -313 mV y una turbidez de 598 NTU, lo que nos indica que la presencia de azul de metileno en un cuerpo hídrico hace que sea altamente tóxico y nocivo para los ecosistemas acuáticos de la naturaleza.

Tabla 18. Oxígeno disuelto (OD) del agua residual industrial textil.

Muestra	Vol. gast. en muestra (ml)	Vol.de muestra (ml)	Normalidad de tiosulfato de sodio	Vol. del Winkler (ml)	OD
					mg/l
ARI - AM	0.4	100	0.02525	300	0.81

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Se puede apreciar que el oxígeno disuelto es de 0.81 mg/L, quiere decir que la presencia de oxígeno disuelto es prácticamente casi inexistente en el agua residual industrial inicial debido a la presencia de azul de metileno.

Tabla 19. Demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual industrial textil.

Muestra	Vol. gast. en muestra (ml)	Vol.de muestra (ml)	Normalidad de sulfato ferroso amoniacal	Vol. gast. (ml)	DQO
					mg/l
ARI - AM	0.09	3	0.25	3	1940.0

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Se puede apreciar que hay una cantidad de 1940 mg/L de demanda química de oxígeno lo que significa que hay microorganismos que se están creando y en consecuencia se están consumiendo todo el oxígeno presente en el agua residual industrial.

Tabla 20. Oxígeno disuelto (OD) inicial del DBO5.

Muestra	Vol. gast. en muestra (ml)	Vol.de muestra (ml)	Normalidad de tiosulfato de sodio	Vol. del Winkler (ml)	OD
					mg/l
ARI - AM	3.1	100	0.02525	300	6.30

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Se puede observar que se creó un oxígeno disuelto inicial de 6.30 mg/L del DBO5, es decir se utilizó una dilución de 0.02525 N de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, con la finalidad de poder evaluar en 5 días cuanto de oxígeno consumen los microorganismos existentes en esta agua contaminada con azul de metileno.

Tabla 21. Oxígeno disuelto (OD) final después de 5 días del DBO5.

Muestra	Vol. gast. en muestra (ml)	Vol.de muestra (ml)	Normalidad de tiosulfato de sodio	Vol. del Winkler (ml)	OD
					mg/l
ARI - AM	0.02	100	0.02525	300	0.04

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Se puede apreciar que después de 5 días se tuvo oxígeno disuelto de 0.04 mg/L, lo cual se corroboró que hay realmente una alta demanda química de oxígeno por la presencia de microorganismos en el agua residual industrial inicial con presencia de azul de metileno.

Tabla 22. Demanda biológica de oxígeno DBO5.

Muestra	Oxígeno disuelto inicial mg/l	Oxígeno disuelto final mg/l	Factor de dilución %	DBO5 mg/l
ARI - AM	6.3	0.04	0.01	626

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Se puede observar que después de 5 días se tuvo una demanda biológica de oxígeno de 667 mg/L, lo cual significa que está por encima de los valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales industriales.

Tabla 23. Sólidos totales (ST).

Muestra	Peso del vaso seco (g)	Peso de vaso+ST (g)	Vol. de muestra (ml)	ST
				mg/l
ARI - AM	98.9023	99.3186	100	4163

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Para obtener los sólidos totales de la muestra inicial, se agitó y luego se vertió en un papel Whatman cuantitativo N.º 40 la cual por el método gravimétrico se obtuvo un valor de 41632 mg/L.

Tabla 24. Sólidos disueltos (SD).

Muestra	Peso del vaso seco (ml)	Peso de vaso+ST (ml)	Vol. de muestra (ml)	SD
				mg/l
ARI - AM	98.3807	98.6673	100	2866

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Como se puede apreciar, se obtuvo 2866 mg/L de sólidos disueltos lo cual viene a ser la muestra inicial filtrada que se obtuvo a partir de los sólidos totales.

Tabla 25. Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Muestra	Sólidos Totales mg/l	Sólidos disueltos mg/l	Vol. de muestra (ml)	SST
				mg/l
ARI - AM	4163	2866	100	1297

ARI-AM: Agua residual Industrial inicial - con azul de metileno

Como se puede observar, se cuantificó un valor de 1297 mg/L de sólidos suspendidos totales, lo cual significa que está sobre los valores máximos admisibles por descargas de aguas residuales industriales.

4.2. Obtención de los parámetros físico-químicos de la cáscara de granada

Tabla 26. Rendimiento de cáscara de la fruta *Punica granatum* (Método físico).

Muestra	Peso inicial de granada g	Peso de cáscara de granada g	Peso de granada pelada g	Rendimiento %
G1	427	96	331	22.48
G2	392	70	322	17.86
G3	400	76	324	19.00
G4	386	59	327	15.28

G: Granada

Como se puede observar, se realizó el peso inicial de la fruta con la cáscara y de la fruta sin la cáscara para posteriormente mediante el rendimiento tener conocimiento de la cantidad de cáscara de granada que se va utilizar para la realización del trabajo de investigación. Así mismo, se trabajó con el promedio del rendimiento de las muestras utilizadas.

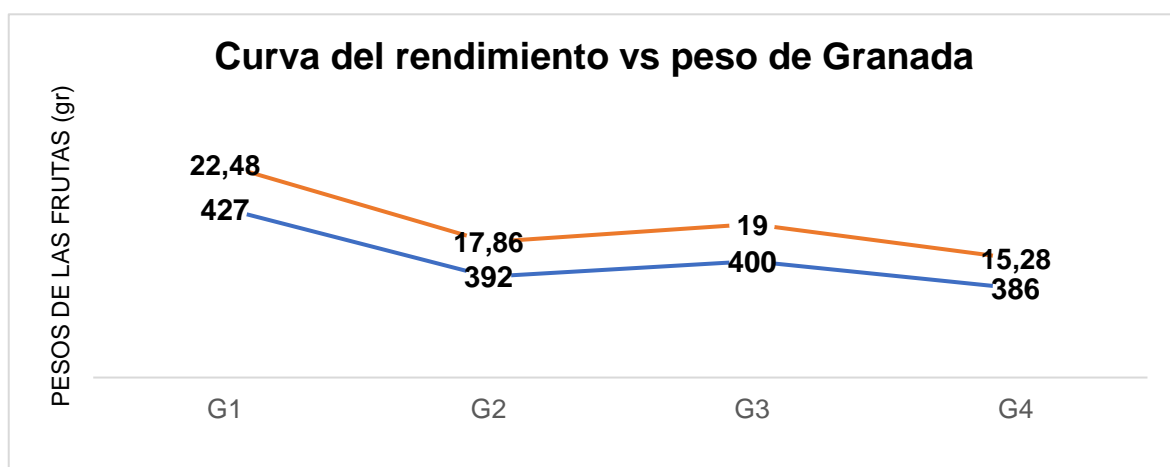


Figura 28 Rendimiento de la cáscara de *Punica granatum*

Según Figura 28 se aprecia que las granadas de acuerdo a su peso son las que mayor cantidad de cáscara se pudo obtener, teniendo un rendimiento más óptimo como se indica en las curvas de rendimiento.

Tabla 27. Parámetros físicos y químicos de la cáscara de granada.

Código	Temperatura (°C)	Potencial de Hidrógeno Ácido/Base	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Potencial Redox (mV)
CG-FR	25.3	3.81	23	94.6
CG-CR	25.3	7.22	23	94.6

CG-FR: Cáscara de granada fresca.

CG-CR: Cáscara de granada carbonizada.

Se puede apreciar que la cáscara de granada cambio de ácido a ligeramente alcalino después de haber realizado sobre ella el tratamiento de pirólisis.

Tabla 28. Cálculo de la humedad de la cáscara extraída de la granada (Método físico).

Muestra	Peso del C g	Peso del C + CH g	Peso del C + CS g	Humedad %
HCG-1	47.5075	50.3758	48.5691	62.99
HCG-2	48.5187	52.2378	49.9412	61.75
HCG-3	53.3366	59.9340	56.2893	55.24
HCG-4	50.4832	61.0962	54.6189	61.03
HCG-5	51.6371	56.7351	53.6469	60.58

HCG: Humedad de cáscara de granada

Como se puede apreciar, se realizó el cálculo de humedad de cáscaras de granadas de 5 muestras para luego trabajar con el promedio de humedad de todas las muestras.

Tabla 29. Densidad aparente de la cáscara de granada (Método parafina).

Muestra	Peso de muestra g	Volumen cm ³	Densidad aparente g/cm ³
PFBCG	7.8	15	0.52

Como se puede observar se obtuvo una densidad aparente de 0.52 g/cm³ de la cáscara de granada y se aplicó el método de la parafina para su cuantificación.

4.3. Recopilación de datos en el proceso térmico de la cáscara de granada.

Tabla 30. Curva térmica de la cáscara de granada.

Muestra	Peso del C g	Peso del C+MH g	Peso del C+MS g	Tiempos minutos
C1 - 75°C	49.1876	51.9154	51.9143	2.26
C2 - 100°C	48.3002	51.8572	51.8517	7.23
C3 - 125°C	44.4692	47.6333	47.6056	14.03
C4 - 150°C	55.1644	58.2920	58.1557	23.57
C5 - 175°C	48.6456	51.8400	51.5983	37.24
C6 - 200°C	54.6932	57.8010	57.3352	58.59
C7 - 225°C	46.6742	49.7566	49.0488	105.00
C8 - 250°C	43.5949	46.6300	45.6560	167.00

Como se puede apreciar, se realizaron 8 muestras a diferentes temperaturas y se obtuvo en cada muestra un determinado tiempo evaluado en minutos. Todo este proceso se realizó con la finalidad de saber en qué temperatura la cáscara se comienza a carbonizar para posteriormente utilizar la misma temperatura en pirólisis de la cáscara de granada.

