

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Remoción del azul de metileno de agua residual
industrial textil mediante oxidación a nivel de
laboratorio - Huancayo, 2021**

Carmen Rosa Flores Morales
Olga Primavera Huari Huaman
Johan Hugo Perez Capcha

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Pablo Cesar Espinoza Tumialán

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por tener esta grata experiencia en la universidad.

Nuestro agradecimiento a la Universidad Continental; a la Facultad de Ingeniería; a los Laboratorios de Ciencias Básicas, Laboratorio de Química y Biología, y Laboratorio de Minas. A su unidad de Postgrado. Al asesor temático Dr. Ing. Pablo Cesar Espinoza Tumialán.

A nuestros padres y hermanos, por su apoyo incondicional en cada etapa de este proceso.

Finalmente, a todas aquellas personas que han contribuido de cualquier manera al desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo en primer lugar a Dios quien nos guía todos los días con sabiduría y fortaleza; a nuestros padres y familiares más cercanos por su ejemplo de constancia y valores además de su motivación y apoyo incondicional.

Bach. Flores Morales, Carmen Rosa.

Bach. Huari Huamán, Olga Primavera.

Bach. Pérez Capcha, Johan Hugo.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	4
1.1.2.1. Problema general.....	4
1.1.2.2. Problemas específicos	5
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación e importancia.....	6
1.3.1. Justificación ambiental.....	6
1.3.2. Justificación social	7
1.4. Hipótesis y variables.....	7
1.4.1. Hipótesis.....	7
1.4.1.1. Hipótesis general	7
1.4.1.2. Hipótesis específicas	7
1.4.2. Descripción de las variables	8

1.4.2.1.	Variable dependiente	8
1.4.2.2.	Variable independiente	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		9
2.1.	Antecedentes del problema	9
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3.	Antecedentes locales.....	12
2.2.	Bases teóricas	14
2.2.1.	Industria textil	14
2.2.1.1.	Contaminación de aguas por la industria textil	14
2.2.1.2.	Tratamiento de aguas residuales de la industria textil	15
2.2.1.3.	Situación actual en la región Junín.....	20
2.2.2.	Colorantes textiles	20
2.2.2.1.	Naturaleza de los colorantes	20
2.2.2.2.	Clasificación de los colorantes textiles	22
2.2.2.3.	Química de los colorantes.....	27
2.2.3.	Azul de metileno	29
2.2.4.	Procesos de Oxidación Avanzada (POAs).....	30
2.2.4.1.	Tipos de oxidantes.....	31
2.2.4.2.	Ventajas y desventajas de los oxidantes.....	34
2.3.	Definición de términos básicos	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		37
3.1.	Método y alcance de la investigación	37
3.1.1.	Método de la investigación	37
3.1.2.	Tipo de la investigación	37
3.1.3.	Nivel de la investigación	38
3.2.	Diseño de la investigación	38
3.3.	Población y muestra	38

3.3.1. Población.....	38
3.3.2. Muestra	39
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	39
3.5. Metodología de experimentación	39
3.5.1. Reactivos, materiales y equipos utilizados	39
3.5.2. Preparación del agua residual industrial sintético.....	40
3.6. Elaboración de las muestras para la curva de calibración.....	49
3.7. Aplicación de los agentes oxidantes en muestras contaminadas con el azul de metileno	53
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	56
4.2. Prueba de hipótesis	61
4.3. Discusión de resultados.....	74
CONCLUSIONES.....	80
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prendas que van a pasar por el proceso de teñido, el peso no debe exceder los 700 g.	40
Figura 2. Se recolecta 8 L de agua en un recipiente de gran tamaño y se deja hervir.....	41
Figura 3. Pesar 1 g de azul de metileno en polvo.	41
Figura 4. Muestra de 1 g de azul de metileno.	42
Figura 5. Se agrega el azul de metileno al agua que está en ebullición.	42
Figura 6. Agregar la ropa a la mezcla mientras está hirviendo.....	42
Figura 7. Se agrega 1 puño de cloruro de sodio a la mezcla para que actúe como fijador.	43
Figura 8. Se remueve la ropa homogéneamente durante 50 minutos.	43
Figura 9. Se saca la ropa teñida.	44
Figura 10. Se deja enfriar el agua residual del teñido y se conserva para su análisis.	44
Figura 11. Muestras de 0.8 L de H ₂ O ₂ y NaClO de 5 y 2.5 mL.....	45
Figura 12. Se agregan los oxidantes para el tratamiento del agua residual.	45
Figura 13. Muestras de agua residual donde se aplica 5,0 mL, 7.5 mL, 10 mL y 12.5 mL de H ₂ O ₂ al 30 %.....	46
Figura 14. Muestras de agua residual donde se aplicó 1.0 mL, 1.5 mL, 2.0 mL y 2.5 mL de NaClO al 5 %.....	46
Figura 15. Muestras de agua después de 1 hora de haber aplicado los agentes oxidantes.	47
Figura 16. Las muestras de NaClO en diferentes dosis, la primera es la muestra control.	48
Figura 17. Tesista realizando las mediciones de absorbancia.	48
Figura 18. Pasado una hora de haber aplicado el NaClO, oxidante que muestra mejores resultados preliminares.....	49
Figura 19. Se pesa el azul de metileno de acuerdo a la tabla 9.	50
Figura 20. Se preparan 4 muestras en vasos precipitados de 1 L.....	51
Figura 21. Colocar agua destilada en una cubeta de cuarzo para la muestra en blanco con un valor de 670 de absorbancia.....	51
Figura 22. Curva de calibración.	52
Figura 23. Muestras del hipoclorito de sodio de 4,5 y 6.5 mL bajo radiación.....	54
Figura 24. Muestras del hipoclorito de sodio de 2, 5 y 15 mL sin radiación.....	54

Figura 25. Muestras del peróxido de 2,5 y 15 ml bajo radiación. Nota: se observa formación de sedimentos, burbujas y espuma.....	55
Figura 26. Muestra de peróxido con 2, 5 y 15 mL sin radiación. Nota: se observa formación de burbujas y espuma en menor cantidad.	55
Figura 27. Medias de azul de metileno de la reacción con cada concentración de hipoclorito de sodio y el azul de metileno de la muestra patrón.....	57
Figura 28. Presencia de azul de metileno de acuerdo a cada dosis de hipoclorito de sodio aplicada y al tiempo de medición.	58
Figura 29. Medias de azul de metileno de la reacción con cada concentración de peróxido de hidrógeno y el azul de metileno de la muestra patrón.	59
Figura 30. Presencia de azul de metileno de acuerdo a cada dosis de peróxido de hidrógeno aplicada y al tiempo de medición.	60
Figura 31. Acción de tres oxidantes en muestras contaminadas con colorantes.....	76
Figura 32. Resultados de la aplicación de oxidantes en DQO, turbidez y ORP.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de fijación de algunos colorantes.	15
Tabla 2. Métodos físicos aplicados a la degradación de colorantes.	16
Tabla 3. Métodos químicos aplicados a la degradación de colorantes.	17
Tabla 4. Porcentajes de remoción de colorantes de algunos tratamientos químicos.	18
Tabla 5. Métodos biológicos aplicados a la eliminación de colorantes.	19
Tabla 6. Porcentajes de fijación de algunos colorantes.	28
Tabla 7. Reactivos, materiales y equipos.	39
Tabla 8. Concentración de azul de metileno (ppm) para la curva de calibración.	49
Tabla 9. Peso del azul de metileno para elaborar la curva de calibración de la absorbancia y la concentración.	50
Tabla 10. Relación de la concentración del AM y la absorbancia.	52
Tabla 11. Volumen de agentes oxidantes para cada muestra.	53
Tabla 12. Absorbancia y concentración del azul de metileno bajo influencia del NaClO en 4.5 mL y 6 mL con y sin radiación.	56
Tabla 13. Promedio de los valores de la absorbancia obtenidos con el NaClO.	57
Tabla 14. Absorbancia y concentración del azul de metileno bajo influencia del H ₂ O ₂ en 4.5 mL y 6 mL con y sin radiación.	59
Tabla 15. Promedio de los valores de la absorbancia obtenidos con el H ₂ O ₂	60
Tabla 16. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada dosis de hipoclorito de sodio aplicada.	62
Tabla 17. Prueba estadística sobre la influencia del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno.	63
Tabla 18. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada dosis de peróxido de hidrógeno aplicada.	64
Tabla 19. Prueba estadística sobre la influencia del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno.	65
Tabla 20. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno de acuerdo a cada agente oxidante aplicado.	66
Tabla 21. Prueba de U de Mann-Whitney sobre las diferencias entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno.	67
Tabla 22. Prueba ^{a,b} de Kruskal-Wallis sobre las diferencias entre las dosis del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno.	68

Tabla 23. Prueba de ANOVA sobre las diferencias entre las dosis de peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno.....	69
Tabla 24. Prueba Post-Hoc de Tukey ^a sobre la identificación de la dosis óptima de peróxido de hidrógeno para la remoción del azul de metileno.	69
Tabla 25. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada tiempo luego de aplicado el hipoclorito de sodio.	70
Tabla 26. Prueba de ANOVA de medidas repetidas sobre las diferencias entre los tiempos de reacción del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno.....	71
Tabla 27. Prueba de Tukey para la identificación del tiempo óptimo de reacción de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno.	72
Tabla 28. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada tiempo luego de aplicado el peróxido de hidrógeno.	73
Tabla 29. Prueba de ANOVA de medidas repetidas sobre las diferencias entre los tiempos de reacción del peróxido de hidrógeno con el propósito de remover el azul de metileno.	74

RESUMEN

En este trabajo, se evaluó la influencia de los agentes oxidantes: El NaClO al 5 % y H₂O₂ al 30 % en la remoción del azul de metileno presente en aguas residuales de la industria textil, midiendo la absorbancia y a través de una ecuación lineal se calculó la concentración del colorante. Para la curva de calibración de la absorbancia y concentración se prepararon 4 muestras: 4, 8, 10 y 14 ppm de azul de metileno. Para la obtención del agua residual se hizo hervir 10 L de agua con 1 g de azul de metileno en polvo y un puño de sal, se añadió las prendas jeans que no excedieron los 700 g, se removió homogéneamente y se dejó enfriar, se retiró la ropa y el agua residual se separó en un recipiente. En el laboratorio, se separaron 9 muestras de 0.8 L cada una, 1 de control y 4 para el NaClO y 4 para el H₂O₂. En cada grupo se trabajó con 2 muestras bajo radiación solar y 2 muestras sin radiación solar. El NaClO, se dosificó en 4,5 mL y 6,5 mL y el H₂O₂ en 2,5 mL y 15,0 mL. Una vez aplicados los oxidantes, se midió la absorbancia a los 2, 5, 10, 20, 30 y 60 minutos. Se determinó que el NaClO influye positivamente en la remoción del azul de metileno y el H₂O₂ no tiene influencia positivamente. Asimismo, la dosis óptima de remoción fue con 4,5 mL de NaClO bajo radiación obteniendo un porcentaje de remoción de 98,47 %.

Palabras clave: agente oxidante, azul de metileno, oxidación.

ABSTRACT

In this work, the influence of oxidizing agents: NaClO at 5 % and H₂O₂ at 30 % in the removal of methylene blue present in wastewater of the textile industry was evaluated, measuring the absorbance and through a linear equation the concentration of the dye was calculated. For the absorbance and concentration calibration curve, 4 samples were prepared: 4, 8, 10 and 14 ppm methylene blue. To obtain the waste water, 8 L of water was boiled with 1 g of methylene blue powder and a fist of salt, jeans garments that did not exceed 700 g were added, it was homogeneously removed and allowed to cool, the clothes were removed and the waste water was separated in a container. In the laboratory, 9 samples of 0.8 L each were separated, 1 control and 4 for NaClO and 4 for H₂O₂. In each group we worked with 2 samples under solar radiation and 2 samples without solar radiation. NaClO was dosed in 4,5 mL and 6,5 mL and H₂O₂ in 2,5 mL and 15,0 mL. After the oxidants were applied, absorbance was measured at 2, 5, 10, 20, 30 and 60 minutes. It was determined that NaClO positively influences the removal of methylene blue and H₂O₂ has no positive influence. Likewise, the optimal removal dose was with 4,5 mL of NaClO under radiation, obtaining a removal percentage of 98,47 %.

Keywords: oxidizing agent, methylene blue, oxidation.

INTRODUCCIÓN

La contaminación a mares y ríos han sido uno de los principales problemas en el mundo y como todos sabemos el agua es el recurso más importante para nuestra supervivencia, es por ello que se debe prestar mucha atención y prioridad a una gestión responsable de este recurso. Es inevitable negar que en las aguas ya existe presencia de enfermedades bacterianas y virales que son consecuencia de agentes infecciosos que transportan el agua y como consecuencia de ello la proliferación de enfermedades que atacan a la población mundial (1).

Un estudio señala que la industria textil ocupa el segundo lugar después de la industria del petróleo, en el ranking de industrial que generan mayor contaminación. En la misma investigación, se encontró que “en el 2015 el consumo textil per cápita llegó a los 13,1 kg/hab/año”; asimismo que la cantidad de agua al utilizar en la fabricación de una prenda depende de 2 factores, la fibra textil y los colorantes usados (2).

En el Perú, la industria textil cada año ha ido creciendo a pasos agigantados, con el fin de contribuir al PBI nacional , pero a su vez generando impactos negativos al ambiente ;y en su afán de frenar la contaminación a los cuerpos de agua, emitió una serie de normas que ayuden a regular los vertimientos en los cuerpos de agua para así poder mejorar sus condiciones y conservar todo el ecosistema que gira en torno a este recurso vital (3). Asimismo se crearon sistemas para mejorar la calidad del agua antes de poder verterlas algún cuerpo de agua, estos sistemas están constituidos por diversas unidades que tiene como finalidad adecuar a los valores de la normativa parámetros como la turbidez, pH, temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), coniformes, Sólidos Suspendidos Totales (SST), aceites y grasas (4).

En Junín, al igual que en otros departamentos del Perú como Arequipa, Puno y Lima, la industria textil ha ido ganando territorio tal como lo señala la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (5).

Por todo lo mencionado líneas arriba se puede decir que la industria textil es un problema gracias a los residuos que genera principalmente los colorantes y también a que sus procesos requieren gran cantidad de agua. Los colorantes son compuestos químicos que tienen propiedades que las hacen peligrosas para el ambiente, entre las que se puede mencionar que son altamente resistentes a la degradación microbiana (6).