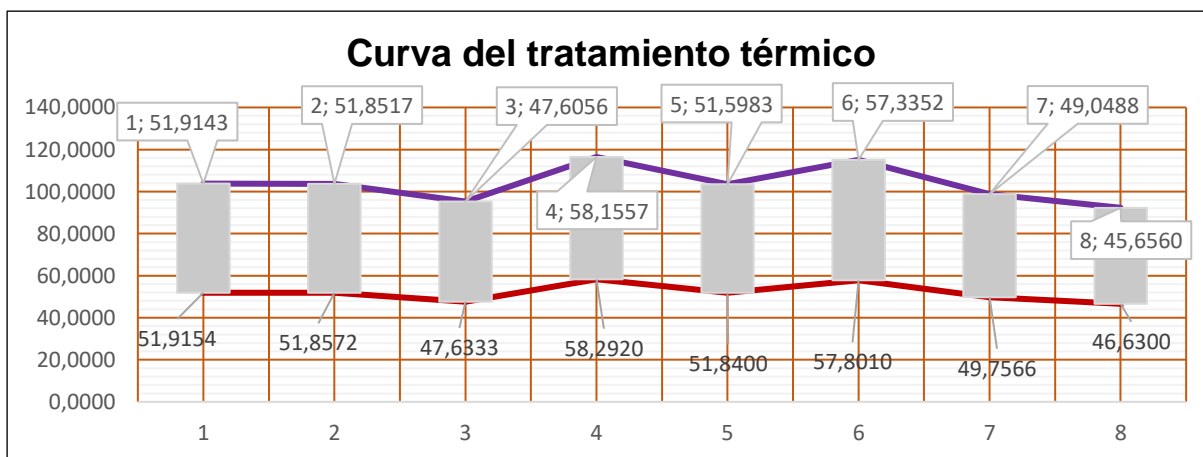


Figura 29 Curva del tratamiento térmico de la cáscara de granada

Como se puede observar en la Figura 29, las muestras de cáscara de granada estando a una mayor temperatura y a una mayor cantidad de tiempo dentro de la estufa se obtuvo una mayor disminución de humedad de la granada.

Tabla 31. Humedad del biocarbón de cáscara de granada.

Código	Peso del C g	Peso del C+BC g	Peso C + BCS g	Humedad %
PFBCG	55.1633	57.1421	57.0252	5.88

Como se puede apreciar, ya habiendo realizado el proceso de pirólisis de la cáscara de granada, se procedió a realizar el cálculo de la humedad ya estando la cáscara de granada carbonizada en la cual se tuvo como resultado 5.88 % de humedad.

Tabla 32. Materia volátil del biocarbón de la cáscara de granada.

Código	Peso C g	Peso C + M g	Peso de muestra g	Peso del C + MS 900°C*7'	MV %
PFBCG	24.8314	25.4432	0.6118	25.1837	42.46

Como se puede apreciar, se obtuvo un 42.46 % de materia volátil de la cáscara de granada haciendo uso de una mufla a una temperatura de 900°C y en un tiempo de 7 minutos.

Tabla 33. Ceniza del biocarbón de cáscara de granada.

Código	Peso C g	Peso C + M g	Peso de muestra g	Peso del C + MS 900°C *2H	Ceniza %
PFBCG	24.8314	25.4432	0.6118	24.8708	6.44

Como se puede apreciar, se obtuvo un 6.44 % de ceniza del biocarbón de cáscara de granada haciendo uso de una mufla a una temperatura 900°C en un tiempo de 35 minutos.

Tabla 34. Carbón fijo del biocarbón de cáscara de granada.

Código	Ceniza %	Materia Volátil %	Factor	CF %
PFBCG	6.44	42.46	100	51.1

En esta etapa, se tuvo como datos a utilizar el 42.46 % de materia volátil y el 6.44% de ceniza que se obtuvieron previamente para poder hacer el cálculo del carbón fijo del biocarbón de cáscara de granada. Así mismo, se tomó como referencia un factor de 100, finalmente se cuantificó en un 51.1% de carbón fijo del biocarbón de cáscara de granada.

4.4. Evaluación de bioadsorción de cáscara de granada (Método Langmuir) y (Método Espectrofotometría UV/V).

Tabla 35. Elaboración de la solución madre de azul de metileno (C₁₆ H₁₈ CIN₃S).

Código	Pureza %	Peso molecular g/mol	Peso del azul de metileno (g)	Concentración (ppm, mg/L)
SM-AM	98	319.86	10.204	100

Como se puede apreciar, se tuvo una solución madre de una concentración de 100 ppm a una pureza del 98% para realizar los análisis de azul de metileno posteriormente.

Tabla 36. Determinación de la constante (k) a partir de 100 ppm.

Volumen ml	Concentración ppm	Transmitancia %	Absorbancia	K
100	0.5	79	0.102373	0.378382
100	1	62.7	0.202732	0.378382
100	2	32.4	0.489455	0.378382
100	3	19.1	0.718967	0.378382
			0.378382	

Para la determinación de la constante “k” se tuvo que trabajar con 4 diferentes concentraciones de azul de metileno como se puede observar en la tabla 22, con la finalidad de obtener 4 porcentajes de transmitancia. Posteriormente, se aplicó una fórmula logarítmica para el cálculo de la absorbancia para cada porcentaje de transmitancia obtenida. Finalmente, ya teniendo los valores de absorbancia de las cuatro concentraciones, se realizó el promedio de ellas y se obtuvo el valor de la constante “k” que fue de 0.378382.

Tabla 37. Concentración Inicial de la muestra textil azul de metileno.

Muestra ml	Vol. de diluc. ml	Transmitancia %	Absorbancia	K	Concentración mg/L	Concentración inicial ppm
1	100	87.5	0.057992	0.378382	0.153263	15.32630
1.5	100	83.1	0.080399	0.378382	0.212481	14.16611
3	100	71.9	0.143271	0.378382	0.378641	12.62012
5	100	57.3	0.241845	0.378382	0.639157	12.78313
						13.72391

Como se puede apreciar, para obtener una concentración inicial de 13.72931 ppm de la muestra de azul de metileno, se tuvo como referencia 4 muestras con diferentes valores de transmitancia, absorbancia y concentración, con la finalidad de poseer 4 valores de concentraciones iniciales de azul de metileno y realizar el promedio de ellas.

Tabla 38. Cálculo de la cantidad de adsorción de la cáscara de granada (método Langmuir).

Código	Peso del biocarbón (g)	Tiempos	Concentración	$X = C_0 - C_e$	$q = X/m$	Eje X	Eje Y
		minutos	equilibrio				
C_0	0	0	0	3	0	3	0
C_{t1}	10	25	0.7639	2.2361	0.2236	0.7639	3.416216
C_{t2}	30	50	0.5033	2.4967	0.0832	0.5033	6.049278
C_{t3}	50	75	0.9554	2.0446	0.0409	0.9554	23.35941

Como se puede apreciar, se tuvo una concentración inicial de 3 ppm de azul de metileno en un tiempo 0 sin utilizar ningún peso de biocarbón. Luego de ello, se utilizó 10, 30 y 50 g de peso de biocarbón en un tiempo de 25, 50 y 75 minutos respectivamente, teniendo como respuesta una disminución de concentración de azul de metileno de 0.7639, 0.5033 y 0.9554 mg/g en el mismo orden establecido. Finalmente, para el cálculo de la cantidad de adsorción de la cáscara de granada se dividió la diferencia de la concentración inicial y la concentración de equilibrio de azul de metileno entre la cantidad de peso de biocarbón utilizado teniendo como resultados una cantidad de adsorción de la cáscara de granada de: 0.2236, 0.0832 y 0.0409 mg/g respectivamente.

Tabla 39. Determinación de la concentración de equilibrio (método espectrofotometría UV/V).

Código	Pesos biocarbón (g)	Concentración	Transmitancia	Absorbancia	k	C _e
		mg/l	%			
T ₀ – 0´	0	3	0	0	0.378382	0
T ₁ – 25´	10	3	51.4	0.289036881	0.378382	0.7639
T ₂ – 50´	30	3	64.5	0.190440285	0.378382	0.5033
T ₃ – 75´	50	3	43.5	0.361510743	0.378382	0.9554
T ₄ – 100´	30	3	56.5	0.247951552	0.378382	0.6553

Como se puede apreciar en la Tabla 40, se utilizó el espectrofotómetro para la obtención de la transmitancia en las 5 muestras analizadas con la finalidad de obtener la absorbancia en cada una de ellas.