Una de ellos y el más usado en esta industria en el rubro del teñido es el cloruro de tetrametilitionina o también conocido como azul de metileno, un colorante catiónico básico que es resistente a muchos tratamientos convencionales (7). Existen diversos métodos utilizados industrialmente para degradar colorantes de los efluentes textiles, tales como: biodegradación, coagulación química, adsorción por carbón activado, ultrafiltración, procesos de oxidación avanzada (POAs), etc. Los procesos de oxidación avanzada están siendo ampliamente estudiados para la descontaminación de aguas residuales con presencia de colorantes obteniendo resultados prometedores.

Por ello, este trabajo tiene como finalidad la degradación del azul de metileno, cuya fórmula molecular es $C_{16}H_{18}N_3C_1S$, por procesos de oxidación, el cual es un colorante procedente del teñido de pantalones jeans en la industria textil. Es necesario realizar la remoción del azul de metileno, ya que es considerada como una sustancia nociva en caso de ingestión e incluso algunos subproductos de este colorante llegan a ser cancerígenos, por otro lado la presencia del colorante en cuerpos de agua hace difícil la difusión del oxígeno y la luz en ellos afectando el desarrollo de la flora y fauna (8).

Asimismo, la metodología que se desarrolló fue utilizar dos agentes oxidantes: hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno con radiación y sin radiación aplicados al agua residual textil sintética con azul de metileno.

Para una mayor comprensión de esta investigación, líneas abajo trata se expone lo siguiente: en el Capítulo I se plantea el estudio, en el Capítulo II se detallan los antecedentes más relevantes que nos sirvió como punto de partida para nuestra investigación e información selecta y apropiada sobre el tema tratado, en el Capítulo III se describen los métodos y procedimientos experimentales realizados para la obtención de datos que ayudaron a demostrar la efectividad de este proceso, en el Capítulo IV se exponen los resultados respaldados por una serie de gráficas y prueba de hipótesis que nos ayudan a comprender el comportamiento de estos dos agentes oxidantes a diferentes concentraciones frente a la remoción del azul de metileno exponiendo finalmente las conclusiones de nuestra investigación.

Los autores.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El agua es excepcionalmente vulnerable a la contaminación. Se sabe que es un “solvente universal”, por lo tanto, “es capaz de disolver más sustancias que cualquier otro líquido”. Las mayoría de sustancias tóxicas provenientes de las actividades económicas tiene como destino final algún cuerpo de agua en el que fácilmente se mezclan causando aguas contaminadas (6).

Manifiesta la Organización Mundial de la Salud (OMS) que los recursos hídricos están siendo amenazados por la contaminación antropogénica. Las industrias tales como la minería, la agricultura, el sector eléctrico, entre otros, son los mayores contribuyentes a la contaminación de recursos hídricos que está causando y causará efectos irremediables a las personas. Entre las consecuencias que hoy en día se manifiesta y está relacionado directamente con el agua potable no higiénica y contaminada es la muerte por diarrea, donde se estima que cada año más de 842 000 personas fallecen por este mal, asimismo por otras enfermedades como cólera, disentería, hepatitis A, etc., también están siendo relacionadas con el consumo del agua contaminada en todo el mundo (9).

Conforme a un estudio que realizó la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se generan dos residuos principales: aguas residuales que corresponde a un 20 % y carbono como emisión en un 10 % a nivel mundial. A pesar del intento por tratar estas aguas residuales por parte de las empresas que pertenecen a este rubro, los impactos negativos en los cuerpos receptores continúan incrementando (9).

Alrededor del mundo existe una gran preocupación por la contaminación de los ecosistemas acuáticos a consecuencia de vertimientos de aguas residuales sin o parcialmente tratados. Esta preocupación se da principalmente por las características de toxicidad que presentan los contaminantes provenientes de colorantes y pigmentos (10). Esta situación no es ajena a Colombia, pues en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se ha evidenciado un cambio en el color de del río con nombre de este valle, esto se debe a las grandes volúmenes de aguas residuales producto de las actividades productivas, por ello en la tesis en mención se investigaron los efectos que realmente tanto los pigmentos y colorantes, causan sobre los cuerpos receptores, en este caso el agua (11).

La industria textil en Bangladesh ha sido un gran motor para impulsar el crecimiento económico en el país. Sin embargo, con gran éxito vino el deterioro ambiental. Los efluentes sin tratar que contienen metales pesados y demás sustancias contaminantes se están liberando en los ríos desde las fábricas cercanas, esto trae como consecuencia graves problemas a la salud de las personas que viven a lo largo de los ríos contaminados. La ley vigente en Bangladesh, que exige que dichas fábricas instalen una planta de tratamiento de efluentes (ETP en siglas locales), no ha sido efectiva para reducir el incumplimiento ambiental. A lo largo de una investigación realizada en esta área, se estudia especialmente las barreras y dificultades que enfrentan las fábricas en la instalación y operación de ETP. De acuerdo con los resultados obtenidos se confirman hallazgos previos: baja disposición de las empresas para cumplir con los requisitos de cumplimiento ambiental y monitoreo y aplicación inadecuados por parte de las autoridades gubernamentales. Además, revelamos que las barreras dominantes para la instalación de ETP están en la etapa de compra, en lugar de la etapa de construcción:

las ETP no están disponibles en los mercados locales y el impuesto a la importación es alto. Se requieren arreglos institucionales para mejorar esta situación; esto podría incluir el establecimiento de un esquema de subsidio que fomente la construcción voluntaria de ETP centrales (12).

La problemática ecológica en nuestro país a consecuencia del crecimiento de la industria textil se ha convertido es uno de los principales temas a tratar hoy en día, debido a que los recursos hídricos están contaminados por el uso de colorantes sintéticos que son descargados sin previo tratamiento en grandes volúmenes a estos cuerpos hídricos y en general a los ríos. Además, porque presentan impactos significativos a las actividades biológicas de los cuerpos de agua, pues estos colorantes presentan alta solubilidad en agua (considerando también que el agua es un buen solvente) y buena resistencia ante un proceso de biodegradación actuando, así como un inhibidor ante la incidencia de los rayos de luz y generan como producto aminas tóxicas a partir de la ruptura del grupo azo de los colorantes empleados en este sector económico.

Se conoce también que la industria textil se encuentra ubicada en el segundo lugar por detrás de la industria del petróleo en cuanto a las actividades que generan mayor contaminación. Por otro lado, la cantidad de agua que demanda el proceso de fabricación de ropas, depende del tipo de colorante y fibra usada. La clasificación de las actividades que más contaminan está en base a la cantidad de agua que utilicen y generen a lo largo de sus procesos; es así que la industria textil requiere de grandes volúmenes de agua para todo el proceso de coloreo, pero, además de ello, genera inmensos volúmenes de agua como residuo líquido. La situación se hace más complicada cuando hace referencia a que esta agua residual desechada contiene sustancias/contaminantes químicos, haciendo que las propiedades iniciales del agua se vean alteradas y sean aún más resistentes ante un proceso de remoción, aumentando su peligrosidad y haciéndolas menos efectivas antes los tratamientos tradicionales. Asimismo, en el año 2015, “el consumo textil per cápita llegó a los 13,1 kg/hab/año; y se consumieron 54 millones de toneladas en fibras naturales/año, donde 1 millón de toneladas de colorante y 7 millones de químicos para realizar el procesamiento textil por año” (2).

Hoy, la industria textil ocupa un puesto importante en la lista de las fuentes que generan mayores puestos de trabajo (5). El sector textil del Perú presenta operaciones completas de hilandería (carbonizado, batanado, lavado), pre-telares, telares y acabados; y en su proceso productivo se requieren grandes suministros de agua, vapor, colorantes, energía, detergentes, empaques, productos químicos, combustible, entre los principales. Los cuales se generan grandes cantidades de agua como residuo que, por la complejidad de la industria, los impactos sobre este recurso son los más importantes.

Asimismo, las aguas residuales del sector textil pueden categorizarse de la como: agua de lavados, los cuales presentan altos contenidos de aceites y grasas. Procesos en seco, presenta gran contenido de almidones, alcoholes polivinílicos y agua de lavado. Acabado de tejidos, presenta residuos ácidos debido a la eliminación de ácido sulfúrico. Tejedur de tapices, presenta carga elevada de DBO. Tinturado y acabado de hilo, presenta alta carga de DBO y color; de esta manera, se puede verificar en qué proceso de la industria textil se produce mayor contaminación según sus parámetros (5).

En la región Junín, es necesario comprender que la industria textil forma parte del día - día de las actividades económicas de las personas; por tanto, las empresas en su mayoría se dedican a la confección textil de prendas, frazadas, entre otros. Se ha planteado un desarrollo dentro de la industria donde se plantea que las empresas actúen manera responsable, esto iría de la mano con Arequipa, Puno, Lima y la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (4).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?
- ¿Cuál es la influencia del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?
- ¿Existe diferencia significativa entre la influencia de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?
- ¿Cuál es la dosis óptima de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?
- ¿Cuál es tiempo óptimo de reacción de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.
- Determinar la influencia del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.
- Determinar si existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

- Calcular la dosis óptima de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.
- Identificar el tiempo óptimo de reacción de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

1.3. Justificación e importancia

En los últimos años, el gran problema que aqueja a la población está asociado con el agua. Este líquido elemento no solo es importante para el consumo humano, sino que su importancia radica también en la utilización para las industrias. Una de estas grandes industrias es la industria textil, sin agua no podrían hacerse la coloración de los mantos, telas y demás. Esto sin duda ocasiona la presencia de colorantes en ella y genera daños a las especies que la habitan y a los seres humanos.

1.3.1. Justificación ambiental

Esta investigación pretende contribuir en la mitigación de los impactos negativos generados por los vertimientos de la industria textil hacia los cuerpos hídricos, disminuyendo el riesgo de alteración de calidad de agua al que está expuesta.

En el estudio titulado “Contaminación generada por colorantes de la industria textil”, se obtuvo que el agua residual proveniente de diferentes procesos de una fábrica textil aumentó significativamente la cantidad de Sólidos Totales. Antes del vertimiento se obtuvo un valor del 23.4 mg/L en el parámetro mencionado líneas arriba y aguas abajo se obtuvo 298.3 mg/L. Del mismo modo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) aumentó de 2.0 a 98.7 mg/L. Estos resultados muestran las afectaciones que los colorantes provenientes de las industrias textiles están causando en los cuerpos de agua. Se estima que del 2 al 50 % de los compuestos químicos son desechados al agua y están considerándose como contaminantes persistentes difícilmente removidos con métodos de tratamiento de aguas convencionales (13).

1.3.2. Justificación social

En párrafos anteriores se han mencionado los grandes impactos ambientales que generan los residuos de las industrias textiles. Sin embargo, es necesario mencionar que los impactos no son sólo ambientales, sino también sociales, pues el agua contaminada se convierte en un medio de transporte para agentes infecciosos como sustancias tóxicas, helmintos, hongos, virus, protozoarios y bacterias, los cuales son perjudiciales para la salud. La contaminación en un recurso hídrico trae consecuencias en la vida vegetal, animal y desde luego en la salud humana debido que, en su composición, presentan nitratos. Estos causan enfermedades de gravedad, hasta podrían ser mortales para los más vulnerables de casa, los niños y ancianos. Los compuestos químicos podrían ser absorbidos por los cultivos y en caso de ser ingeridos en suficientes cantidades podrían ocasionar lesiones en algunos órganos del cuerpo humano (14).

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis

1.4.1.1. Hipótesis general

Los agentes oxidantes influyen positivamente en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

- H_0 : Los agentes oxidantes no remueven el azul de metileno de agua residual industrial textil.
- H_1 : Los agentes oxidantes remueven el azul de metileno de agua residual industrial textil.

1.4.1.2. Hipótesis específicas

- El hipoclorito de sodio influye positivamente en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.
- El peróxido de sodio influye positivamente en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.
- Existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.
- La dosis óptima del hipoclorito de sodio como oxidante en la remoción del azul de metileno es 5 ml/L y del peróxido de hidrógeno es 3 ml/L.
- El tiempo de reacción del hipoclorito de sodio como oxidante en la remoción del azul de metileno de la solución acuosa es 15 minutos y del peróxido de hidrógeno es 9 minutos.

1.4.2. Descripción de las variables

1.4.2.1. Variable dependiente

La variable dependiente es la remoción del azul de metileno, ya que su concentración dependerá de la dosis de los agentes oxidantes aplicados.

1.4.2.2. Variable independiente

La variable independiente es el agente oxidante, ya que su concentración no depende de otro factor para ser aplicados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis titulada “Remoción de azul de metileno de cuerpos de agua utilizando nanopartículas magnéticas Fe_3O_4 y carbón activado”, para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Colombia en el 2019, se investigó el impacto de las industrias textiles en las fuentes hídricas, siendo el azul de metileno uno de los principales colorantes más contaminantes y daños que generan debido a su composición química, haciendo que sea difícil de remover y, además, que esté bastante tiempo en el agua. El azul de metileno genera impactos negativos tanto ambientales como sociales ya que, al incorporarse en el cuerpo de agua, afecta a su ecosistema y a la cadena alimenticia, aunque no se han encontrado datos estadísticos con exactitud, al incorporarse este químico al agua la flora se ve afectada. Asimismo, el agua afecta también a los suelos aledaños al lugar ya que puede perder parte de sus nutrientes. En esta investigación se plantea una alternativa de tratamiento al agua contaminada previo a su salida de la fábrica, ya que el agua está estancada y el azul de metilo se encuentra suspendido (15). La solución se orienta a la utilización de carbón activado mejorado con nano partículas magnéticas a fin de una completa extracción del colorante. Los análisis mostraron

resultados exitosos frente a la remoción del azul de metileno una vez aplicado el tratamiento; es importante aclarar que esta metodología no hace una eliminación de los compuestos químicos del colorante, sino que lo sedimenta y mantiene precipitado para que de esta manera el agua limpia sea removida y el sedimento pase a otro tratamiento (15).