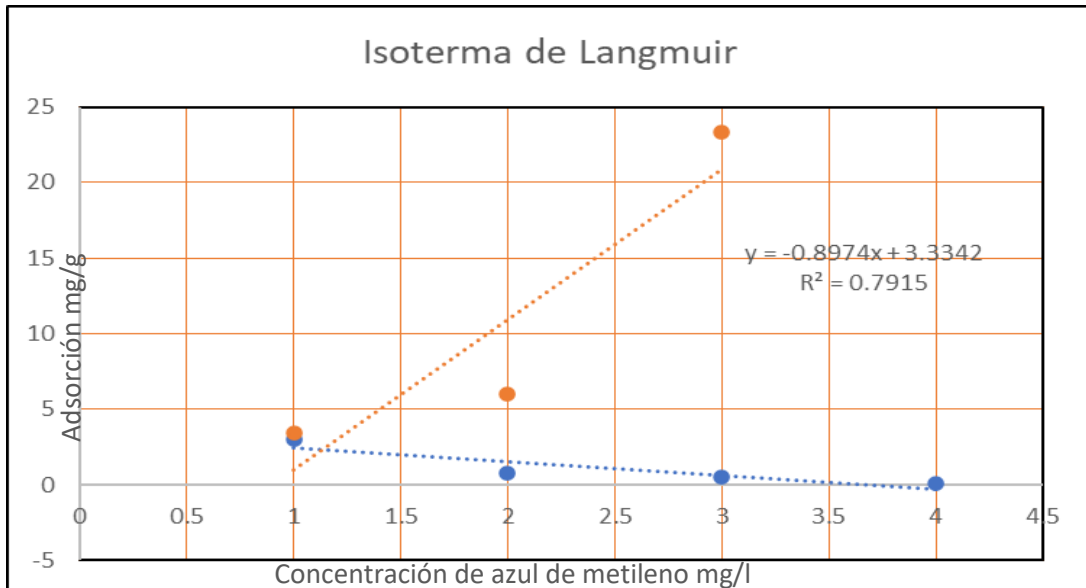


Figura 30 Isoterma de Langmuir

Como se puede apreciar en la Figura 30, se realizó la Isoterma de Langmuir haciendo uso del software Excel 2016 presentando una recta lineal. Finalmente, se obtuvo los siguientes datos:

$$y = -0.8974x + 3.3342$$

Pendiente: -0.8974

Ordenada: 3.3342

cálculo de b y k

$$b = -1.1143$$

$$k = -0.2691$$

$$Q_{\text{mín. (capacidad de adsorción)}} = \frac{C_0 - C_{\text{total}}}{X} = 2.53 \text{ mg/g}$$

$$\text{Lineal de Langmuir: } \frac{C}{q} = \frac{1}{b} C + \frac{1}{Kb}$$

C: constante de equilibrio del colorante (mg/l); q: cantidad de tinte adsorbido en equilibrio (mg/g); k y b: constante de Langmuir relacionada con la capacidad de adsorción (mg/g).

4.5. Tratamiento del agua residual textil contaminado con azul de metileno

Volumen de muestra: 2000 ml

Tiempo: minutos

Tabla 40. Parámetros físico-químicos (método potenciométrico).

Muestra	Temperatura °C	Potencial de hidrogeno ácido/base	Conductividad eléctrica mS/cm	Potencial redox mV	Turbidez
ART - (M1- 35 minutos)	25.6	9.56	173.5	76.5	562
ART - (M2- 70 minutos)	25.5	8.85	162.2	81.2	489
ART - (M3- 105 minutos)	24.1	8.64	158.6	89.4	426
ART - (M4- 140 minutos)	23.1	8.45	145.8	95.8	398
ART - (M5- 175 minutos)	21.3	8.39	137.2	107.2	345
ART - (M6- 210 minutos)	19.0	8.25	125.4	110.1	265
ART - (M7- 245 minutos)	19.3	8.16	100.3	115.2	185
ART - (M8- 280 minutos)	19.5	8.10	85.6	119.4	120

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada se obtuvo una temperatura de 19,5 °C, un pH de 8.10, una conductividad eléctrica de 85.6 mS/cm, un potencial redox de 119.4 mV y una turbidez de 120 NTU.

Tabla 41. Sólidos totales (método gravimétrico).

Muestra	Peso del vaso seco (g)	Peso del vaso +sólidos (g)	Volumen de la muestra (ml)	Sólidos Totales (mg/l)
ART - (M1- 35 minutos)	94.5704	94.9780	100	4076
ART - (M2- 70 minutos)	102.3261	102.7211	100	3950
ART - (M3- 105 minutos)	97.5604	97.9505	100	3901
ART - (M4- 140 minutos)	98.5139	98.8761	100	3622
ART - (M5- 175 minutos)	98.3579	98.7112	100	3533
ART - (M6- 210 minutos)	105.5634	105.8982	100	3348
ART - (M7- 245 minutos)	104.4169	104.6415	100	2246
ART - (M8- 280 minutos)	100.5949	100.7831	100	1882

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo reducir los 4163 mg/L de sólidos

totales que se tenía en la caracterización inicial de parámetros fisicoquímicos a 1882 mg/L de sólidos totales, teniendo una reducción de 54.79% de sólidos totales en la muestra tratada.

Tabla 42. Sólidos disueltos (método gravimétrico).

Muestra	Peso del vaso seco (g)	Peso del vaso +sólidos (g)	Volumen de la muestra ml	Sólidos Disueltos mg/L
ART - (M1- 35 minutos)	94.3504	94.6167	100	2663
ART - (M2- 70 minutos)	102.3141	102.5859	100	2718
ART - (M3- 105 minutos)	97.5604	97.8221	100	2617
ART - (M4- 140 minutos)	98.6699	98.9111	100	2412
ART - (M5- 175 minutos)	98.3579	98.6114	100	2535
ART - (M6- 210 minutos)	105.6414	105.8768	100	2354
ART - (M7- 245 minutos)	104.5590	104.7485	100	1895
ART - (M8- 280 minutos)	100.4849	100.6386	100	1537

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo reducir los 2866 mg/L de sólidos totales que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 1537 mg/L de sólidos totales, teniendo una reducción de 46.37% de sólidos disueltos en la muestra tratada.

Tabla 43. Sólidos suspendidos totales.

Muestra	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos Disueltos mg/L	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
ART - (M1- 35 minutos)	4076	2663	1413
ART - (M2- 70 minutos)	4050	2718	1332
ART - (M3- 105 minutos)	3901	2617	1284
ART - (M4- 140 minutos)	3622	2412	1210
ART - (M5- 175 minutos)	3533	2535	998
ART - (M6- 210 minutos)	3348	2354	994
ART - (M7- 245 minutos)	2246	1895	351
ART - (M8- 280 minutos)	1882	1537	345

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo reducir los 1297 mg/L de sólidos disueltos que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 345 mg/L de sólidos disueltos, teniendo una reducción de 73.4% de sólidos suspendidos totales en la muestra tratada.

Tabla 44. Oxígeno disuelto (método Winkler).

Muestra	Volumen gast. En muestra (ml)	Volumen del Winkler ml	Volumen de la muestra (ml)	Normalidad Tiosulfato de sodio	Oxígeno disuelto mg/L
ART - (M1- 35 minutos)	1.95	300	100	0.02525	0.79
ART - (M2- 70 minutos)	1.9	300	100	0.02525	0.84
ART - (M3- 105 minutos)	2.50	300	100	0.02525	1.02
ART - (M4- 140 minutos)	3.00	300	100	0.02525	1.42
ART - (M5- 175 minutos)	3.85	300	100	0.02525	2.35
ART - (M6- 210 minutos)	4.50	300	100	0.02525	2.75
ART - (M7- 245 minutos)	4.85	300	100	0.02525	2.96
ART - (M8- 280 minutos)	4.98	300	100	0.02525	3.04

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo aumentar de 0.81 mg/L de oxígeno disuelto que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 3.04 mg/L de oxígeno disuelto, teniendo un aumento de 2.23 mg/L de oxígeno disuelto en la muestra tratada.

Tabla 45. Demanda química del oxígeno (método dicromato de potasio).

Muestra	Volumen gastado en blanco (ml)	Volumen gastado en la muestra (ml)	Volumen de la muestra ml	Normalidad Sulfato ferroso amoniacal	Demanda química del oxígeno mg/L
ART - (M1- 35 minutos)	3.00	0.10	3	0.25	1933.33
ART - (M2- 70 minutos)	3.00	0.20	3	0.25	1866.67
ART - (M3- 105 minutos)	3.00	0.55	3	0.25	1633.33
ART - (M4- 140 minutos)	3.00	0.75	3	0.25	1500.00
ART - (M5- 175 minutos)	3.00	0.85	3	0.25	1433.33
ART - (M6- 210 minutos)	3.00	0.99	3	0.25	1340.00
ART - (M7- 245 minutos)	3.00	1.01	3	0.25	1326.67
ART - (M8- 280 minutos)	3.00	1.08	3	0.25	1280.00

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo reducir los 1940 mg/L de DQO que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 1280 mg/L de DQO, teniendo una reducción de 34.02% de DQO en la muestra tratada.

Tabla 46. Oxígeno disuelto inicial del DBO5.

Muestra	Volumen gastado en muestra (ml)	Volumen del Winkler (ml)	Volumen de la muestra (ml)	Normalidad Tiosulfato de sodio	Oxígeno disuelto (mg/L)
ART - (M1- 35 minutos)	4.15	300	100	0.02525	8.44
ART - (M2- 70 minutos)	4.16	300	100	0.02525	8.46
ART - (M3- 105 minutos)	4.17	300	100	0.02525	8.48
ART - (M4- 140 minutos)	4.18	300	100	0.02525	8.50
ART - (M5- 175 minutos)	4.19	300	100	0.02525	8.52
ART - (M6- 210 minutos)	4.20	300	100	0.02525	8.54
ART - (M7- 245 minutos)	4.21	300	100	0.02525	8.56
ART - (M8- 280 minutos)	4.23	300	100	0.02525	8.60

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo aumentar los 6.30 mg/L de oxígeno disuelto inicial del DBO5 que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 8.60 mg/L de oxígeno disuelto inicial de DBO5, teniendo un aumento de 2.3 % de oxígeno disuelto inicial de DBO5 en la muestra tratada.

Tabla 47. Oxígeno disuelto final después de 5 días del DBO5.

Muestra	Volumen gastado en muestra (ml)	Volumen del Winkler (ml)	Volumen de la muestra (ml)	Normalidad Tiosulfato de sodio	Oxígeno disuelto (mg/L)
ART - (M1- 35 minutos)	1.04	300	100	0.02525	2.11
ART - (M2- 70 minutos)	1.07	300	100	0.02525	2.18
ART - (M3- 105 minutos)	1.17	300	100	0.02525	2.38
ART - (M4- 140 minutos)	1.21	300	100	0.02525	2.46
ART - (M5- 175 minutos)	1.23	300	100	0.02525	2.50
ART - (M6- 210 minutos)	1.26	300	100	0.02525	2.56
ART - (M7- 245 minutos)	1.28	300	100	0.02525	2.60
ART - (M8- 280 minutos)	1.33	300	100	0.02525	2.70

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo aumentar los 0.04 mg/L de oxígeno disuelto final del DBO5 que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 2.70 mg/L de oxígeno disuelto final del DBO5, teniendo un aumento de 2.66 % de oxígeno disuelto final del DBO5 en la muestra tratada.