En la tesis titulada “Evaluación de la degradación de azul de metileno mediante la técnica de oxidación de aire húmedo con peróxido de hidrógeno empleando óxidos mixtos de Mn, Cu y/o Fe como catalizador para el tratamiento de aguas residuales provenientes del Laboratorio de Microbiología de la Pontificia Universidad Javeriana” para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico en la Universidad de América - Colombia en el 2019, se investigó las aguas residuales de origen del laboratorio de microbiología de la Pontificia Universidad Javeriana la cual se hizo un primer tratamiento de oxidación teniendo como resultado la eliminación de colorantes como fucsia, rojo, violeta, tinta china azul y azul de lactofenol, sin embargo aún se apreciaba un color azul que pasó a ser analizado en el espectrofotómetro e identificado como Azul de metileno. Por tal razón, la presente investigación tiene como principal finalidad evaluar la degradación de azul de metileno de una muestra sintética del efluente del laboratorio ya mencionado con un previo tratamiento de oxidación catalítica y un método de oxidación usando aire húmedo con peróxido de hidrógeno (CWPO) acompañados de distintos óxidos mixtos que actuarán como catalizadores. Posteriormente se realizó las reacciones en las siguientes condiciones: temperatura de 30°C, flujo de aire de 2 mL/min, 0,5 g de Fe 2,5 mMol/g de sólido, y 10 mL de H₂O₂ 30% w/w, donde se tuvo el siguiente resultado: el catalizador de Fe de 2,5 m Mol/g fue el más eficiente removiendo el 100 % de 10 ppm de azul de metileno en un tiempo de reacción de 210 minutos. Asimismo, esta técnica logró disminuir la cantidad de algunos parámetros de la calidad del agua tales como SST, color, turbidez y fósforo total (8).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la investigación que lleva por título “Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando Procesos de Oxidación Avanzada (poa)” para optar el Título Profesional de Ingeniero químico en la Universidad Nacional del Altiplano en el 2016, se investigaron los tratamientos de aguas residuales contaminadas con colorantes provenientes de la industria textil que contienen concentraciones elevadas de compuestos orgánicos recalcitrantes y refractarios no biodegradables, dentro de estos tratamientos, de manera más específica, se han estudiado los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), estos procesos conllevan a la formación de radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), los mismos que presentan un elevado potencial de oxidación removiendo los contaminantes recalcitrantes y refractarios. La finalidad de esta investigación fue determinar la capacidad de degradación que posee la materia orgánica y la decoloración de tintes de teñido utilizando los POA, teniendo al pH, DQO y temperatura como indicadores. Se obtuvieron los mejores resultados en la remoción del Azul Blue (R-19) con un 95,44 % de eficiencia en soluciones estándar y con un 89,06 % de rendimiento a través del peróxido de hidrógeno, hierro, óxido de titanio en presencia de radiación UV con un valor de pH 7.8 y 12°C de temperatura (16).

En la investigación titulada “Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre” tuvo el objetivo de evaluar la efectividad del proceso de oxidación química de sulfuros mediante oxígeno con la ayuda de un catalizador de sulfato de manganeso (98 % de pureza). Dicho proceso se realizó en una prueba piloto con la ayuda de un tanque de aeración y una compresora; se evaluaron 3 L de solución agotada de pelambre sin destrucción de pelo en la cual se adiciono 60 m³ de aire por m³ de efluente tratado con una relación del catalizador de 0,4 kg MnSO_4/m^3 de solución de pelambre, 3,2 mg $\text{MnSO}_4/\text{mg S-2}$, obteniendo como resultados que la concentración de sulfuro en la muestra final después de las 6 horas de tratamiento se redujo de 470 mg/L a 5 mg/L, lo que conlleva una oxidación de sulfuro de 98,9 % estando muy cerca de estándares de calidad para descargas en alcantarillas (valor: 5 mg/L). Resultando este tratamiento muy beneficioso ya que no genera residuos; además permite el seguimiento de la reacción mediante el control de sulfuros y consigue la total eliminación de los sulfuros (17).

La investigación titulada “Optimización de la remoción de compuestos orgánicos persistentes mediante el proceso Foto-Fenton”, publicada en la Revista Sociedad Química del Perú, tuvo como objetivo identificar las condiciones óptimas para degradar compuestos orgánicos provenientes de aguas residuales de la industria textil con una muestra sintética, esto a causa de que los colorantes usados para teñir textiles son sustancias orgánicas donde sus moléculas alteran las composiciones de las fibras que luego al unirse con el agua genera un efluente con características no favorables que eleva el DQO, SS y una variación en el pH. El experimento se realizó a escala de laboratorio usando el proceso Foto Fenton y considerando 4 especificaciones importantes propio de la investigación estas fueron: relación de reactivos Fenton H_2O_2/Fe^{2+} (11,25; 18,75; 26,25 mg/L/mg/L), potencia de lámpara UV (4, 11, 18 W), pH (2, 3, 4) y tiempo de tratamiento (60, 120, 180 min). Los condiciones óptimas para la remoción de compuestos orgánicos fue: primero, tener una relación de reactivos Fenton H_2O_2/Fe^{2+} igual a 17 mg/L/mg/L; segundo, tener una potencia de lámpara UV igual a 4 W; tercero, contar con el medio en un pH igual a 3 y por último el tiempo de tratamiento de 180 min (18).

2.1.3. Antecedentes locales

En la investigación “Degradación del azul de metileno, del efluente de la industria textil Grupo Grande S.A.C., mediante oxidación combinada ozono/ H_2O_2 ” para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional del Centro del Perú en el 2016, se investigó el proceso de oxidación combinada ozono/ H_2O_2 para la degradación del azul de metileno de los efluentes provenientes de la industria textil del Grupo Grande S.A.C., obteniendo resultados favorables frente a otros métodos de oxidación; se alcanzó una mayor degradación de color debido a la alta capacidad de oxidación ya que genera radicales libres y descompone el ozono produciendo agua y oxígeno diatómico que no afectan a la degradación del azul de metileno. En la parte experimental se evaluó que a un pH 6 y 2.5 mL de peróxido de hidrógeno se alcanzó más de la mitad de azul de metileno en tan solo 3 minutos, sin embargo, si se aumenta el

pH a 8 y se mantiene el volumen, la degradación es más efectiva. Un aspecto de relevancia que se ha investigado en este trabajo es el impacto que generan los efluentes de la industria textil en los cuerpos hídricos receptores. Las aguas residuales son mayormente de naturaleza alcalina y presentan elevadas concentraciones de DBO y DQO, además a una alta temperatura y hasta a veces pueden presentar metales pesados producto de los distintos procesos por lo que pasa las prendas durante el teñido. La mayoría de los colorantes utilizados en la industria son de estructuras complejas y variadas, altamente resistentes a la acción de agentes químicos, lo que significa que los métodos que se aplican para su remoción deben ser más complejos también (19).

En la tesis titulada “Proceso Foto-Fenton para la degradación de color del efluente de la industria textil” para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional del Centro del Perú en el 2019, se investigó las aguas residuales de la industria textil que tiene como principal contaminante al colorante Rojo Monderdirect Supra 4B y su remoción de ésta mediante el proceso de Foto-Fenton, la cual tiene como metodología experimental realizar una muestra sintética con dicho colorante y algunos compuestos característicos de un efluente del proceso de tintura, y se determinará el tiempo de reacción en tres niveles de 30, 60 y 90 min; y la relación de H_2O_2 con el Fe^{2+} a 8,4; 9,7 y 25,5. En el experimento se usó una muestra sintética de 6,75 L de agua residual previamente pasada por el proceso de tintura, en la cual se determinó que el tiempo de residencia de 90 min llegó a remover hasta 99,74 % del colorante, pero a su vez se identificó que a los 30 minutos llegó a remover hasta 99,54 % de colorante habiendo logrado una remoción óptima, el cual demuestra que el proceso es efectivo para la remoción de dicho colorante. Finalmente, se evaluaron las características del agua tratada donde parámetros como el DBO, DQO, sólidos totales y conductividad están en niveles permisibles demostrando una vez más que el proceso aplicado en esta investigación es efectivo para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil (20).

En la investigación titulada “Degradación del azul de metileno por método electroquímico evaluando la diferencia de potencial, pH y tipos de electrodos” que tuvo objetivo eliminar por métodos electroquímicos el azul

de metileno estimando la diferencia de potencial, pH y tipos de electrodos. Esta investigación se desarrolló a nivel de laboratorio en una celda electrolítica, en la que se consideró como diferencia de potencial a los valores 1.5 V; 3 V y 4.5 V, valores de pH de 5,7 y 9; así como el material de los electrodos que fueron de hierro, cobre y aluminio. Las condiciones en las cuales se hicieron los ensayos fueron, una muestra de 40 mL de volumen, 2 rpm de velocidad de agitación a temperatura ambiente 16°C en un tiempo de 1 hora; realizando en análisis de las muestras mediante la espectrofotometría UV-visible como método instrumental. Se obtuvo como resultados que los parámetros ideales para el desarrollo del proceso son un pH de 9, diferencia de potencial de 4.5 V y el material del electrodo de aluminio, consiguiendo con todo esto un 76,5 % de degradación del azul de metileno, siendo la opción más recomendable a utilizar (7).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Industria textil

2.2.1.1. Contaminación de aguas por la industria textil

La segunda industria más amenazante al medio ambiente y del cual no se tiene conciencia es la industria textil (2). En la actualidad, uno de los más grande que afrontan los recursos hídricos está asociado al vertimiento de efluentes contaminados por la industria textil, siendo estos quienes descargan sus aguas en grandes cantidades por el mismo hecho que también requieren enormes cantidades de agua para su proceso. Estos efluentes están catalogados como altamente peligrosos por tener altas concentraciones de metales pesados.

Es fácil reconocer cuando un cuerpo de agua está contaminado por algún colorante, pues su propiedad física de color, es la primera señal, ya que esta cambia ante los ojos. Una de las consecuencias negativas es que cuando el colorante se incorpora

a un cuerpo de agua, no solo afecta su color; sino también, afecta a sus procesos fisicoquímicos tal es el caso de la fotosíntesis, ya que disminuye la radiación de la luz solar, y a su vez repercute sobre la vida acuática (21).

Los colorantes son la principal causa de la contaminación del agua en la Industria textil ya que se debe a su uso en el proceso de teñido, el colorante no se fija en su totalidad; por tanto, se convierte en colorante residual, que termina siendo descargado a un cuerpo de agua y de esa manera afecta al ecosistema acuático.

En la tabla 1 se observa los porcentajes de fijación a las fibras de los colorantes, se evidencia que los colorantes reactivos y sulfurados son los más dañinos a los ecosistemas acuáticos debido a que al llegar a estos hay entre 40 - 50 % de colorante residual.

Tabla 1. *Porcentaje de fijación de algunos colorantes.*

Tipo de colorante	Tipo de fibra	Porcentaje de fijación	Porcentaje de colorante residual que va al efluente
Acido	Poliamida	89 - 95 %	5 - 20 %
Básico	Acrílico	95 - 100 %	0 - 5 %
Directo	Celulosa	70 - 95 %	5 - 30 %
Disperso	Poliéster	90 - 100 %	0 - 10 %
Mordiente	Lana	90 - 98 %	2 - 10 %
Reactivo	Celulosa	50 - 90 %	10 - 50 %
Sulfurado	Celulosa	60 - 90 %	10 - 40 %

Fuente: O'Neill (22).

2.2.1.2. Tratamiento de aguas residuales de la industria textil

El efluente de la industria textil producto del agua usado en cada proceso y los colorantes residuales pueden llegar a contener sustancias minerales, orgánicos, inorgánicos y biológicos que puede causar una alteración a los ecosistemas acuáticos; por ello, es importante tratar las aguas residuales de la industria textil con el fin de recuperar las propiedades iniciales del agua y que no cause una contaminación a estos ecosistemas.

Entre los tratamientos se encuentran los de tipo físico, químico, y biológico. Los físicos, cambian la composición de los agentes extraños presente en el agua. Los químicos, transforman la estructura del contaminante en el agua y los biológicos usan microorganismos para degradar moléculas extrañas en el agua (8). A continuación, se detallan estos tipos de tratamientos de agua residual de la industria textil.

a) Tratamientos físicos:

Se encuentran nuevas alternativas de este tipo por la presencia de pigmentos y colorantes, tales como: sistemas de filtración, coagulación, y otros que se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. *Métodos físicos aplicados a la degradación de colorantes.*

Metodología	Descripción o generalidades	¿Existen desventajas?
Filtración con membrana	Logra la remoción de diferentes tipos de colorantes. Ocurre una separación efectiva de las moléculas de colorante y compuestos de tamaño menor al de la membrana seleccionada.	El ozono tiene un tiempo de vida media corto (20 minutos), este puede ser reducid en la presencia de colorantes. Es un método costoso.

Irradiación	Se degradan las moléculas de colorantes de manera efectiva mediante radiación. Buenos resultados a escala de laboratorio.	El oxígeno disuelto se consume rápidamente, por eso se requieren grandes cantidades de él.
Congelación electrónica	Utiliza sulfato ferroso y cloruro de férrico lo que permite una buena remoción de colorantes tipo directos, sin embargo, no ocurre lo mismo con los colorantes tipo ácidos.	Generación de grandes cantidades de todo. No es muy usado debido a alto costo de sulfato ferroso y cloruro férrico.
Intercambio iónico	Se pasa el efluente sobre la resina de intercambio iónico hasta que se saturan los sitios disponibles.	No es efectivo para los tipos de colorantes, además implica un alto costo económico.

Fuente: Espinoza (1).

b) Tratamientos químicos:

Dentro de las alternativas de tratamientos químicos para efluentes con presencia de colorantes se observa en la tabla 3.

Tabla 3. *Métodos químicos aplicados a la degradación de colorantes.*

Metodología	Descripción o generalidades	¿Existen desventajas?
Ozonación	El ozono presente una elevada capacidad oxidante, con ello se destruyen las moléculas de colorante (de preferencia dobles enlaces). Se obtiene un efluente con baja DQO e incoloro.	El ozono tiene un tiempo de vida corto (20 minutos). este puede ser reducido en la presencia de colorantes. Su costo es elevado.
Fenton	Utiliza la acción de la sorción de la unión para eliminar los tintes disueltos en aguas residuales.	Generación de lodos a través de la floculación de reactivo y las moléculas de colorante residuales.

Fotoquímica	Degrada las moléculas de colorante a CO ₂ y H ₂ O por tratamiento UV en presencia de H ₂ O ₂ .	Si bien no produce lodos, ocurre la formación de productos secundarios radicalarios.
Hipoclorito de sodio	Ataca el grupo amino de los colorantes utilizando CT.	Liberación de compuestos tóxicos como las aminas aromáticas, las cuales son carcinogénicas
Destrucción electroquímicos	Se generan metabolitos de toxicidad reducida lo que permite la reutilización de las aguas tratadas bajo esta metodología	Disminución directa de la eliminación de colorantes y está involucrado un gran costo energético
Electrocoagulación	Se usa un campo eléctrico a entre los electrodos metálicos, los cuales se sumergen en el afluente contaminado	Deficiencia en la remoción del colorante. Está involucrado también su alto costo energético

Fuente: Espinoza (1).

En la tabla 4 se observa la eficiencia de algunos tratamientos químicos para la remoción de colorantes.

Tabla 4. *Porcentajes de remoción de colorantes de algunos tratamientos químicos.*

Tratamiento utilizado	Porcentaje de remoción
Fotocatálisis	Cercano 100 %
Reactivo Fenton	Cercano a 100 %
Ozonización	Mayor a 98 %
Electrocoagulación	80 - 90 %

Fuente: Espinoza (1).

c) Tratamientos biológicos:

Debido a la gran diversidad biológica que existe en nuestro país y el mundo, se han encontrado microorganismos especializados netamente en la remoción de colorantes concretos. En este tipo de tratamiento existen distintas metodologías como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. *Métodos biológicos aplicados a la eliminación de colorantes.*

Metodología	Descripción o generalidades	¿Existen desventajas?
Decoloración con hongos	Los hongos son capaces de degradar diferentes tipos de colorantes como los tipos azoicos, mediante el uso de enzimas como la lignina peroxidasa.	La producción de enzimas es poco fiable
Decoloración bacteriana aeróbica	Para poder decolorar los afluyentes se utilizan enzimas como la lacasa y ocurre esto bajo condiciones aeróbicas.	Generación de aminas aromáticas, las cuales son cancerígenas.
Adsorción con biomasa microbiana	La adsorción ocurre mediante un intercambio iónico porque algunos colorantes tienen cierta afinidad de enlazarse con algunas especies microbianas	No es efectiva para todos los tipos de colorantes.
Bioremediación anaeróbica	Permite remover el colorante tipo azoico y colorante soluble en agua. La decoloración envuelve un proceso de oxidación-reducción con hidrógeno	La descomposición anaeróbica produce metano y sulfuro de hidrógeno.

Fuente: Espinoza (1).

Cada tratamiento tiene una metodología específica con ventajas y desventajas para distintos efluentes residuales de la industria textil. Por consiguiente, cada técnica tiene que pasar por una evaluación considerando distintas especificaciones como: tipo de colorante, costo, tiempo y rendimiento para cumplir un objetivo deseado; asimismo, la combinación de dos o más metodologías pueden ser posibles siempre en cuando se tiene en cuenta las características del agua residual (20).

2.2.1.3. Situación actual en la región Junín

De acuerdo al análisis regional de empresas industriales en la región Junín, la actividad de manufactura llega a ser la segunda principal actividad económica de la región con un 14,9 % de aporte al (PBI) y gran dinamismo en los últimos años. Asimismo, hay un número elevado de empresas con actividades de elaboración de prendas de vestir o confecciones y productos textiles; lo cual, la provincia de Huancayo presenta más del 66 % de empresas de este rubro con un número mayor de microempresas (23).

Así como el crecimiento de la industria textil en la región Junín también aumenta la responsabilidad de estas empresas en su principal recurso que es el agua. Ya que ésta es usada en todos los procesos ya sea blanqueado, teñido, mercerizado y estampado de telas en su mayoría fibras de algodón o lana que tiene como consecuencia efluentes con partículas orgánicas e inorgánicas además de una variedad de colorantes (5). Los efluentes de la industria textil, en su mayoría no reciben un tratamiento debido al alto costo que representa.

2.2.2. Colorantes textiles

2.2.2.1. Naturaleza de los colorantes

Hasta el día de hoy se desconoce el origen del teñido de objetos textiles; sin embargo, se han encontrado mantos y prendas al interior de las tumbas de culturas con más de 4 500 años de antigüedad en Asia y en el norte de África. Estos hallazgos dan indicios que los colorantes se remontan a aquellas épocas, pero la coloración era través de la utilización de los jugos de frutas (24).

Según cuenta la historia, en le Edad Media existían muy pocas sustancias colorantes, como parte del comercio, los colorantes eran trasladados desde el Oriente hasta Europa. Fue de esta

manera que España y Portugal fueron grandes importadores de sustancias colorantes (25).

Fue hasta mediados del siglo XIX que se usó solamente colorantes naturales; es decir, aquellos que procedían de animales y vegetales, cuya extracción se llevaba a cabo mediante técnicas que involucraban procesos de fermentación. Los hallazgos demuestran que esta técnica de coloración daba resultados pobres, pues tenía un rango limitado de tonos y a la luz solar los colores eran opacos. La solidez de un teñido se mide por la resistencia que presenta la prenda a desteñirse o incluso cambiar ligeramente de tono cuando se le aplica un proceso o agente determinado (25).

Por otra parte, la mayoría de colorantes naturales no son independientes frente a productos de fibras naturales como la lana y el algodón, esta propiedad implica la compenetración entre la fibra y el colorante, de modo que la fibra absorbe el colorante gradualmente y desaparece de la solución (26).

El problema de no tener solidez ante la luz solar y la carencia de sustentividad y otros agentes ambientales que poseen los colorantes naturales puede ser solucionado a través de ciertos tratamientos previos al teñido, el cual se le conoce como "mordentado". Este proceso consiste en darle un tratamiento al material previo al teñido en sí a través de la utilización de una solución de sales metálicas de hierro, cobre o estaño en condiciones que beneficien la combinación de los iones metálicos con el material. Es así que a estas sales se les conoce como mordientes, ya que cuando el material mordentado se une con el colorante, este se impregna al interior y reacciona con los iones metálicos depositados, de esta manera se obtiene un complejo insoluble que es de hecho más resistente a la radiación solar (25).

William H. Perkin en el año 1856 elaboró el primer colorante sintético mientras manipulaba la quitina para un tratamiento de la malaria, el dicromato de potasio reaccionó con anilina y se obtuvo

a lo que hoy se conoce como Mauveína, tiene la capacidad de teñir fibras sin mordentar previamente. Este descubrimiento dio lugar a otros, sin embargo los primeros colorantes sintéticos eran de tipo catiónico y solo podían aplicarse con ácido tánico en fibra de algodón mordentado (27).

Los primeros colorantes sintéticos tenían un comportamiento similar a los colorantes naturales; sin embargo, a medida que se fue comprendiendo el proceso de coloración, comenzaron a surgir productos que fueron presentando mejores características de tono, solidez y sin duda las técnicas mejoraron.

La mayor parte de los colorantes que se emplean en la industria son sintéticos, cuenta de ellos es la producción mundial que está por encima del millón de toneladas por año, de esta cantidad el 50% está representado por colorantes textiles (28). La mayor producción se centra en Asia y Europa, países como: Brasil, México, Alemania, India, Inglaterra, Japón, Suiza, Corea y Taiwán (29).

A comparación de los colorantes naturales, los sintéticos presentan mayores ventajas para las empresas, pues tienen menor costo y mayor resistencia a los factores ambientales; sin embargo, es justamente esta última característica que hace que los colorantes sean más resistentes a la biodegradación y su remoción de los efluentes sea complejo.

2.2.2.2. Clasificación de los colorantes textiles

Los colorantes textiles pueden clasificarse de acuerdo a diferentes factores tales como: solubilidad, aplicaciones composición química, procesos de teñido, origen y otros. Sin embargo, se estudiarán de acuerdo a su solubilidad en materiales colorantes, mismos que son los materiales solubles y sobre los pigmentos, que son materiales insolubles. De acuerdo a sus aplicaciones tecnológicas, se utilizan con mordientes, colorantes reactivos,

ácidos/básicos, metal-complejo, tina y pigmentos. Por otro lado, su composición química es tan compleja que se puede clasificar en antraquinona, tripenilmentano, sulfuro, ftalcianina o índigo (30).

En resumen, los colorantes textiles pueden clasificarse bajo diferentes criterios, sea por su estructura, color, método de aplicación y naturaleza. Lo que se conoce es que la mayoría de los colorantes utilizados en la industria de textil son solubles y los más utilizados con un 70 a 80 % son los tintes azo (30).

Una de las formas más sencillas de clasificar los colorantes es en base a su naturaleza; es decir, la fuente de la que provienen. De esta manera, se tiene:

a) Colorantes naturales: son aquellos que se extraen de la naturaleza: animales y/o plantas para dar color a los textiles en general. Esta clasificación se explica en las siguientes líneas:

- Colorantes vegetales: son aquellos que se extraen de las plantas, entre sus subgrupos tenemos:
 - o Carotenoides: estos son estructuras isoprenoides que están presentes en algas, hongos, bacterias y plantas superiores (31). La estructura química básica de este grupo, es que los carotenoides presentan dobles enlaces insaturados, y en su mayoría son tetra-terpenos con múltiples unidades y lipofílicas. Como ejemplos representativos se tiene al color del tomate (Licopeno y al de la zanahoria (β -caroteno).
 - o Flavonoides: son compuestos que constituyen la parte no energética del hombre de estructura básica fenólica, y que a través de los años mostraron efectos adversos a la salud (32). Entre ellos están las Flavononas, los mismos que le otorgan la coloración a las naranjas y mandarinas y, por otro lado, se tiene a las flavonas, que se encargan de la coloración amarilla de los pétalos de las flores.

- Betalaínicos: son colorantes que se encuentran comúnmente en las flores, frutos y raíces; estos derivan de la tirosina (33). En este grupo se encuentran las Betacianinas, que dan la coloración rojo o violeta y las Betaxantinas que brindan el color amarillo.
 - Colorantes animales: este tipo de colorantes no tiene una clasificación variada; sin embargo, entre los más destacados se tiene a los colorantes que provienen de los insectos, como la cochinilla, que provee un color rojo intenso bastante utilizado en las industrias. Otro claro ejemplo es el colorante que se extrae de organismos marinos, entre los que destaca la cañadilla que provee de un color púrpura.

- b) Colorantes sintéticos: son aquellos que se obtienen por síntesis partiendo de dos o más sustancias generalmente incoloras, y de acuerdo a su estructura química pueden ser orgánicos y en algunos casos inorgánicos (1).
 - Colorantes azoicos: son colorantes que se desenvuelven dentro del sustrato, principalmente celulosa, a teñir. Este grupo de colorantes compone el 70 % de los que se producen en todo el mundo. Su estructura presenta un enlace $-N=N-$. Una de las características que destaca de este grupo es que presentan un alto nivel de estabilidad, característica que hace que sean difíciles de eliminar. Por otro lado, tienen un método de síntesis sencillo, alto coeficiente de extinción molar y hay una gran variedad. “Estos pueden ser clasificados en base a su índice de color como: monoazoicos, bisazoicos, trisazoicos, poliazoicos y azoicos” (1).
 - Colorantes directos: son aquellos que tiñen la celulosa a pesar de no usar un mordiente, generalmente su aplicación es usando un baño acuoso y su electrolito añadido (1). Los colorantes que pertenecen a esta clasificación son aplicados dentro de la industria textil y

papelera. Una característica representativa de este grupo es que son solubles en agua y alrededor del 70 % de estos presentan una estructura similar al tipo azo -N=N-. Sin embargo, no tiene solidez durante el lavado, por lo tanto, tienen un precio cómodo en el mercado (1).

- Colorantes sustantivos: este grupo de colorantes son los que tienen la capacidad de teñir de manera directa las fibras de algodón y destacan porque en un lavado posterior no pueden ser eliminados (19).
- Colorantes mordientes o cromados: son colorantes aniónicos, solubles en agua que tiñen las fibras con grupos amínicos de origen animal o sintético. Este grupo de colorantes representa alrededor del 30 % de colorantes que se usan en el teñido de lanas (1). Para la utilización de este tipo de colorantes es necesario el uso de sales, entre los más comunes se tiene a los siguientes: cromato de potasio y dicromato de sodio. Es importante aclarar que las moléculas de este tipo de colorante no contienen cromato; sin embargo, la presencia del cromo se debe gracias a las sales fijadoras de dichos colorantes sobre las fibras (30).
- Colorantes reactivos: los colorantes reactivos, reciben ese nombre ya que reaccionan con las fibras sea por adición nucleofílica y sustitución. Este grupo se caracteriza por ser solubles en agua formando enlaces químicos con la lana y la celulosa. Una característica es que estos colorantes presentan propiedades de solidez en color, excepto cuando se usa cloro (30). Por otro lado, se caracterizan por presentar una amplia gama de coloración, facilidad en su aplicación y alto grado de brillantez (1). En su estructura, tienen un cromóforo y un grupo reactivo, lo que genera la formación de enlaces covalentes con la fibra cuando se tiñe el material, esto hace que sean difíciles de remover.

- Colorantes tina: son colorantes que presentan sustancias insolubles, estos pueden ser reducidos a sustancias alqui-solubles. La aplicación de este colorante es en forma reducida y además, este se reoxida en presencia de la fibra (19).
- Colorantes de dispersión: son colorantes no iónicos, insolubles en agua; reciben ese nombre porque son aplicados luego de una dispersión acuosa sobre fibras hidrofóbicas. Su uso industrial es sobre todo en el teñido de poliéster y en menor proporción, sobre nylon (25). La penetración del color en el material es generalmente buena, mientras que para el lavado, este dependerá de la estructura de la fibra a la cual se esté aplicando el colorante (30).
- Colorantes sulfurosos: estos colorantes tienen en su estructura un grupo amino y fenólico; a diferencia de otros colorantes que tienen azufre, los verdaderos colorantes sulfurosos los átomos de azufre forman una cadena (1). Estos colorantes son insolubles en agua y son aplicados de forma reducida. Su aplicación se da sobre algodón en forma reducida y luego reoxidan (25).
- Colorantes de difenil y del trifenil metano: son colorantes que destacan por su color brillante; sin embargo, la gran desventaja que presentan es que no son resistentes a la luz o al lavado. Su aplicación en la industria es para la coloración básica de lana, seda o algodón, mordeando con ácido tánico (19).
- Colorantes azufrados o fosforados: dentro de esta clasificación se encuentran los colorantes que se preparan al calentar materias orgánicas con azufre y tionación (Sulfato de sodio). Se aplican principalmente en algodón, ya que atacan a las fibras de éster y las proteínas (19).
- Colorantes índigos: la fórmula molecular del índigo es $C_{16}H_{10}N_2O_2$, este grupo de colorantes provienen de

fuentes vegetales; sin embargo, para que puedan ser aplicados deben ser procesados, es por ello que forman parte de los colorantes sintéticos (19). Su aplicación es bastante reconocida por el azul característico de los pantalones jeans. En este grupo encontramos al Azul índigo e Índigo brillante 4BN (1).