Tabla 48. Demanda biológica de oxígeno (DBO5).

Muestra	Oxígeno disuelto inicial (mg/L)	Oxígeno disuelto final (mg/L)	Dilución %	DBO5 (mg/L)
ART - (M1- 35 minutos)	8.44	2.11	1	633.00
ART - (M2- 70 minutos)	8.46	2.18	1	628.00
ART - (M3- 105 minutos)	8.48	2.38	1	610.00
ART - (M4- 140 minutos)	8.50	2.46	1	604.00
ART - (M5- 175 minutos)	8.52	2.50	1	602.00
ART - (M6- 210 minutos)	8.54	2.56	1	598.00
ART - (M7- 245 minutos)	8.56	2.60	1	596.00
ART - (M8- 280 minutos)	8.60	2.70	1	590.00

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo reducir los 626 mg/L de DBO5 que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 590 mg/L de DBO5, teniendo una reducción de 5.75 % de DBO5 en la muestra tratada.

Tabla 49. Concentración del azul de metileno en el tratamiento.

Muestra	Transmitancia %	Absorbancia	Constante K	Concentración azul metileno (ppm)	Concentración Inicial azul metileno (ppm)
ART - (M1- 35 minutos)	65.60	0.18309616 1	0.37832	9.7	13.7
ART - (M2- 70 minutos)	68.40	0.16494389 8	0.37832	8.7	
ART - (M3- 105 minutos)	72.38	0.14038142 1	0.37832	7.4	
ART - (M4- 140 minutos)	73.87	0.13153190 1	0.37832	7.0	
ART - (M5- 175 minutos)	74.38	0.12854382 6	0.37832	6.8	
ART - (M6- 210 minutos)	76.98	0.11362209 3	0.37832	6.0	
ART - (M7- 245 minutos)	77.56	0.1103622	0.37832	5.8	
ART - (M8- 280 minutos)	81.56	0.08852278 3	0.37832	4.7	

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

$$\text{Reducción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 = 65.69\%$$

Como se puede apreciar, en 280 minutos de tratamiento del agua residual textil con el biocarbón de cáscara de granada, se pudo reducir los 13.7 mg/L de azul de metileno que se tenía en la caracterización inicial de parámetros físico-químicos a 4.7 de azul de metileno, teniendo una reducción de 65.69 % de azul de metileno en la muestra tratada.

Tabla 50. Capacidad de adsorción del biocarbón en el proceso.

Muestra	Peso de biocarbón (g)	Tiempos del proceso en minutos	Concentración de Equilibrio (Ce) (mg/L)	X= Ce - Cf	q= X/m
ART - (M1- 35 minutos)	1500	35	9.7	5.0	0.00335
ART - (M2- 70 minutos)	1500	70	8.7	4.0	0.00267
ART - (M3- 105 minutos)	1500	105	7.4	2.7	0.00180
ART - (M4- 140 minutos)	1500	140	7.0	2.3	0.00153
ART - (M5- 175 minutos)	1500	175	6.8	2.1	0.00453
ART - (M6- 210 minutos)	1500	210	6.0	1.3	0.00087
ART - (M7- 245 minutos)	1500	245	5.8	1.1	0.00073
ART - (M8- 280 minutos)	1500	280	4.7	0.0	0

ART - (M1- 35 minutos): Agua residual textil (muestra – minutos)

Como se puede apreciar en la tabla 50, a los 280 minutos de realizar el tratamiento del agua residual textil mediante el biocarbón de cáscara de granada se tuvo una mayor capacidad de adsorción por parte del biocarbón de cáscara de granada logrando así una capacidad de adsorción de 9.43 mg/g.

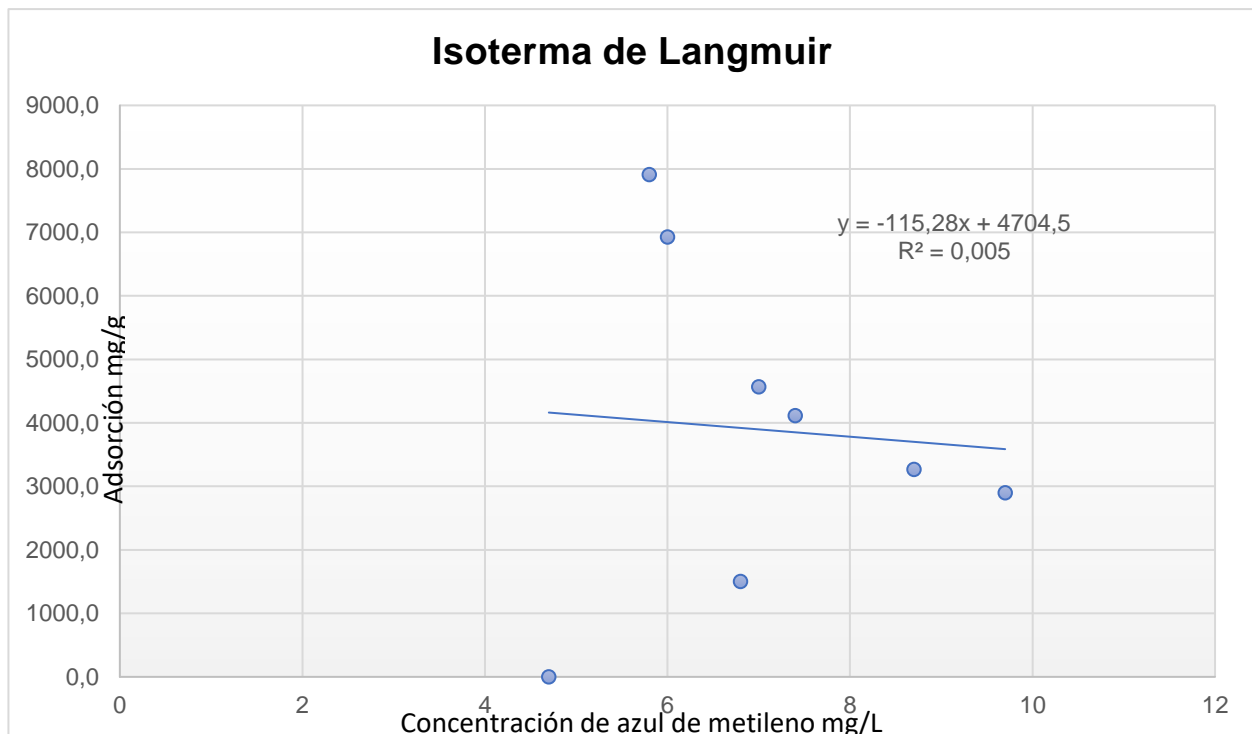


Figura 31 Capacidad de adsorción del biocarbón en el proceso

Como se puede apreciar, se realizó la Isoterma de Langmuir haciendo uso del software estadístico SPSS obteniendo como resultado una línea recta lineal, teniendo como datos lo siguiente:

Pendiente: - 115.28X

Ordenada: 4704.5

$y = -115.28x + 4704.5$

$b = -0.0087$

$K = -1.84E-06$

$Q_{\text{máx.}}$ (capacidad de adsorción máxima) = 9.43 mg/g

V. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos de la investigación se desarrolló una comparación con los diversos estudios recopilados como antecedentes.

Se puede encontrar una gran cantidad de industrias textiles en el Perú que hacen uso en gran medida de colorantes como el azul de metileno, los cuales la mayor parte de ellos son empresas informales que no cumplen con los valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de sus efluentes industriales en el sistema de alcantarillado sanitario dando origen a consecuencias negativas en lo económico, social y ambiental.

Además, trayendo consigo un daño a corto, mediano y largo plazo de las infraestructuras sanitarias que tratan las aguas residuales descargadas por parte de estas irresponsables industrias textiles y que a su vez tiene un reflejo negativo en los diversos procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Teniendo en cuenta ello, en la investigación realizada por Mohamed et al., (2021) utilizando del método correlacional y la aplicación del modelo de Langmuir se utilizaron nanopartículas de hematita verde los cuales llevaban consigo extractos de granadas en 3 distintas concentraciones las cuales fueron 2g, 4g y 6g respectivamente. Los 3 productos seleccionados se aplicaron como adsorbentes en un cuerpo de agua con presencia del colorante azul de metileno en lo que se obtuvo como resultados una capacidad máxima de adsorción de los productos seleccionados de 666, 1111 y 909 mg/g respectivamente y con una reducción del azul de metileno de un 90% con un tiempo en contacto de 480 minutos en el agua tratada. Mientras que en la investigación realizada se tuvo una capacidad de adsorción mínima de 2.53 mg/g, una capacidad de adsorción máxima de 9.43 mg/g y una reducción del azul de metileno de un 65,69% en 280 minutos de haber realizado el tratamiento.

Como se puede apreciar, en la investigación realizada por Mohamed, et al., (2021) se tuvo una mayor capacidad de adsorción que en la investigación realizada debido a que ellos emplearon partículas nanométricas, lo cual como su mismo nombre lo indica, son partículas con un tamaño equivalente a 10^{-9} m, lo que significa que habrá una mayor capacidad de adsorción ya que el adsorbente tendrá una mayor área de superficie en contacto con el azul de metileno (adsorbato). Mientras que, en la investigación se utilizaron partículas milimétricas como adsorbentes que son equivalente a 10^{-3} m, por lo cual se tuvo una menor área de superficie en contacto con el azul de metileno y por lo tanto una menor reducción del colorante. Así mismo, en la investigación hecha por Balarak et al., (2015) en la que hace uso de residuos de canela para la adsorción del azul de metileno aplica una metodología estadística y la utilización de modelos cinéticos como: Isoterma de Freundlich e Isoterma de adsorción de Langmuir, obtuvo como resultados que el tiempo adecuado de contacto de los residuos de canela con el azul de metileno fue de 75 min, el pH óptimo considerado para una mejor adsorción sostuvo que fue de 7.1. Además, también menciona que la temperatura adecuada para el tratamiento fue de 25°C con una dosis de residuos de canela de 3,5 g/L en una concentración inicial de azul de metileno de 25 mg/L teniendo una capacidad de adsorción de 16,7 mg/g y una reducción de 33,4% de azul de metileno.