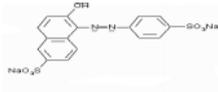
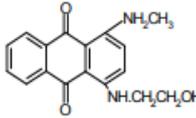
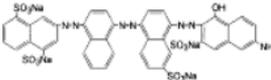
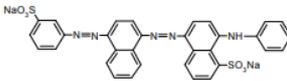
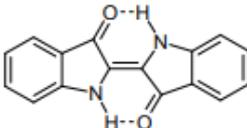
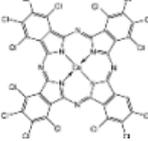
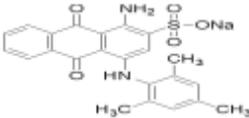
- Colorantes nitrados y nitrosados: este grupo es bastante reducido; sin embargo, es también uno de los más antiguos. Los colorantes nitrados y nitrosados se caracterizan por ser aromáticos y por la presencia de NO_2 en la posición orto a un sustituyente electro-donador, que generalmente es el NH_2 (1). Gracias a su pequeña masa molecular es ideal para teñir fibras de poliéster.
- Colorantes ácidos: son colorantes aniónicos solubles en agua, y en su estructura presentan grupos ácidos (sulfónico, carboxílico o nitro). Para su aplicación, pueden teñir lanas, fibras, seda y poliamida.
- Colorantes básicos: son colorantes en los cuales el cromóforo, átomos que al absorber rayos luminosos dan color a un compuesto orgánico, está ubicado en el catión, motivo por el cual a este grupo se le conoce también como colorantes catiónicos. Asimismo, estos muestran afinidad con las fibras acrílicas y son solubles en agua (1).

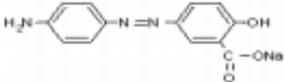
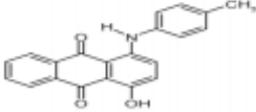
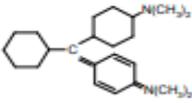
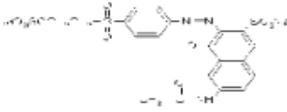
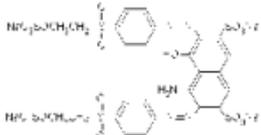
2.2.2.3. Química de los colorantes

De acuerdo al orden de absorción de la luz, es esencial la presencia de enlaces insaturados. A los grupos que presentan al menos un enlace insaturado se les conoce como cromóforos y al compuesto que contiene grupos cromóforos, se le denomina cromógeno. Por otro lado, en el cromógeno hay grupos que aumentan la intensidad del color, a estos se les conoce como auxocromos (25).

Los grupos cromóforos más importantes se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Porcentajes de fijación de algunos colorantes.

Colorante	Estructura	No del color	C.I	Tipos de colorante
Naranja S		Naranja Directo 26		Diazo
Azul disperso 3		Azul Disperso 3	61505	Antraquinona
Azul supra		Azul directo 71		Diazo
Azul acido 113		Azul ácido 114	26360	Diazo
Índigo		Azul 2		Indigoide
Verde G		Verde ácido 27		Antroquinona
Azul PR		Azul ácido 129		Antroquinona

Amarillo MD		Amarillo 12		Azo
Azul MB		Azul 13		Azo
Verde de malaquita		Verde básico 4	42000	Trifenilmetano
Naranja Brillante		Naranja reactivo 16	20505	Azo
Negro B		Negro Reactivo 5		Diazo

Fuente: Garzón (34).

2.2.3. Azul de metileno

El cloruro tetrametilitionina ($C_{16}H_{18}N_3ClS$), llamado comúnmente azul de metileno, es un colorante aromático heterocíclico, que forma parte de los colorantes tiazina. Tiene forma de cristales muy finos de color verde oscuro con brillo bronceado en su estado sólido, pero en su estado líquido presenta un color azul fuerte. Es inodoro completamente y estable al aire, su peso molecular es de 319,85 g/mol, presenta un punto de fusión $100^{\circ}C$, en solución puede llegar a tener una densidad de 1.757 g/cm^3 . Moderadamente soluble en alcohol, pero fácilmente soluble en agua y cloroformo. Tiene habilidad para aceptar y donar iones de hidrógeno como parte de sus características redox (35). Sus principales usos son:

- Microbiología: el azul de metileno es utilizado dentro de la microbiología en diversos procesos, se puede mencionar su participación como colorante en la técnica de coloración de Ziehl

Neelsen, también es utilizado para el diagnóstico de Eritrasma. Asimismo es utilizado para la tinción de muestras tomadas con cinta adhesiva en la que se pronostica la presencia del agente causal de la Píriasis Versicolor (35).

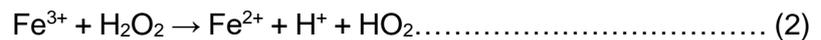
- Usos terapéuticos: el azul de metileno fue utilizado gracias a su propiedad antiséptica y cicatrizante para poder limpiar heridas, también para el tratamiento de la Onicomycosis ya que puede eliminar el hongo. Se utilizó también para el tratamiento de la Metahemoglobinemia aplicando azul de metileno intravenoso al 1 % obteniendo resultados favorables en el paciente. Otra de sus aplicaciones se da gracias a su efecto vasopresor ya que tiene la propiedad de paralizar la síntesis de óxido nítrico al inhibir la acción de la guanilato ciclasa lo que favorece a los pacientes que sufren de vasodilatación arteriolar, hipotensión y depresión cardíaca (35).
- Indicador Redox: gracias a su propiedad oxidoreductora el azul de metileno en presencia de NaOH con pH alcalino más glucosa es reducido a azul de leucometileno (incoloro) y si se le añade oxígeno al azul de leucometileno es oxidado volviendo la solución al azul (es una reacción completamente reversible) (35).

2.2.4. Procesos de Oxidación Avanzada (POAs)

Los tratamientos de agua comunes muchas veces no suelen ser suficientes para que los contaminantes emergentes de la industria farmacéutica sean eliminados, aditivos industriales, plasticantes y plaguicidas que muchas hacen que no se cumple con los estándares establecidos dentro de la normativa legal. Por todo ello surge la necesidad de utilizar otro tipo de tecnologías a las cuales se les denominan procesos de oxidación avanzada también conocidas como POAs entre las que se puede mencionar a procesos Fenton, ultravioleta/peróxido de hidrógeno, ultrasonido, oxidación electroquímica, fotocatalisis heterogénea, UV/H₂O₂, fotólisis ultravioleta de vacío, plasma no térmico, fotólisis/Fenton y fotocatalisis heterogénea para la descontaminación de agua de diversos orígenes. A continuación, se explican los procesos más utilizados.

2.2.4.1. Tipos de oxidantes

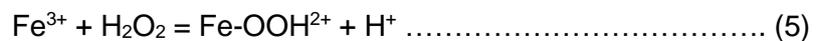
- Reactivo Fenton: en el siglo XIX se logró demostrar mediante los ensayos de Fenton que las soluciones de peróxido de hidrógeno y sales ferrosas (Fe^{+2} , Fe^{+3}) tenían el poder de oxidar los ácidos tartárico, málico, y otros compuestos orgánicos. La reacción Fenton consta en agregar sales de hierro en presencia de H_2O_2 en un medio ácido con el fin de formar a los radicales HO (ecuación 1), la mezcla de las sales de hierro y el peróxido de hidrógeno es conocido también como reactivo Fenton (36).

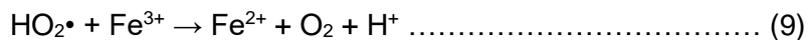


En la reacción 1 se tiene como productos radicales $\text{HO}\cdot$ y en la reacción 2 radicales perhidróxido (HO_2), los cuales tienen como objetivo atacan los compuestos orgánicos y de esa manera impulsar su oxidación (reacción 3), cabe mencionar que el radical $\text{HO}_2\cdot$ es menos reactivo (36).



La reacción 4 es una reacción alterna que se genera cuando el radical hidroxilo reacciona con un ion ferroso, también el Fe^{2+} se oxida a Fe^{3+} (reacción 1), dando como productos radicales hidroxilos en segundos (36). A $\text{pH} < 3$, la reacción 5 es autocatalítica, puesto que el Fe^{3+} descompone H_2O_2 en O_2 y H_2O por medio del mecanismo en cadena que muestran las siguientes reacciones (5, 6, 7, 8, 9, 10) (36):





El proceso es muy efectivo para que los contaminantes sean eliminados, gracias a su eficiencia en poder generar de HO•, pero un exceso de iones Fe²⁺, puede atraparlos (reacción 2), de la misma manera que los halógenos, el mismo H₂O₂ o el radical perhidroxilo (36).



Las reacciones 11 y 12 dan a conocer que es posible generar recombinación de radicales HO• o la reacción de este con el radical HO₂•. lo cual hace deficiente la puesta en marcha de la reacción (36). Este tipo de tratamiento tiene grandes beneficios en el tratamiento de aguas residuales que tienen como origen la industria petroquímica, textil, farmacéutica, papelera (los compuestos que no pueden ser eliminados por este reactivo son muy pocos) (36).

- UV/H₂O₂: el tipo de radiación UV al unirse con el H₂O₂ (peróxido de hidrógeno), se representa mediante lo siguiente: UV/H₂O₂. Esta combinación muestra una gran eficiencia ante la presencia de compuestos orgánicos tóxicos que se encuentran en las aguas residuales para eliminarlos. Es en este proceso donde se da la formación acelerada de radicales HO•, lo que permite la transformación de los compuestos orgánicos en productos con mayor biodegradabilidad. Esta reacción no sería posible sin la radiación que emiten las lámparas UV, pues hay una ruptura de enlaces químicos cuando la luz ultravioleta interactúa con las moléculas presentes en el agua residual, ya que la luz UV tiene una

longitud de onda menor a los 400 nm, lo que permite fotolizar las moléculas de H₂O₂. El rompimiento de la molécula de H₂O₂ gracias a la acción de los fotones con energía dan como producto dos radicales HO• por cada molécula de H₂O₂ (36). La rotura de la molécula de H₂O₂ cuando se aplica radiación UV, o conocido también como el proceso fotólisis, permite la formación del radical hidroxilo el cuál es el objetivo de esta reacción (36).



La fotólisis del H₂O₂ en la mayoría de los casos se hace con la ayuda de lámparas de vapor de mercurio de baja o media presión. Se hace más eficiente el proceso cuando algún compuesto aparte del H₂O₂ pueda absorber fotones (36). Utilizar este proceso (UV/H₂O₂) presenta ventajas como: costo de operación económico, facilidad en su aplicación, breve radiación, no se presenta inconvenientes de transferencia de masa asociados a gases. El proceso UV/H₂O₂ son utilizados comúnmente en procesos donde se van a degradar fenoles, tintes y pesticidas, a través de una oxidación acelerada (36). Utilizar el H₂O₂ en elevadas concentraciones de radicales hidroxilo (HO•), pueden producir reacciones donde se inhiban la degradación de los compuestos (36).

- Foto Fenton: gracias a la iluminación este proceso es más eficiente debido a varios factores donde se destacan los siguientes:
 - o La fotólisis de hidroxocomplejos de Fe³⁺ es una fuente complementaria de HO•, el rendimiento cuántico de esta reacción es bajo; sin embargo, aumenta a longitudes de onda menores (HO• = 0,017 a 360 nm y 0,14 a 313 nm).

- Las concentraciones de Fe^{2+} que se utilizan pueden ser de órdenes de magnitud menor a la de la reacción Fenton convencional.
- Al utilizar radiación de $< 360 \text{ nm}$, es posible aprovechar la producción de $\text{HO}\cdot$ por fotólisis del H_2O_2 .

El método es considerado eficiente, aunque la dificultad que presente es que se requiere el agregado continuo de H_2O_2 y las condiciones ácidas tiene que ser permanentes. Esta tecnología ha sido muy utilizada en el tratamiento de aguas industriales, suelos y lixiviados; y también se dice que pueden tratar muy bien compuestos nitroaromáticos, fenoles policlorados, herbicidas (2,4-D y 2,4,5-T) y plaguicidas (37).

- Fotocatálisis heterogénea: este proceso se basa en la absorción directa o indirecta de energía radiante sea UV o visible, por un sólido donde normalmente el fotocatalizador es un semiconductor de banda ancha. En la región interfacial entre el sólido excitado y la solución se presentan reacciones en las cuales se eliminan contaminantes, sin presentar cambios químicos en el catalizador. La excitación del semiconductor se presenta en dos formas:
 - Por excitación directa del semiconductor, y como consecuencia es éste el que absorbe los fotones usados en el proceso.
 - Por excitación inicial de moléculas adsorbidas en la superficie del catalizador, las que pueden inyectar cargas (electrones) en el semiconductor (37).

2.2.4.2. Ventajas y desventajas de los oxidantes

Los procesos de oxidación avanzando presentan grandes ventajas entre las que se puede mencionar que no solo transformar al contaminante, también es modificado químicamente, en muchas se logra la mineralización del

contaminante completamente cosa que no sucede con otro tipo de tecnologías ya que no se logra oxidar la materia orgánica completamente.

Son muy efectivas al momento de degradar contaminantes refractarios ya que permite transformarlos en productos tratables, asimismo se puede mencionar que son muy efectivos para degradar compuestos que son formados por pre tratamientos alternos como por ejemplo la desinfección.

Otro de sus grandes beneficios es que no existen subproductos después de la reacción y si en caso se lograran formar son en poca concentración, también descarta efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro (37).

2.3. Definición de términos básicos

- Absorbancia: es aquella longitud de onda o luz monocromática que atraviesa una solución que contiene una especie absorbente, la intensidad (o la potencia) de la radiación disminuye como consecuencia de la absorción de energía por parte de las especies absorbentes presentes en la solución (38).
- Aguas residuales: aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (39).
- DBO: es la cantidad de oxígeno que los microorganismos (plancton, hongos y bacterias) ingieren mientras degradan las sustancias orgánicas presentes en la muestra y se expresa en miligramos de oxígeno por litro de muestra (mg/L) (40).
- Dosis óptima: es un parámetro que mide la cantidad efectiva del reactivo en el momento de la adición al agua para su tratamiento (41).
- DQO: es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua por medio de métodos químicos en miligramos de oxígeno por litro de muestra (mg/L) (42).
- Color: fotones de cierto nivel de energía (43).

- Colorante: es una sustancia que absorbe selectivamente parte o la totalidad de las radiaciones luminosas de la zona visible del espectro (400 a 700 nm), poseen grupos auxocromos que proporcionan afinidad por la fibra. Esta sustancia puede ser natural o sintética (1).
- Hipoclorito de sodio: es un oxidante fuerte de color amarillento y presenta un olor característico. Reacciona con compuestos combustibles y reductores; sus derivados se usan en la industria papelera y desinfectantes (44).
- Oxidación: Es la modificación de la composición química de un contaminante y es usado como un proceso fisicoquímico donde intervienen los hidroxilos (OH) para una oxidación de compuestos orgánicos con una elevada eficiencia (45).
- Peróxido de Hidrógeno: es una molécula compuesta por dos átomos de oxígeno y dos de hidrógeno (H_2O_2), comercialmente se le conoce como agua oxigenada y se produce por electrolisis del ácido sulfúrico, es incoloro. En conceptos termodinámicos, el H_2O_2 es un agente oxidante más fuerte que el oxígeno elemental; sin embargo es menos activo que el ozono, aun así puede tener un potencial de oxidación mayor que este en valores elevados de pH (46).
- Radiación UV: parte de la energía radiante proveniente del sol que forma la porción más energética del espectro electromagnético que incide en la superficie de la tierra (47).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

El método específico de investigación del estudio fue experimental con fundamento científico, ya que es un conjunto de procedimientos lógicos y bien definidos que utiliza la ciencia para producir conocimientos fiables (48), el cual permite evaluar la remoción del azul de metileno del agua residual industrial textil mediante agentes oxidantes. El estudio establece experiencias para formular hipótesis que, a través del proceso científico, permitió ratificarla o falsearla. Asimismo, el procedimiento que pone a prueba la hipótesis en este estudio se denomina método general o teórico-deductivo.

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de la presente investigación fue aplicada (48), debido que se tuvo en cuenta conocimientos acerca de oxidantes y las características de su estructura para llevarlo a práctica. El estudio aplica los procesos de oxidación con hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno para la remoción del azul de metileno presente en el agua residual industrial textil con el fin de que sea tratada previo a su vertimiento.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación del estudio fue correlacional-explicativo (48), ya que tuvo como finalidad establecer el grado de relación entre la concentración de los agentes oxidantes y la remoción del azul de metileno.

3.2. Diseño de la investigación

Se empleó el diseño experimental puro con pre y post prueba, que permitió incluir una o dos variables dependientes e independientes (48), la cual evaluó la remoción del azul de metileno antes y después de aplicar los agentes oxidantes. Asimismo, este tipo de diseño permite la manipulación de las variables, en este caso, la dosis de los agentes oxidantes y la concentración de las muestras de agua

R. G1.....O1.....X1.....O2

R. G2.....O1.....X2.....O3

Donde:

- G: grupo.
- X1: oxidante (hipoclorito de sodio).
- X2: oxidante (peróxido de hidrógeno).
- O1: muestra antes del tratamiento.
- O2: Muestra después del tratamiento con hipoclorito de sodio.
- O3: Muestra después del tratamiento peróxido de hidrógeno.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Siendo un trabajo experimental, se sintetizó el agua residual industrial textil mediante un proceso de teñido de 2 prendas de ropa para obtener una población de 10 L de agua. Este procedimiento se realizó conforme a las instrucciones de uso que trae consigo el tinte.

3.3.2. Muestra

La muestra fue de 0.8 L del agua residual industrial textil obtenida en la población.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

- Observación: en esta investigación se utilizó la observación experimental como técnica de recolección de datos, ya que el investigador se involucra directamente con el objeto en estudio, en este caso, las muestras de agua antes y después del tratamiento. Es importante observar y registrar los sucesos, puesto que, son las primeras impresiones y ello se consolida con los resultados de la experimentación.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de recolección de datos: se recurrió a este instrumento debido a su facilidad en el registro y manejo de información en función a las variables de la investigación. (ver Anexo 5).

3.5. Metodología de experimentación

3.5.1. Reactivos, materiales y equipos utilizados

Tabla 7. *Reactivos, materiales y equipos.*

MATERIALES			
N°	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Vaso precipitado de 1L	8	Und

2	Varilla de vidrio	8	Und
3	Pipeta	2	Und
4	Cuchara metálica	1	Und
5	Lunas de reloj	4	Und
6	Olla	1	Und
7	Vara de madera	1	Und
EQUIPOS			
1	pH metro	1	Und
2	Balanza de vacío	1	Und
3	Multiparámetro	1	Und
4	Cocina	1	Und
5	Balanza digital	1	Und
REACTIVOS			
1	Hipoclorito de sodio (5%)	500	mL
2	Peróxido de hidrógeno (30%)	500	mL
3	Azul de metileno	1	g
4	Cloruro de sodio	100	g

3.5.2. Preparación del agua residual industrial sintético



Figura 1. Prendas que van a pasar por el proceso de teñido, el peso no debe exceder los 700 g.



Figura 2. Se recolecta 8 L de agua en un recipiente de gran tamaño y se deja hervir.



Figura 3. Pesar 1 g de azul de metileno en polvo.



Figura 4. Muestra de 1 g de azul de metileno.



Figura 5. Se agrega el azul de metileno al agua que está en ebullición.



Figura 6. Agregar la ropa a la mezcla mientras está hirviendo.

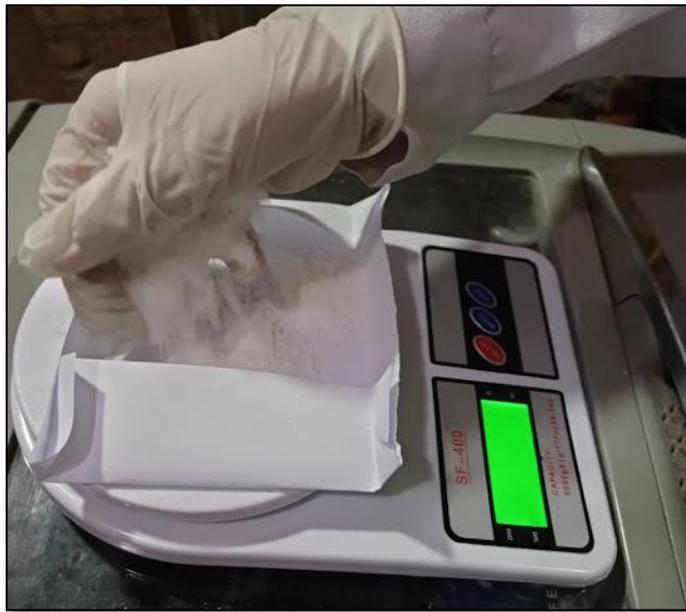


Figura 7. Se agrega 1 puño de cloruro de sodio a la mezcla para que actúe como fijador.



Figura 8. Se remueve la ropa homogéneamente durante 50 minutos.



Figura 9. Se saca la ropa teñida.



Figura 10. Se deja enfriar el agua residual del teñido y se conserva para su análisis.

Dicho proceso se siguió en cada una de las experimentaciones que se realizaron a lo largo de la investigación. Las imágenes a continuación muestran los experimentos preliminares realizados para la obtención de los rangos de dosis para la experimentación real.



Figura 11. Muestras de 0.8 L de H₂O₂ y NaClO de 5 y 2.5 mL.



Figura 12. Se agregan los oxidantes para el tratamiento del agua residual.

De la primera prueba preliminar se obtuvo que el H_2O_2 no influyó positivamente en la remoción del azul de metileno presente en el agua residual, eso conllevó a realizar otra experimentación para ampliar los rangos en las dosis.

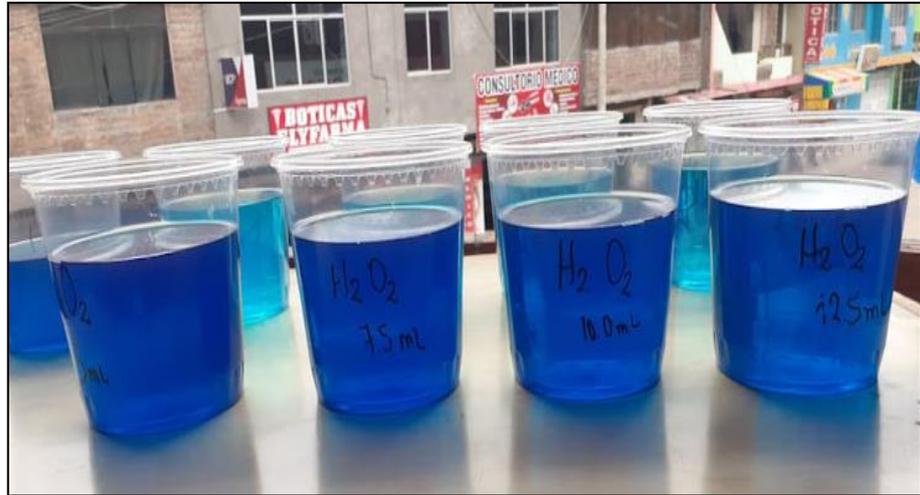


Figura 13. Muestras de agua residual donde se aplica 5,0 mL, 7.5 mL, 10 mL y 12.5 mL de H_2O_2 al 30 %.



Figura 14. Muestras de agua residual donde se aplicó 1.0 mL, 1.5 mL, 2.0 mL y 2.5 mL de $NaClO$ al 5 %.

Los resultados de la segunda prueba preliminar indicaron que el H_2O_2 no influyó positivamente en la remoción del azul de metileno a comparación del $NaClO$, que se evidencia un cambio de color en menos de 1 hora.



Figura 15. Muestras de agua después de 1 hora de haber aplicado los agentes oxidantes.

La figura muestra el cambio de color a uno más claro en las muestras que tienen $NaClO$ en comparación con la muestra de control y las muestras con H_2O_2 han oscurecido.

Luego de haber realizado las pruebas preliminares de manera cualitativa, las muestras pasaron a las pruebas preliminares cuantitativas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP), donde se analizó la variación de la absorbancia en las muestras que se trataron con H_2O_2 y $NaClO$.



Figura 16. Las muestras de NaClO en diferentes dosis, la primera es la muestra control.



Figura 17. Tesista realizando las mediciones de absorbancia.



Figura 18. Pasado una hora de haber aplicado el NaClO, oxidante que muestra mejores resultados preliminares.

3.6. Elaboración de las muestras para la curva de calibración

De acuerdo con la investigación de Ordaya (5), se debe tener una curva de calibración respecto a los valores reales de la concentración de azul de metileno antes de ser utilizado para el teñido de ropas, el cual es el caso en esta investigación. Para ello, se tuvieron las siguientes concentraciones.

Tabla 8. Concentración de azul de metileno (ppm) para la curva de calibración.

Muestra	Concentración de azul de metileno (ppm)
1	4
2	8
3	10
4	14

Para determinar el peso del azul de metileno para dichas concentraciones, se aplicó el siguiente factor de conversión:

$$1\text{ppm} = \frac{1\text{mg}}{1\text{L}}$$

Se aplica dicho factor de conversión y se obtuvieron los siguientes datos, para una muestra de 0.5 L.

Tabla 9. *Peso del azul de metileno para elaborar la curva de calibración de la absorbancia y la concentración.*

Muestra	Concentración de azul de metileno (ppm)	Peso de azul de metileno (g)
1	4	0.002
2	8	0.004
3	10	0.005
4	14	0.007



Figura 19. Se pesa el azul de metileno de acuerdo a la tabla 9.



Figura 20. Se preparan 4 muestras en vasos precipitados de 1 L.

A cada recipiente se agrega el peso obtenido y se separan las muestras en las cubetas de cuarzo para llevarlos al espectrofotómetro y analizar la absorbancia.

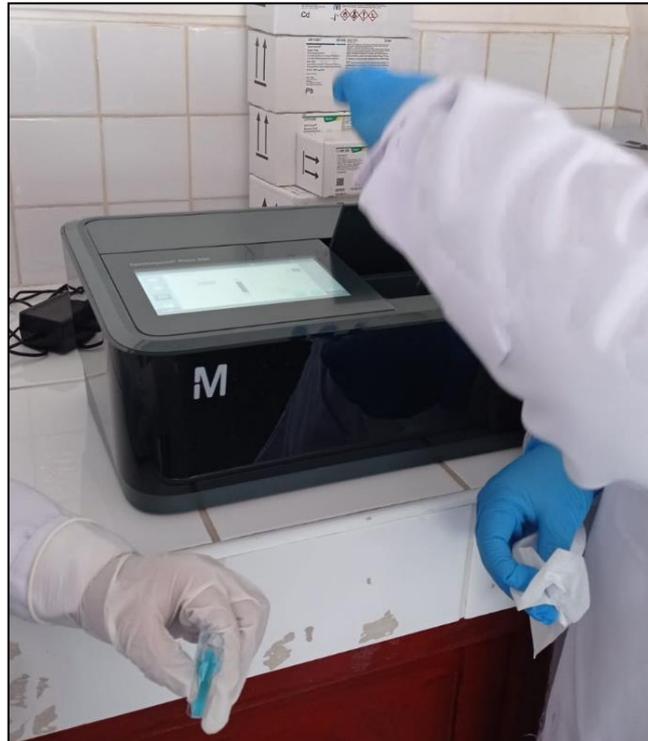


Figura 21. Colocar agua destilada en una cubeta de cuarzo para la muestra en blanco con un valor de 670 de absorbancia.

Se retiró una muestra de cada vaso precipitado en una cubeta de cuarzo y se pasó a medir la absorbancia, obteniendo los siguientes datos.

Tabla 10. *Relación de la concentración del AM y la absorbancia.*

Muestra	Concentración de azul de metileno (ppm)	Absorbancia
1	4	0.780
2	8	1.021
3	10	1.521
4	14	2.285

Dichos valores se llevan a la curva.

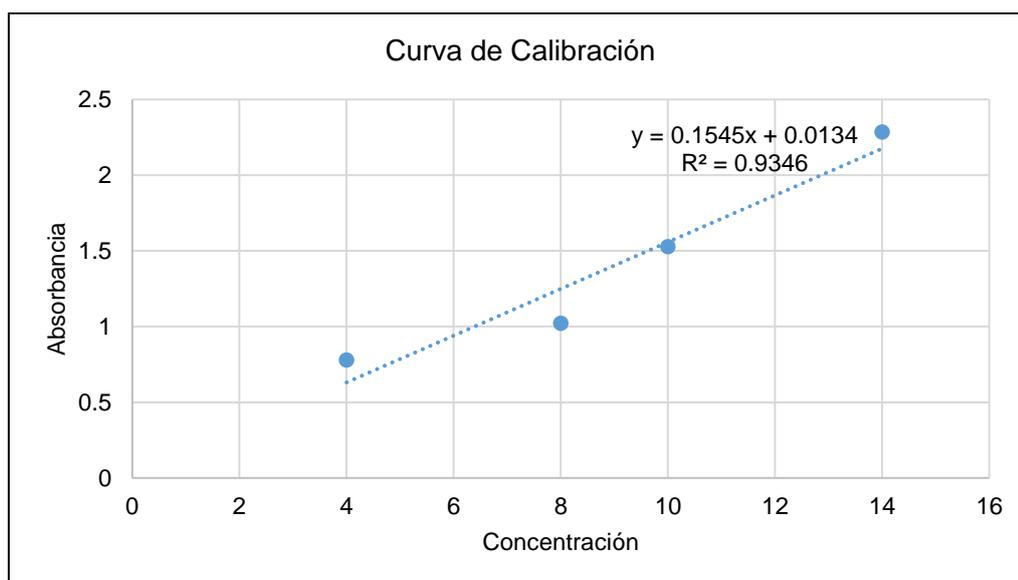


Figura 22. Curva de calibración.