Mientras que, en la presente investigación, se tuvo que el tiempo adecuado para cada tratamiento fue de 35 minutos, el pH y la temperatura del efluente textil en cada tratamiento tuvieron un ligero cambio y no se mantenían constantes como indica en dicha investigación. Además, la dosis óptima para el tratamiento fue de 550 g en un tamaño de partícula de 1.70 mm de cáscara de *Punica granatum*. Así mismo, la concentración inicial de azul de metileno del agua residual fue de 13.7 ppm en la que se tuvo una capacidad de adsorción de 9.43 mg/g y una reducción de azul de metileno de 65,69%. Comparando los resultados descritos, se puede deducir que el tiempo adecuado de contacto depende del diseño de tratamiento a realizar, respecto al pH del agua contaminada a tratar, efectivamente tiene que ser alcalino o ligeramente alcalino ya que muchos estudios sostienen que el medio a tratar tiene que ser alcalino o levemente alcalino para una mejor adsorción del adsorbente sobre el colorante debido a que el azul de metileno es un compuesto catiónico y si se realizara un tratamiento de adsorción en un medio ácido no se apreciaría una alta captación del azul de metileno por los adsorbentes utilizados.

Es por eso que, es preferible utilizar el método de adsorción en un medio básico. Además, el tratamiento realizado con la cáscara de *Punica granatum* en comparación con los residuos de canela fue superior reduciendo un 9 ppm de azul de metileno que equivale a 65,69% de su concentración inicial. Esto se pudo dar ya que en la cáscara de granada existe una gran cantidad de grupos funcionales llamados carboxilos, los cuales favorecen a una mejor adsorción debido a que hay una donación de protones al momento que hace contacto la cáscara de granada con el azul de metileno. Por otra parte, en la investigación hecha por Arrieta et al., (2018) realizaron un estudio relacional utilizando el modelo Isoterma de Freundlich y el modelo de Isoterma de Langmuir, en la que aplicó la cáscara de yuca transformada con ácido oxálico para la adsorción del azul de metileno en soluciones acuosas teniendo como resultados: Una capacidad de adsorción de 24.87 mg/g y una reducción del azul de metileno de 99.48% en una concentración de 125 mg/L de tinte y en un tiempo de 120 minutos de tratamiento. Mientras que, en la investigación realizada se tuvo una capacidad de adsorción de 9.43 mg/g, una reducción del azul de metileno de 65.69% en una concentración de 13.7 mg/L y en un tiempo de 280 minutos.

Comparando los resultados de ambas investigaciones se puede apreciar que la capacidad de adsorción de la cáscara de yuca alterada químicamente con ácidos oxálicos es extremadamente alta y esto se debe principalmente al aumento de grupos funcionales de ácidos oxálicos en la cáscara de yuca teniendo así una mayor área superficial en contacto con el azul de metileno favoreciendo de manera significativa a la adsorción del colorante en muy poco tiempo.

En cambio, en la presente investigación no se añadió un aditivo químico a la cáscara de granada, simplemente se utilizó el proceso de pirólisis para tener una mejor capacidad de adsorción. Finalmente, en la investigación realizada por Lakshmiathy y Sarada (2015) con un nivel de investigación relacional utilizando modelos de isotermas como Temkin, Freundlich y Langmuir, presentan a la cáscara de sandía como un adsorbente del colorante azul de metileno, teniendo como resultados: Una capacidad de adsorción de 46.1 mg/g, una reducción de 88% de azul de metileno en una concentración de 50 mg/L haciendo uso de una dosis de 0.5g/L en un tiempo de tratamiento de 30 minutos.

Lakshmiathy y Sarada (2015) sostienen que el pH no tiene importancia en el proceso de adsorción del azul de metileno y que el factor predominante para una mayor adsorción de azul de metileno es la temperatura en lo cual mencionan que a mayor temperatura esté la muestra con presencia de azul de metileno mayor será la adsorción del adsorbente sobre el colorante. Mientras que, en la presente investigación se evidenció que el pH sí juega un rol importante en la adsorción del azul de metileno ya que en cada tratamiento realizado en un tiempo de 35 minutos iba disminuyendo conforme iba aumentando la capacidad de adsorción del biocarbón de la cáscara de granada.

Mientras que, la temperatura iba disminuyendo conforme aumentaba la reducción del azul de metileno en el agua contaminada con el colorante lo cual se obtuvo una reducción de 65,69% de azul de metileno a un pH de 8.10 y a una temperatura de 19.5°C logrando una capacidad de adsorción de 9.43 mg/g en un tiempo total de 280 minutos. Lo cual se puede deducir que, no todos los adsorbentes aplicados para el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes van a tener los mismos efectos en los parámetros físico químicos de la muestra tratada.

VI. CONCLUSIONES

1. La cáscara de *Punica granatum* tuvo el valor máximo de adsorción del azul de metileno del efluente de la industria textil fue de 9.43 mg/g.
2. La obtención de cáscara de *Punica granatum* para reducir el azul de metileno en los efluentes textiles fue de 41 kg.
3. Se determinó una granulometría de ASTM 422 +N.º 12 ; -Nº 12 (1.70 mm) y dosis óptimas de 550 g y 950 g de materia prima del biocarbón de *Punica granatum*.
4. Se determinó un tiempo adecuado de 35 minutos para la interacción de la cáscara de *Punica granatum* con el efluente de la industria textil.

VII. RECOMENDACIONES

- 1.** Emplear un mayor número de muestras de análisis para lograr un mejor porcentaje de reducción del azul de metileno de los efluentes residuales textiles mediante la cáscara de granada.
- 2.** Optar por un número de malla menor a ASTM 422 – 1.70 mm en la fase de granulometría con la finalidad de tener un mayor porcentaje de reducción del azul de metileno.
- 3.** Reutilizar el agua tratada con la cáscara de granada para fines de riego de jardines y de tierras de cultivo.

REFERENCIAS

ADESINA, A.O., ELVIS, O.A., MOHALLEM, N.D.S. and OLUSEGUN, S.J. Adsorption of Methylene blue and Congo red from aqueous solution using synthesized alumina–zirconia composite. *Environmental Technology*. vol. 42, no. 7, pp. 1061–1070, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1652696>

ISSN: 0959-3330.

AHMED, M.J., HAMEED, B.H. and HUMMADI, E.H. Review on recent progress in chitosan/chitin-carbonaceous material composites for the adsorption of water pollutants. *Carbohydrate Polymers*, vol. 247, pp. 116690, 2020. Disponible en: [DOI 10.1016/j.carbpol.2020.116690](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116690).

ISSN: 01448617.

ARRIETA, Alberto. et al. Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada químicamente con ácido oxálico. *Revista Ion en línea*. Vol. N. °31, noviembre-setiembre, 2018. [Fecha de consulta 25 de abril de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n2-2018007>

ISSN: 2145-8480.

ALNOUSS, A. et al. Pyrolysis Study of Different Fruit Wastes Using an Aspen Plus Model. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 5, 2021. Disponible en: [DOI 10.3389/fsufs.2021.604001](https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.604001).

ISSN 2571-581X.

ASHERI, T., EZRA, S. and FISHBAIN, B. Contamination Detection of Water with Varying Routine Backgrounds by UV-Spectrophotometry. *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 144, no. 9, pp. 04018056, 2018. Disponible en: [DOI 10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000965](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000965).

ISSN: 0733-9496.

BALARK, D. *et al.*, The use of low-cost adsorbent (Canola residues) for the adsorption of methylene blue from aqueous solution: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Colloids Interface Sci. Commun.*, vol. 7, pp. 16–19, Jul. 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2015.11.004>

ISSN: 22150382.

BELÉNDEZ, Augusto. Calor y Temperatura en línea. Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. 2017. Fecha de consulta 25 de abril de 2022. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/95287/1/Tema-4-Calor-y-temperatura.pdf>

BRIONES, G. Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales. Bogotá, 2002. Disponible en: <https://metodoinvestigacion.files.wordpress.com/2008/02/metodologia-de-la-investigacion-quillermo-briones.pdf>.

BUREK, P. Water Futures and Solution Fast Track Initiative-Final Report. S.I., 2016. Disponible en: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>.

CALDEIRA, A.S., FABRIS, J.D., NELSON, D.L. and DAMASCENO, S.M., “Removal of textile dye by adsorption on the cake as solid waste from the press-extraction of the macaúba (*Acrocomia aculeata*) kernel oil”. *Eclet. Quim.*, vol. 43, no. 1, pp. 48–53, 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v43.1.2018.p48-53>

ISSN 1678-4618.

CORTÁZAR, A., CORONEL, C., ESCALANTE, A. and GONZÁLEZ, C. Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Revistas y Boletines Científicos UAEH*, vol. 2, no. 3, 2014. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/1862>

ISSN: 2007-4905.

DÍAZ, L. and ALARCÓN, J. ESTUDIO HIDROLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO PARA DETERMINARLA OFERTA Y LA DEMANDA DE AGUA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA NISCOTA PARA UN ACUEDUCTO INTERVEREDAL EN NUNCHÍA, CASANARE. Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, 2018. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf>.

DUEÑAS JURADO, C.; HINOJOSA YZARRA, L. La Calidad del agua potable y su influencia en la salud humana. *GnosisWisdom*, [S. l.], v. 1, n. 3, p. 11–20, 2021. Disponible en: <https://journal.gnosiswisdom.pe/index.php/revista/article/view/19>
ISSN: 2789-4282..

FIDIAS, G. *El Proyecto de Investigación* [en línea]. EDITORIAL EPISTEME. Caracas: s.n., 2016. Disponible en: https://issuu.com/fidiasgerardoarias/docs/fidias_g.arias.el.proyecto.de.inv.

FIGUEROA, J. Biofiltros con *Furcraea andina* y *Eucalyptus globulus* para mejorar la calidad del efluente de la piscigranja de Acopalca - Ancash – 2018. Lima: Universidad César Vallejo, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/18369>.

FONTANA. et al. Efecto del pH en la Adsorción del Azul de Metileno con Chips de Quebracho Agotado. ResearchGate [en línea], 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329387046_Efecto_del_pH_en_la_Adsorcion_del_Azul_de_Metileno_con_Chips_de_Quebracho_Agotado.

GARCÉS, L. et al. Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. *Redalyc*. vol. 2, no. 1, pp. 15–18, 2005. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520103.pdf>.

GARDUÑO, C., “Remoción del Colorante azul de Metileno empleando residuos de té verde”. Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico, 2019. Disponible en: Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/104539>.

GÓMEZ, Oscar. Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Revista de la Facultad de Medicina en [línea]. Vol. 66, n.º 1, enero-marzo, 2018. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112018000100007

ISSN: 0120-0011.

HAN, Q., WANG, J., GOODMAN, B.A., XIE, J. and LIU, Z., "High adsorption of methylene blue by activated carbon prepared from phosphoric acid treated eucalyptus residue". Powder Technol., vol. 366, pp. 239–248, Apr. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.02.013>

ISSN 00325910.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. and BAPTISTA, M. Metodología de la Investigación. Interamericana Editores S.A, 6th ed. México, 2014. Disponible en: <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/21401/1/11699.pdf>

ISBN 978-1-4562-2396-0.

ICC. Manual de Medición de Caudales. Guatemala: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017. Disponible en: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>.

INDUANÁLISIS- IA SAS. Turbidez. Laboratorio Ambiental. Bucaramanga: Colombia, 2019. [Fecha de consulta 22 de mayo de 2022]. Disponible en: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/turbidez_28

IEES. Industria Textil y Confecciones. SNI-Asociación de exportadores Perú textiles, 2021. Disponible en: <https://sni.org.pe/wp-content/uploads/2021/03/Presentacion-Textil-y-confecciones-IEES.pdf>

JEDYNAK, K. and REPELEWICZ, M., “Adsorption of methylene blue and malachite green on micro-mesoporous carbon materials. Adsorption science and technology. vol. 35, no. 5–6, pp. 499–506, Mar. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0263617417698706>

ISSN 0263-6174.

JIANG, N., SHANG, R., HEIJMAN, S.G.J. and RIETVELD, L.C. High-silica zeolites for adsorption of organic micro-pollutants in water treatment: A review. *Water Research*, vol. 144, pp. 145–161, 2018. Disponible en: [DOI 10.1016/j.watres.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.017).

ISSN: 00431354.

KAVEESHWAR, A. et al. Pecan shell based activated carbon for removal of iron (II) from fracking wastewater: Adsorption kinetics, isotherm and thermodynamic studies. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 114, pp. 107–122, 2018. Disponible en: [DOI 10.1016/j.psep.2017.12.007](https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.12.007).

ISSN: 09575820.

KESKIN, B., ERSAHIN, M.E., OZGUN, H. and KOYUNCU, I., 2021. Pilot and full-scale applications of membrane processes for textile wastewater treatment: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 42, pp. 102172, 2021. Disponible en: [DOI 10.1016/j.jwpe.2021.102172](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102172).

ISSN: 22147144.

KHEDR, T., RYAD, L. and YOUSSEF, A.O. Testing the validity of reference standard materials and stock solutions of veterinary drugs using LC-MS/MS. *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 36, no. 3, pp. 405–412, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1568585>

ISSN: 1944-0049.

KISELEVA, M., CHALYY, Z., SEDOVA, I. and AKSENOV, I. Stability of Mycotoxins in Individual Stock and Multi-Analyte Standard Solutions. *Toxins*. vol. 12, no. 2, pp. 94, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/toxins12020094>

ISSN: 2072-6651.

KYZAS, G., CHRISTODOULOU, E. and BIKIARIS, D., “Basic dye removal with sorption onto low-cost natural textile fibers,” *Processes*, vol. 6, no. 9, pp. 166., Sep. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr6090166>

ISSN 2227-9717.

LAKSHMIPATHY, R. and SARADA, N.C. Methylene blue adsorption onto native watermelon rind: batch and fixed bed column studies. *New pub Balaban*, vol. 57, no. 23, pp. 10632–10645, May 2015. Disponible en:

<https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1040462>

ISSN: 1944-3994.

LI, L. *et al.* Enhance pore structure of cyanobacteria-based porous carbon by polypropylene to improve adsorption capacity of methylene blue. *Bioresource Technology*. vol. 343, pp. 126101 p., Oct. 2021. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126101>

ISSN: 09608524.

LIU, B. et al. Identification of textile wastewater in water bodies by fluorescence excitation emission matrix-parallel factor analysis and high-performance size exclusion chromatography. *Chemosphere*, vol. 216, pp. 617–623, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.154>

ISSN: 00456535.

LIU, Junjian. et al. Biomass Pyrolysis Technology by Catalytic Fast Pyrolysis, Catalytic Co-Pyrolysis and Microwave-Assisted Pyrolysis: A Review. *Catalysts*, vol. 10, no. 7, pp. 742, 2020. Disponible en: [DOI 10.3390/catal10070742](https://doi.org/10.3390/catal10070742).

ISSN: 2073-4344.

MAILLARD, K., PONCE, E. and SCHETTINO, B. Cáscara de granada (*Punica granatum* L.): potencial uso como fuente de ingredientes funcionales en productos cárnicos emulsionados cocidos. *Nacameh*. vol. 12, pp. 30–41, 2018. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7006667>.

ISSN: 2007-0373.

MENDOZA, J.; LEÓN, M.; NUNJA, J.; RODRÍGUEZ, F.; VERA, M.; IPANAQUÉ, J. Remoción de demanda química de Oxígeno de efluentes de remojo de curtiduría utilizando microalgas *Chlorella* sp. viva en suspensión. *Infinitum...*, [S. l.], v. 8, n. 2, 2018. [Fecha de consulta 22 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.51431/infinitum.v8i2.487>

ISSN: 2307-2059

MOHAMED, F., ABUKHADRA, M.R., KHAN, A.A.P., ALAMRY, K.A., ASIRI, A.M. and SHABAN, M. "Superior removal of methylene blue using green fabricated pomegranate peel/nano-hematite composite: reusability, isotherm and kinetics study". *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, pp. 1–13, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07391102.2021.1971111>, 2021.

ISSN 0739-1102.

MOKHTAR, M.M., HAMMAD, S.F., MANSOUR, F.R. and EL-KHATEEB, B.Z. Simultaneous Determination of Diclofenac and Esomeprazole by Reversed phase Liquid Chromatography, Dual Wavelength and Derivative Spectrophotometry. *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 5, pp. 458–466, 2019. Disponible en: <DOI 10.1134/S1061934819050071>.

ISSN 1061-9348.

NYANKSON, E. *et al.*, Dual application of natural clay material for decolorization and adsorption of methylene blue dye. *Cogent Chemistry*. vol. 6, no. 1, p. 1788291, Jan. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/23312009.2020.1788291>

ISSN: 2331-2009

OBLITAS, L. *Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Lima: NACIONES UNIDAS CEPAL. 2010. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/3819>.

ONDARSE, Dianelys. Potencial de hidrógeno. Enciclopedia Concepto. Argentina: Universidad Nacional de Quilmes, 2021. Disponible en: <https://concepto.de/ph/>

OTORI, V., 2021. Pigmento Beta Vulgaris y Zea Mays Ceratina como materia prima para sustituir metales pesados en la elaboración de labiales. Lima: Universidad César Vallejo. Disponible en: <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Pigmento%20de%20Beta%20Vulgaris%20y%20Zea%20mays%20ceratina%20como%20materia%20prima%20para%20sustituir%20metales%20pesados%20en%20la%20elaboración%20de%20labiales.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas, ONU. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos. París: Francia. UNESCO. 2019. Fecha de consulta 25 de abril de 2022. Disponible en: <https://n9.cl/ylqp7>

ISBN: 978-92-3-300108-4

PEÑARANDA, P. *Análisis De La Eficiencia De Catalizadores Heterogéneos Usados En La Valoración De Biomasa Mediante El Proceso De Pirólisis Para La Obtención De Hidrógeno*. Bucaramanga: s.n., 2021. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40301/pppenarandac.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

PÉREZ, K. and TELLO, D. *Bioadsorción de mercurio utilizando cascaras de arroz (Oryza Sativa) en agua contaminada* [en línea]. Lambayeque: s.n., 2020. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9866>.

POURKARIMI, S., HALLAJISANI, A., ALIZADEHDAKHEL, A. and NOURALISHAHI, A. Biofuel production through micro- and macroalgae pyrolysis – A review of pyrolysis methods and process parameters. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 142, pp. 104599, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.04.015>

ISSN 01652370.

PRÉSIGA, D., RUBIO, A. and PÉREZ, J.F. Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas. *Revista UIS Ingenierías* [en línea], vol. 20, no. 1, pp. 121–134, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>

ISSN 2145-8456.

PUTRANTO, A. and AZIZ, M. Mass transfer of adsorption of methylene blue into biomass-based activated carbons: heterogeneous surface diffusion model. *Environmental Technology*. vol. 55, no. 13, pp. 2269–2280, Sep. 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1619766>

ISSN: 0149- 6395.