En la figura 22 se muestra la obtención de los siguientes datos:

- Pendiente (x) = 0,1545
- Intercepto (b) = 0,0134

Estos valores se van a reemplazar en la siguiente fórmula:

$$C = Ax + b \text{ Ec. (1)}$$

Donde:

- C = concentración.
- A = absorbancia.
- x = pendiente.
- b = intercepto.

Una vez realizadas las experimentaciones, los valores obtenidos de la absorbancia se reemplazarán en la Ecuación 1, para obtener la concentración del azul de metileno presente en el agua residual de la industria textil.

3.7. Aplicación de los agentes oxidantes en muestras contaminadas con el azul de metileno

- Una vez obtenida la muestra de agua residual, se separaron 8 muestras de 800 mL cada una.
- Se hacen dos grupos de 2 muestras cada uno, el primer grupo fue tratado bajo radiación solar y las otras 2 muestras sin radiación solar.
- En ambos grupos se agregaron los oxidantes de la siguiente manera (tabla 11).

Tabla 11. *Volumen de agentes oxidantes para cada muestra.*

Grupo	Condición	Muestra	Volúmen de NaClO (mL)	Volúmen de H ₂ O ₂ (mL)
1	Con radiación solar	1	4.5	2.5
		2	6.5	15.0
2	Sin radiación solar	3	4.5	2.5
		4	6.5	15.0

- Una vez aplicado el oxidante, se mide la absorbancia en los siguientes tiempos: 2, 5, 10, 20, 30 y 60 minutos.
- Tras ello, se abordó el alcance y presentación de resultados de la investigación.

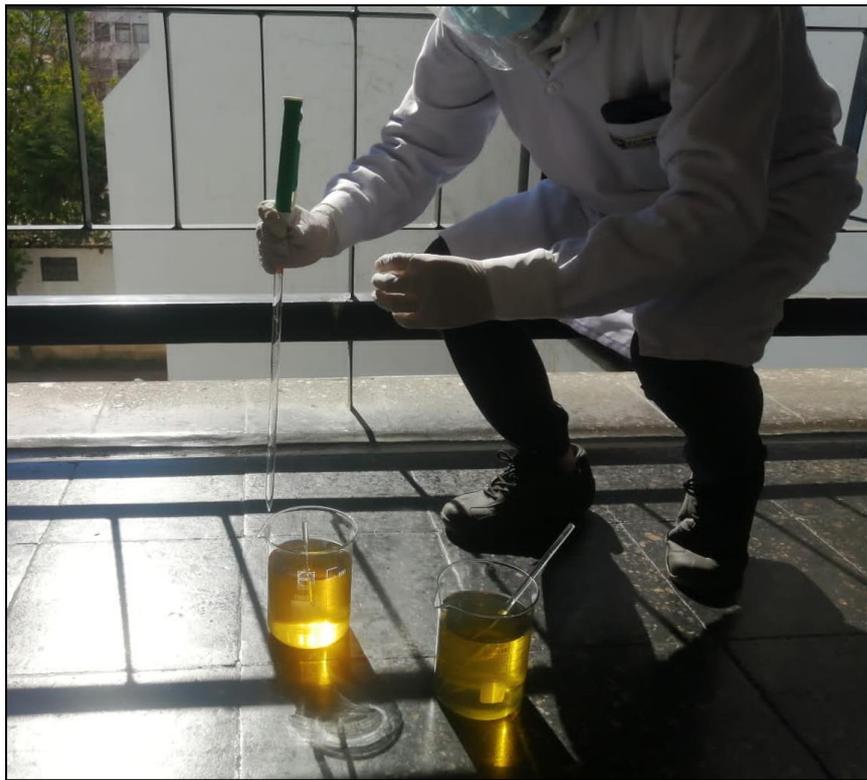


Figura 23. Muestras del hipoclorito de sodio de 4,5 y 6.5 mL bajo radiación.



Figura 24. Muestras del hipoclorito de sodio de 2, 5 y 15 mL sin radiación.



Figura 25. Muestras del peróxido de 2,5 y 15 ml bajo radiación. Nota: se observa formación de sedimentos, burbujas y espuma.



Figura 26. Muestra de peróxido con 2, 5 y 15 mL sin radiación. Nota: se observa formación de burbujas y espuma en menor cantidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Después de realizar la experimentación, se registraron los resultados que se presentan a continuación.

Tabla 12. *Absorbancia y concentración del azul de metileno bajo influencia del NaClO en 4.5 mL y 6 mL con y sin radiación.*

Muestras	Parámetros	Tiempo (min)					
		2	5	10	20	30	60
BAJO RADIACIÓN	Absorbancia	0,102	0,091	0,084	0,079	0,068	0,015
	4.5 mL C (ppm)	0,573	0,502	0,457	0,425	0,353	0,010
	Remoción (%)	15,30	25,81	32,50	37,28	47,80	98,47
	Absorbancia	0,102	0,095	0,091	0,088	0,077	0,021
	6.5 mL C (ppm)	0,573	0,528	0,502	0,483	0,412	0,049
	Remoción (%)	15,30	21,99	25,81	28,68	39,20	92,73
SIN RADIACIÓN	Absorbancia	0,072	0,051	0,044	0,03	0,023	0,019
	4.5 mL C (ppm)	0,379	0,243	0,198	0,107	0,062	0,037
	Remoción (%)	43,98	64,05	70,75	84,13	90,82	94,65
	Absorbancia	0,081	0,06	0,042	0,038	0,032	0,029
	6.5 mL C (ppm)	0,438	0,302	0,185	0,16	0,120	0,101
	Remoción (%)	35,37	55,45	72,66	76,48	82,22	85,09

En la tabla 12 se muestran los valores de absorbancia obtenidos en las muestras de agua residual una vez aplicado el NaClO en 4.5 mL y 6.5 mL con y sin radiación, estos valores de absorbancia se llevan a la Ecuación 1 para obtener los valores de la concentración, los cuales se muestran en la misma tabla.

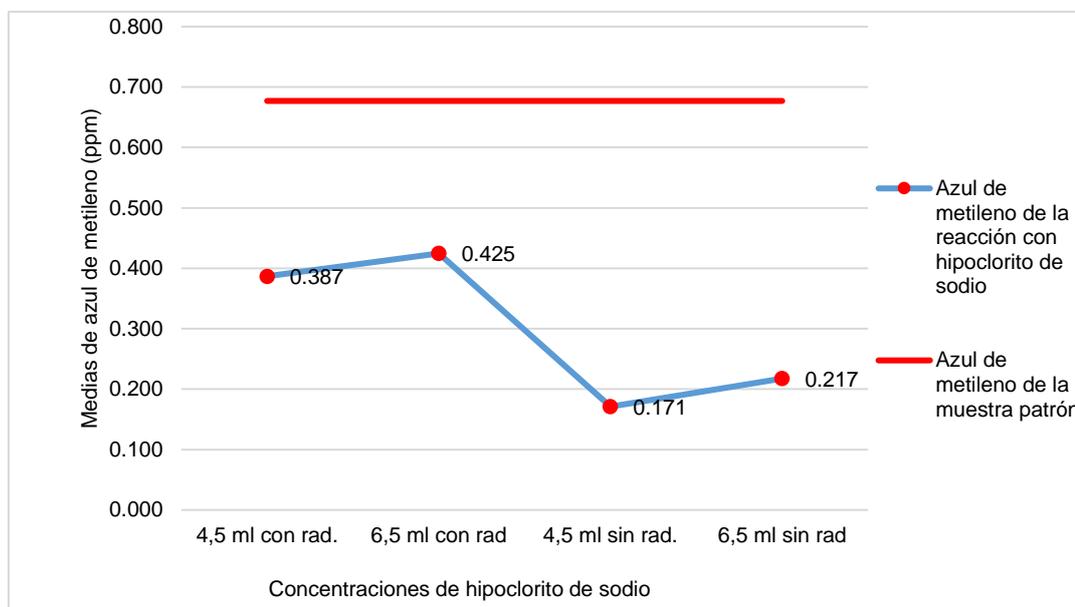


Figura 27. Medias de azul de metileno de la reacción con cada concentración de hipoclorito de sodio y el azul de metileno de la muestra patrón.

De acuerdo a la figura se aprecia que las medias de azul de metileno de la reacción con cada concentración de hipoclorito de sodio se muestran menores que el valor de 0,677 de la muestra patrón. Asimismo, se aprecia que, a diferencia de las demás concentraciones de hipoclorito de sodio, utilizando la concentración de 4,5 ml sin radiación quedó una menor presencia en promedio de azul de metileno. Por lo cual, descriptivamente, la concentración de 4,5 mL de hipoclorito de sodio sin radiación remueve más azul de metileno.

Tabla 13. Promedio de los valores de la absorbancia obtenidos con el NaClO.

Tiempo (min)	Muestras bajo radiación		Muestras sin radiación		PROMEDIO
	4,5 mL	6,5 mL	4,5 mL	6,5 mL	
2	0,573	0,573	0,379	0,438	0,491
5	0,502	0,528	0,243	0,302	0,394

10	0,457	0,502	0,198	0,185	0,336
20	0,425	0,483	0,107	0,159	0,294
30	0,353	0,412	0,062	0,120	0,237
60	0,010	0,049	0,036	0,101	0,049
Promedio	0,387	0,425	0,171	0,217	

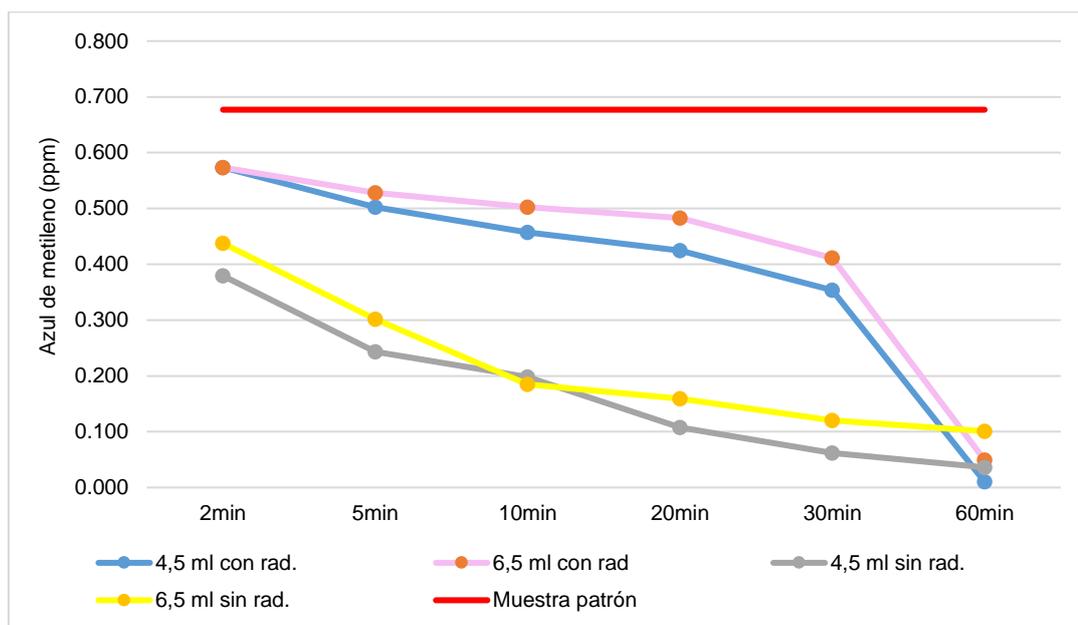


Figura 28. Presencia de azul de metileno de acuerdo a cada dosis de hipoclorito de sodio aplicada y al tiempo de medición.

De acuerdo a la figura se aprecia que a medida que avanza el tiempo de reacción de cada dosis del hipoclorito de sodio va disminuyendo la presencia del azul de metileno en el agua residual industrial textil. Sin embargo, empleando dosis con radiación se aprecia que el descenso de presencia de azul metileno es más pronunciada en el minuto 30 hacia el 60. Mientras que las dosis sin radiación van atenuando su influencia de remoción en el minuto 20 de reacción en adelante.

Tabla 14. Absorbancia y concentración del azul de metileno bajo influencia del H₂O₂ en 4.5 mL y 6 mL con y sin radiación.

Muestras (mL)	Parámetros	Tiempo (min)						
		2	5	10	20	30	60	
CON RADIACIÓN	2.5	Absorbancia	0,339	0,333	0,328	0,322	0,312	0,301
		C (ppm)	2,107	2,069	2,036	1,997	1,933	1,861
	15	Absorbancia	0,319	0,328	0,339	0,341	0,347	0,351
		C (ppm)	1,978	2,036	2,107	2,120	2,159	2,185
SIN RADIACIÓN	2.5	Absorbancia	0,357	0,355	0,351	0,346	0,341	0,335
		C (ppm)	2,224	2,211	2,185	2,153	2,120	2,081
	15	Absorbancia	0,328	0,331	0,358	0,359	0,361	0,375
		C (ppm)	2,036	2,056	2,230	2,24	2,250	2,340

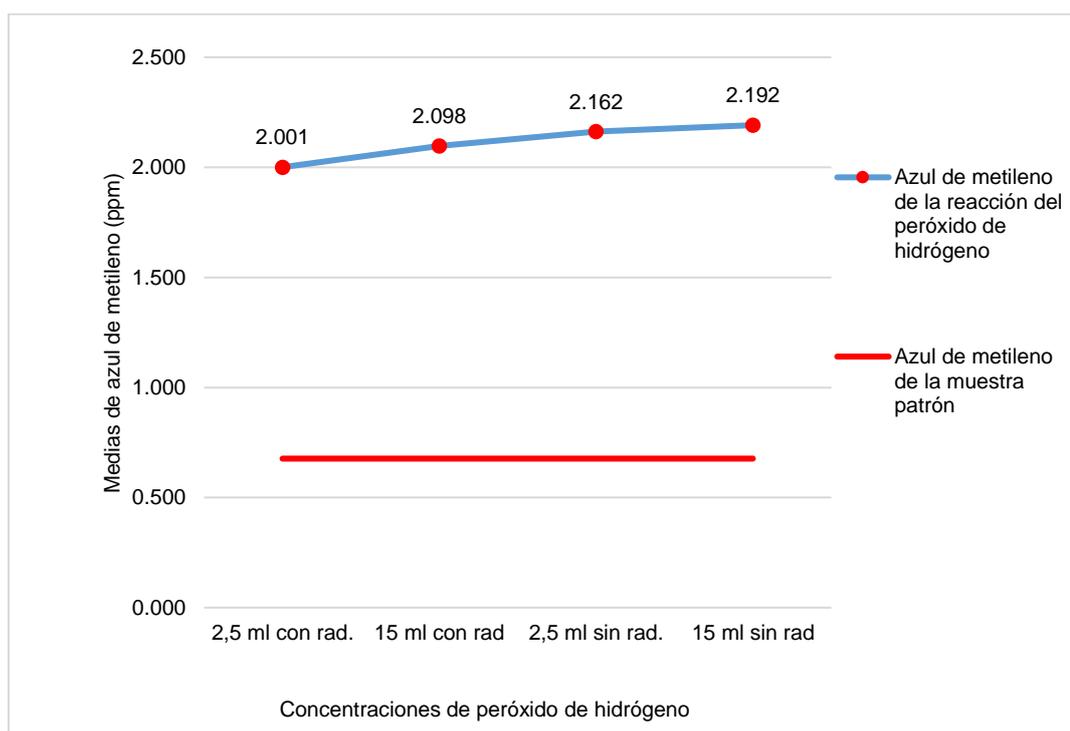


Figura 29. Medias de azul de metileno de la reacción con cada concentración de peróxido de hidrógeno y el azul de metileno de la muestra patrón.