RAMIREZ, Alberto. *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico en línea*. Colombia: Medellín. Ediciones de la U. 2011. Fecha de consulta 25 de abril de 2022. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+de+agua&ots=cd_KUq3lal&sig=L0xi4wM8tqTYHwtL31VMaXG2KbA#v=onepage&q&f=false

ISBN: 978-958-8692-06-7.

RAMÍREZ, C. ANÁLISIS DE LA ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL ÁMBITO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REUTILIZABLES. *La Estrategia Española de Economía Circular*, no. 112, pp. 1–12, 2021. Disponible en: https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2021/04/2021_05_03-Ram%C3%ADrez-Econom%C3%ADa-Circular-Recursos-Hidricos.pdf

ISSN 1989-5666.

RAMOS, Fernando. BLANCO, Brayan. Decoloración y degradación de azul de metileno presente en agua. Tesis (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental). Bogotá: Universidad Libre de Colombia, 2017. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10901/11182>.

RODRIGO, C., PACHECO, P., ORIHUELA, M., PIÑEROS, M. and COBO, E. Guía de monitoreo participativo de la calidad del agua. Ecuador, 2018. Disponible en: <https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia-monitoreo-participativo-calidad-agua-digital.pdf>.

ROMERO, P., “Estudio del potencial uso de residuos de palta como agente adsorbente”. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 2017. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/21626/3560902038392UTFSM.pdf?sequence=1>.

SÁENZ, C.A., GARCÍA, R.B., SOTO, E. and GARCÍA, A., 2017. Phenol and methylene blue adsorption on heat-treated activated carbon: Characterization, kinetics, and equilibrium studies. *Adsorption science and technology*, vol. 35, no. 9–10, pp. 789–805, Jan. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0263617416684517>

ISSN: 0263-6174.

SALAS, G. TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. [en línea], vol. 6, no. 2, pp. 64–71, 2003. [Consulta: 5 July 2022]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/5078>.

SAPAILLA, R. Estimación de las isotermas de adsorción y caracterización de la sangre de pollo (*Gallus domesticus*) deshidratada. Lima: s.n., 2020. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15791/Sapailla_ar.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

SHARMA, S., TIWARI, D. and PANT, K., Model-fitting approach for methylene blue dye adsorption on Camelina and Sapindus seeds-derived adsorbents. *Adsorption science and technology*. vol. 34, no. 9–10, pp. 565–580, Nov. 2016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0263617416674949>

. ISSN 0263-6174

SHU, J., LIU, R., WU, H., LIU, Z., SUN, X. and TAO, C., “Adsorption of methylene blue on modified electrolytic manganese residue: Kinetics, isotherm, thermodynamics and mechanism analysis”. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 82, pp. 351–359, Jan. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.11.020>

ISSN 18761070.

UNESCO. La pujante fuerza tranquila de la UNESCO en tiempos de cambio [en línea]. Francia, 2017: [Consulta: 5 July 2022]. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000248073_spa.

VELÁZQUEZ, J. et al. CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE BIOCARBÓN DE CASCARILLA DE ARROZ. *Scielo*, 2019. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200129.

VILLEGAS, G., 2019. DETERMINACIÓN DE NITRATOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA UV VISIBLE EN PRODUCTOS CÁRNICOS. Talcahuano: s.n., 2019. Disponible en: https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/13774/tesis-brom.-villegas-gabriel-2019.pdf.

VILLENA, Jorge. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública en línea*. Vol. 35. N.º 2. Junio, 2018. Fecha de consulta 25 de abril de 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

ISSN: 1726-4642.

WU, X., VENKITASAMY, C., MCHUGH, T. and PAN, Z. Process Development for Antioxidant Extraction from Wet Pomegranate Peel. *Transactions of the ASABE*, vol. 64, no. 1, pp. 191–202, 2021. Disponible en: [DOI 10.13031/trans.14008](https://doi.org/10.13031/trans.14008).

ISSN 2151-0040.

XU, Q. *et al.* Hydrothermal carbonization of distillers grains with clay minerals for enhanced adsorption of phosphate and methylene blue. *Bioresource Technology*, vol. 340, p. 125725, Nov. 2021. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125725>

ISSN: 34385129

XIANG, Q. The bioactivity and applications of pomegranate peel extract: A review. *Journal of Food Biochemistry*, 2022. Disponible en: [DOI 10.1111/jfbc.14105](https://doi.org/10.1111/jfbc.14105).

ISSN 0145-8884.

YAN, M. Hydrothermal treatment of empty fruit bunch and its pyrolysis characteristics. *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 9, no. 4, pp. 709–717, 2019. Disponible en: [DOI 10.1007/s13399-019-00382-9](https://doi.org/10.1007/s13399-019-00382-9).

ISSN 2190-6815.

YUNI, J. y URBANO, C. Técnicas para investigar recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación. Editorial Brujas, 2º Edición: Argentina, 2014. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2016/01/T%c3%a9cnicas-para-investigar-2-Brujas-2014-pdf.pdf>

ISBN: ISBN 978-987-5

ZARUMA, Pablo. *et al.* Los Colorantes Textiles Industriales Y Tratamientos Óptimos De Sus Efluentes De Agua Residual: Una Breve Revisión. por. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas* [en línea]. Vol. N°19, enero-diciembre, 2018. [Fecha de consulta 24 de abril de 2022]. Disponible en:

<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/2216/1506>

ISSN: 1390-1869

ZHAO, S. and ZHOU, T., Biosorption of methylene blue from wastewater by an extraction residue of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Bioresour. Technol.*, vol. 219, pp. 330–337, Nov. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.121>

ISSN: 09608524

ANEXOS

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables


Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Independiente Cáscara de <i>Punica granatum</i>	Es un subproducto derivado de la fruta de granada el cual es eliminado, sin embargo, tiene propiedades de valor como actividades biológicas y con alta importancia en el consumo humano, ya que es antioxidante, antiinflamatoria, antibacteriana, etc. Dándole relevancia en el campo de la salud. (Xiang et al., 2022).	La cáscara de <i>Punica granatum</i> se midió por la obtención, granulometría y el tiempo de contacto con la cáscara de <i>Punica granatum</i> .	Obtención de la cáscara de <i>Punica granatum</i> .	Temperatura	°C
				Potencial de hidrógeno	Ácido/base
				Conductividad eléctrica	mS/cm
				Peso	g
				Humedad	%
				Cenizas	%
				Materia volátil	%
				Densidad aparente	mg/cm ³
				Pirólisis	°C
			Rendimiento	%	
			Granulometría y dosis óptima de la cáscara <i>Punica granatum</i> .	+N°12 (1.70)	mm
				-N°12 (1.70)	mm
				950	g
				550	g
			Tiempo de contacto con la cáscara de <i>Punica granatum</i> .	35	minutos
				70	minutos
				105	minutos
140	minutos				
175	minutos				
210	minutos				
245	minutos				
280	minutos				

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Dependiente Capacidad de adsorción del azul de metileno	El azul de metileno dentro de las fuentes hídricas es una problemática ambiental. Por ello, se utiliza el método de adsorción mediante cáscaras de fruta pasando previamente por un proceso de pirólisis para obtener un alta disminución de concentración del colorante. (Saeed et al., 2020).	La capacidad de adsorción del azul de metileno se midió teniendo en cuenta la concentración inicial de azul de metileno antes de realizar el tratamiento y la concentración del azul de metileno después del tratamiento aplicado.	Concentración de azul de metileno antes y después en el efluente.	Temperatura	°C
				Potencial de hidrógeno	Ácido/base
				Conductividad eléctrica	mS/cm
				Potencial redox	mv
				Turbidez	NTU
				Oxígeno disuelto	mg/l
				Demanda química de Oxígeno	mg/l
				Demanda biológica de Oxígeno	mg/l
				Sólidos totales	mg/l
				Sólidos disueltos	mg/l
				Sólidos suspendidos totales	mg/l
				Reducción del azul de metileno	%

Anexo 3. Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de recolección de la muestra de agua residual de la industria textil

FICHA 1		UBICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA			
TÍTULO	"Capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de <i>Punica granatum</i> , Lima 2022"				
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales				
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura				
RESPONSABLES	- Amasifuen Hidalgo, Angie - Sánchez Baique, Aarón				
DATOS DE LUGAR DE ESTUDIO					
LUGAR		DISTRITO			
PROVINCIA		DEPARTAMENTO			
DATOS DE PUNTO MUESTREO					
MUESTRA	COORDENADAS UTM		CANTIDAD (L)	HORA	FECHA
	N	E			
Agua residual de la industria textil					



 LUIS FERNANDO
 MENDOZA APOLAYA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP N° 213529


 JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
 CIP 43444


 GERARDO PINER BENITES ALFARO
 CIP 71998
 Investigador CDNYTEC, Código Reaciyt P9036858

- Ficha de recolección de la materia prima de *Punica granatum*

FICHA 2		UBICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	
TÍTULO	"Capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de <i>Punica granatum</i> , Lima 2022"		
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales		
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura		
RESPONSABLES	- Amasifuen Hidalgo, Angie - Sánchez Baique, Aarón		
DATOS DE LUGAR DE ESTUDIO			
LUGAR		DISTRITO	
PROVINCIA		DEPARTAMENTO	
DATOS DE PUNTO MUESTREO			
MATERIA PRIMA	COORDENADAS UTM		HORA
	N	E	
<i>Punica granatum</i>			


 LUIS FERNANDO
 MENDOZA APOLAYA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP N° 213529


 JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
 CIP 43444


 GERARDO ELMER BENITES ALFARO
 CIP 71996
 Investigador CONCYTEC, Código Retacyt P031858