En la figura se aprecia que las medias de azul de metileno de la reacción con cada concentración de peróxido de hidrógeno se muestran mayores que el valor de 0,677

de la muestra patrón. Por lo cual se observa que no remueven el azul de metileno. Por otro lado, analizado cada concentración de peróxido de hidrógeno, se observa que con 2,5 mL con radiación se presenta en promedio una menor presencia de azul de metileno.

Tabla 15. Promedio de los valores de la absorbancia obtenidos con el H₂O₂.

Tiempo (min)	Bajo radiación		Sin radiación		PROMEDIO
	2,5	15	2,5	15,0	
2	2,107	1,978	2,224	2,036	2,086
5	2,069	2,036	2,211	2,056	2,093
10	2,036	2,107	2,185	2,230	2,140
20	1,997	2,120	2,153	2,237	2,127
30	1,933	2,159	2,120	2,250	2,116
60	1,861	2,185	2,082	2,340	2,117
Promedio	2,001	2,098	2,162	2,192	

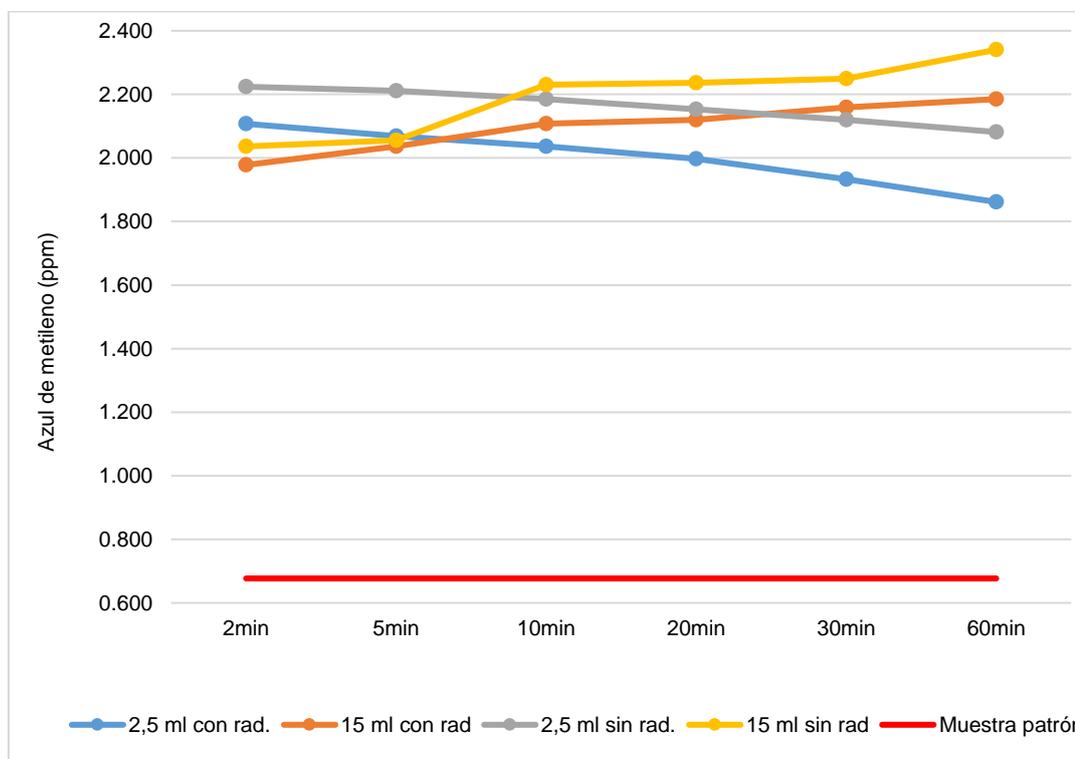


Figura 30. Presencia de azul de metileno de acuerdo a cada dosis de peróxido de hidrógeno aplicada y al tiempo de medición.

Tal como se muestra en la figura a medida que avanza el tiempo de reacción de la dosis de 2,5 mL con radiación y 2,5 mL sin radiación va disminuyendo con cierta uniformidad la presencia del azul de metileno en el agua residual industrial textil. Por el contrario, utilizando la dosis de 15 mL con radiación y 15 mL sin radiación la presencia de azul de metileno tiende a aumentar.

4.2. Prueba de hipótesis

Con el propósito de evaluar si el hipoclorito de sodio remueve el azul de metileno en primer lugar se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Esta prueba se utiliza cuando se evalúan menos de 50 valores. En este caso se evaluaron 6 distribuciones de valores de azul de metileno por cada dosis de hipoclorito de sodio empleada. En caso no se encontrarse distribución normal en la distribución analizada se emplearía la prueba de Wilcoxon de una muestra. De encontrarse distribución normal se emplearía la prueba de t de student de una muestra.

Prueba de normalidad

*Hipótesis sobre la normalidad:

H_1 : no existe distribución normal en los valores de azul de metileno de la dosis de hipoclorito de sodio analizada.

H_0 : sí existe distribución normal en los valores de azul de metileno de la dosis de hipoclorito de sodio analizada.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba de hipótesis planteada.

Tabla 16. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada dosis de hipoclorito de sodio aplicada.

Dosis de hipoclorito de sodio	Shapiro-Wilk		
	W	gl	Valor p
4,5 mL con rad.	0,837	6	0,124
6,5 mL con rad	0,751	6	0,021
4,5 mL sin rad.	0,936	6	0,628
6,5 mL sin rad.	0,875	6	0,249

De acuerdo a la prueba de Shapiro-Wilk se muestra que solamente la distribución de valores de azul de metileno, obtenida con 6,5 mL de hipoclorito de sodio con radiación tuvo un valor p de 0,021 (valor $p < 0,05$), por lo cual en dicha distribución no existe normalidad. Por otro lado, las demás distribuciones de valores de azul de metileno obtuvieron valores p superiores al nivel de significancia (valor $p > 0,05$). De manera que en estas distribuciones sí hay una distribución normal. Ello conlleva a indicar que, para evaluar si el agente oxidante hipoclorito de sodio con una dosis de 6,5 mL con rad remueve significativamente el azul de metileno, se debe utilizar la prueba de Wilcoxon de una muestra, mientras que para las demás dosis se debe utilizar la prueba de t de student de una muestra.

***Hipótesis**

H_1 . el agente oxidante hipoclorito de sodio remueve significativamente el azul de metileno de agua residual industrial textil.

H_0 . el agente oxidante hipoclorito de sodio no remueve significativamente el azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si la media de los valores de azul de metileno es menor al valor de prueba de 0,677 ppm y el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si la media de los valores de azul de metileno es mayor al valor de prueba de 0,677 ppm o si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

*Prueba estadística empleada.

Tabla 17. Prueba estadística sobre la influencia del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno.

Dosis de hipoclorito de sodio	Valor de prueba = 0,677 ppm			
	n	Media	Estadístico de prueba	Valor p
4,5 mL con rad.	6	0,387	T = -3,579	0,016
6,5 mL con rad	6	0,425	Z = -2,201	0,028
4,5 mL sin rad.	6	0,171	T = -9,601	0,000
6,5 mL sin rad.	6	0,218	T = -8,719	0,000

De acuerdo a las pruebas estadísticas empleadas, se determinó que las distribuciones de valores de azul de metileno de cada dosis de hipoclorito tuvieron medias que resultaron inferiores al valor de prueba de 0,677 de la muestra patrón. Asimismo, se obtuvo valores p inferiores a 0,05 ($p < 0,05$), de manera que se rechaza la hipótesis nula, por tanto, se indica que el agente oxidante hipoclorito de sodio remueve significativamente el azul de metileno de agua residual industrial textil.

Por otro lado, para evaluar la influencia del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil se realizó la siguiente prueba:

Prueba de normalidad:

*Hipótesis sobre la normalidad:

H_1 : no existe distribución normal en los valores de azul de metileno de la dosis de peróxido de hidrógeno analizada.

H_0 : sí existe distribución normal en los valores de azul de metileno de la dosis de peróxido de hidrógeno analizada.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba de hipótesis planteada.

Tabla 18. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada dosis de peróxido de hidrógeno aplicada.

Dosis de peróxido de hidrógeno	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Valor p
2,5 mL con rad.	0,966	6	0,864
15 mL con rad.	0,946	6	0,711
2,5 mL sin rad.	0,954	6	0,770
15 mL sin rad	0,877	6	0,256

En la tabla se aprecia que cada dosis de peróxido de hidrógeno posee valores p superiores al nivel de significancia de 0,05 ($p > 0,05$). Por lo cual para cada dosis se rechaza la H_1 , de manera que los valores de azul de metileno de cada dosis poseen distribución normal. Esto conlleva a indicar que se debe utilizar la prueba de t de student de una muestra para evaluar si cada dosis del agente oxidante peróxido de hidrógeno remueve significativamente el azul de metileno.

*Hipótesis:

H_1 . el agente oxidante peróxido de hidrógeno remueve significativamente el azul de metileno de agua residual industrial textil.

H_0 . el agente oxidante peróxido de hidrógeno no remueve significativamente el azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si la media de los valores de azul de metileno es menor al valor de prueba de 0,677 ppm y el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si la media de los valores de azul de metileno es mayor al valor de prueba de 0,677 ppm o si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

*Prueba estadística empleada.

Tabla 19. Prueba estadística sobre la influencia del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno.

Dosis de peróxido de hidrógeno	Valor de prueba = 0,677 ppm			
	n	Media	t de student	Valor p
2,5 mL con rad.	6	2,001	35,660	0,000
15 mL con rad.	6	2,098	44,847	0,000
2,5 mL sin rad.	6	2,163	66,395	0,000
15 mL sin rad	6	2,192	31,008	0,000

De acuerdo a la tabla de la prueba de t de student de una muestra, se determinó que las distribuciones de valores de azul de metileno de cada dosis de peróxido de hidrógeno tuvieron medias que resultaron superiores al valor de prueba de 0,677 de la muestra patrón. Ello conlleva a decir que se acepta la hipótesis nula, es decir, el agente oxidante peróxido de hidrógeno no remueve significativamente el azul de metileno de agua residual industrial textil.

Con el propósito de evaluar si existen diferencias significativas entre los agentes oxidantes, se evaluaron sus correspondientes 24 valores de azul de metileno presentes en el agua residual industrial textil. De esta manera, en primer lugar, se empleó la prueba de Shapiro-Wilk. Con lo cual se buscó determinar la existencia de normalidad en las distribuciones de valores de azul de metileno de cada coagulante. En caso de que existiera normalidad en las distribuciones de los dos coagulantes, se emplearía la prueba de t de student de muestras independientes. Si no hubiera normalidad en al menos la distribución de valores de azul de metileno de un coagulante, entonces se emplearía la prueba de U de Mann-Whitney.

Prueba de normalidad:

*Hipótesis sobre la normalidad:

H_1 : no existe distribución normal en los valores de azul de metileno según el agente oxidante analizado.

H_0 : sí existe distribución normal en los valores de azul de metileno según el agente oxidante analizado.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba de hipótesis planteada.

Tabla 20. *Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno de acuerdo a cada agente oxidante aplicado.*

Agente oxidante	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Valor p
Hipoclorito de sodio	0,916	24	0,049
Peróxido de hidrógeno	0,988	24	0,991

De acuerdo a la prueba de Shapiro-Wilk, se muestra que solamente los valores de azul de metileno del hipoclorito de sodio poseen un valor p de 0,049 ($p < 0,05$). Por lo cual se rechaza la H_0 , por tanto, esta distribución no posee normalidad. Ello conlleva a indicar que se debe utilizar la prueba de U de Mann-Whitney para evaluar si existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Hipótesis:

H_1 . existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

H_0 . no existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba estadística empleada.

Tabla 21. Prueba de U de Mann-Whitney sobre las diferencias entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno.

	Mediciones
U de Mann-Whitney	0,000
Z	-5,940
Valor p	0,000

a. Variable de agrupación: agente oxidante.

De acuerdo al resultado de la prueba de U de Mann-Whitney, se aprecia un valor p de 0,000 ($p < 0,05$), por lo cual se rechaza la hipótesis nula, indicando así que existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

Con el propósito de identificar la dosis óptima de hipoclorito de sodio para la remoción de azul de metileno, se consideraron, en primer lugar, los resultados de la prueba de normalidad de la tabla 16. Dado que al menos una distribución de valores de azul de metileno de una dosis de hipoclorito no tuvo normalidad, y se está utilizando más de dos distribuciones de valores de azul de metileno, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis.

*Hipótesis:

H_1 . al menos una dosis de hipoclorito de sodio se diferencia significativamente de las demás para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

H_0 . no existe diferencia significativa entre las dosis de hipoclorito de sodio para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba estadística empleada.

Tabla 22. Prueba^{a,b} de Kruskal-Wallis sobre las diferencias entre las dosis del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno.

	Mediciones
H de Kruskal-Wallis	7,160
gl	3
Valor p	0,067

a. Prueba