- Ficha de recolección de datos de la obtención de la cáscara de *Punica granatum*

FICHA 3		
TÍTULO	"Capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de <i>Punica granatum</i> , Lima 2022"	
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales	
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura	
RESPONSABLES	- Amasifuen Hidalgo, Angie - Sánchez Baique, Aarón	
OBTENCIÓN DE LA CÁSCARA DE <i>PUNICA GRANATUM</i>		
INDICADORES	UNIDAD	RESULTADOS
Temperatura	°C	
Potencial de hidrógeno	Ácido/base	
Conductividad eléctrica	mS/cm	
Peso	g	
Humedad	%	
Cenizas	%	
Materia volátil	%	
Densidad aparente	mg/cm ³	
Pirólisis	°C	
Rendimiento	%	


 LUIS FERNANDO
 MENDOZA APOLAYA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP N° 213529


 JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
 CIP 43444


 CARLOS ELMER BENITES ALFARO
 CIP 71998
 Investigador CONCYTEC, Código Reecyt: P0038058

- Ficha de recolección de datos de granulometría y dosis óptima de la cáscara de *Punica granatum*

FICHA 4		
TÍTULO	"Capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de <i>Punica granatum</i> , Lima 2022"	
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales	
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura	
RESPONSABLES	- Amasifuen Hidalgo, Angie - Sánchez Baique, Aarón	
GRANULOMETRÍA Y DOSIS ÓPTIMA DE LA CÁSCARA DE <i>PUNICA GRANATUM</i>		
INDICADORES	UNIDAD	RESULTADOS
Malla +N°12 (1.70)	mm	
Malla -N°12 (1.70)	mm	
Peso de materia prima	g	
Peso de materia prima	g	



 LUIS FERNANDO
 MENDOZA APOLAYA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP N° 213529


 JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
 CIP 43444


 FERNANDO BENITES ALFARO
 CIP 71998
 Investigador CONCYTEC, Código Registro P0034858

- Ficha de recolección de datos del tiempo de contacto con la cáscara de *Punica granatum*

FICHA 5		
TÍTULO	"Capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de <i>Punica granatum</i> , Lima 2022"	
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales	
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura	
RESPONSABLES	- Amasifuen Hidalgo, Angie - Sánchez Baique, Aarón	
TIEMPO DE CONTACTO CON LA CÁSCARA DE <i>PUNICA GRANATUM</i>		
INDICADORES	UNIDAD	RESULTADOS
35	minutos	
70	minutos	
105	minutos	
140	minutos	
175	minutos	
210	minutos	
245	minutos	
280	minutos	


 LUIS FERNANDO
 MENDOZA APOLAYA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP N° 213829


 JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
 CIP 43444


 PEDRO ELMER BENITES ALFARO
 CIP 71998
 Investigador CONCYTEC, Código Reseacyt: P034858

- Ficha de recolección de datos de la concentración de azul de metileno antes y después del tratamiento

FICHA 6	MUESTRA N.º 1	
TÍTULO	"Capacidad de adsorción del azul de metileno de efluentes de la industria textil mediante cáscara de <i>Punica granatum</i> , Lima 2022"	
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales	
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura	
RESPONSIBLE	- Amasifuen Hidalgo, Angie - Sánchez Baique, Aarón	
CONCENTRACIÓN DE AZUL DE METILENO ANTES DE APLICAR EL TRATAMIENTO		
INDICADORES	UNIDAD	RESULTADOS
Temperatura	°C	
Potencial de hidrógeno	Ácido/base	
Conductividad eléctrica	mS/cm	
Potencial redox	mV	
Turbidez	NTU	
Oxígeno disuelto	mg/l	
Demanda química de oxígeno	mg/l	
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	
Sólidos totales	mg/l	
Sólidos disueltos	mg/l	
Sólidos suspendidos totales	mg/l	
Concentración de azul de metileno	ppm	
CONCENTRACIÓN DESPUÉS DE APLICAR EL TRATAMIENTO		
INDICADORES	UNIDAD	RESULTADOS
Temperatura	°C	
Potencial de hidrógeno	Ácido/base	
Conductividad eléctrica	mS/cm	
Potencial redox	mV	
Turbidez	NTU	
Oxígeno disuelto	mg/l	
Demanda química de oxígeno	mg/l	
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	
Sólidos totales	mg/l	
Sólidos disueltos	mg/l	
Sólidos suspendidos totales	mg/l	
Reducción del azul de metileno	%	


 LUIS FERNANDO
 MENDOZA APOLAYA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP N° 213529


 JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
 CIP 43444


 CARLOS ELMER BENITES ALFARO
 CIP 71998
 Investigador CONCYTEC, Código Renacyt: P0018858

Anexo 4. Validación de instrumentos de recolección de datos.

- Ficha de validación de instrumento de Recolección de muestras.

DATOS GENERALES

1. Apellidos y Nombres: **Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo.**
2. Cargo e institución donde labora: Docente de Investigación / UCV LN.
3. Especialidad o línea de investigación: Investigador.
4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Observación.
5. Autores del instrumento: Amasifuen Hidalgo, Angie y Sánchez Baique, Aarón.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulada con lenguaje comprensible.										x			
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.										x			
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación.										x			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										x			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.										x			
6. INTERNACIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la hipótesis.										x			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										x			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos hipótesis, variables e indicadores.										x			
9. METODOLOGÍA	Las estrategias responden a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										x			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método científico.										x			

Anexo 5. Resultado de análisis de caracterización inicial del agua residual textil con azul de metileno.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR : Aarón Sánchez Baique
Procedencia de muestra : Industria Textil – San Juan de Lurigancho - Lima
Recepción de muestra : Lima, 04 de Abril del 2022

Análisis de caracterización inicial del agua residual textil con azul de Metileno

Código	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno Acido/base	Conductividad eléctrica mS/cm	Potencial Redox mv	Turbidez NTU
ARI- AM	25	8.96	4.82	- 313	608

ARI- AM: Agua residual industrial con azul de metileno

Código	Oxígeno Disuelto mg/l	Demanda química de Oxígeno (mg/l)	Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Sólidos Totales mg/l	Sólidos Disueltos mg/l
ARI- AM	0.81	1940.0	667	4163	2866

Código	Sólidos Suspendedos totales mg/l	Humedad de biocarbón %	Materia Volátil %	Ceniza %	Carbono Fijo
ARI- AM	1297	5.68	42.46	6.44	51.1

Código	Concentración del azul de Metileno mg/l	Densidad aparente g/cm ³	Rendimiento %	Capacidad de adsorción del biocarbón mg/g
ARI- AM	13.72391	0.3	18.66	2.53

Métodos: Potenciometría, Winkler, Dicromato, Gravimétrico, ASTM D 2216, ASTM D 3175, ASTM D 5142, ASTM D 3172, Espectrofotometría UV/V, Langmuir.

Lima, 11 Abril del 2022

MSc. Atilio Mendoza A.
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301 –Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

Anexo 6. Resultado de análisis de agua residual industrial textil.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR : Aarón Sánchez Baique
 Procedencia de muestra : Industria Textil – San Juan de Lurigancho - Lima
 Recepción de muestra : Lima, 12 de Abril del 2022

Análisis de muestras de agua residual industrial textil

Muestra	Temperatura °C	Potencial de hidrogeno acido/base	Conductividad eléctrica mS/cm	Potencial redox mV	Turbidez NTU
ART - (M1- 35 minutos)	25.6	9.56	173.5	76.5	562
ART - (M2- 70minutos)	25.5	8.85	162.2	81.2	489
ART - (M3- 105minutos)	24.1	8.64	158.6	89.4	426
ART - (M4- 140minutos)	23.1	8.45	145.8	95.8	398
ART - (M5- 175minutos)	21.3	8.39	137.2	107.2	345
ART - (M6-210minutos)	19.0	8.25	125.4	110.1	265
ART - (M7- 245minutos)	19.3	8.16	100.3	115.2	185
ART - (M8- 280minutos)	19.5	8.10	85.6	119.4	120

Muestra	Oxígeno Disuelto mg/l	Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	Demanda Bioquímica del Oxígeno (mg/l)	Sólidos Totales mg/l	Sólidos Disueltos mg/l
ART - (M1- 35 minutos)	0.79	1933.33	633.00	4076	2663
ART - (M2- 70minutos)	0.84	1866.67	628.00	3950	2718
ART - (M3- 105minutos)	1.02	1633.33	610.00	3901	2617
ART - (M4- 140minutos)	1.42	1500.00	604.00	3622	2412
ART - (M5- 175minutos)	2.35	1433.33	602.00	3533	2535
ART - (M6-210minutos)	2.75	1340.00	598.00	3348	2354
ART - (M7- 245minutos)	2.96	1326.67	596.00	2246	1895
ART - (M8- 280minutos)	3.04	1280.00	590.00	1882	1537

Métodos: Potenciometría, Winkler, Dicromato, Gravimétrico

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301 -Perú
 Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
 e-mail: labespectro@uni.edu.pe

Anexo 7. Resultado de análisis de agua residual industrial textil.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

Muestra	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Concentración del azul de metileno (ppm)	Capacidad de adsorción (mg/g)
ART - (M1- 35 minutos)	0.79	9.7	2.53
ART - (M2- 70minutos)	0.84	8.7	3.68
ART - (M3- 105minutos)	1.02	7.4	4.86
ART - (M4- 140minutos)	1.42	7.0	5.45
ART - (M5- 175minutos)	2.35	6.8	6.35
ART - (M6-210minutos)	2.75	6.0	7.56
ART - (M7- 245minutos)	2.96	5.8	8.38
ART - (M8- 280minutos)	3.04	4.7	9.43

Métodos: Gravimétrico, Espectrofotometría UV/V, Langmuir.

Lima, 25 de Abril del 2022

MSc. Atilio Mendoza A.
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe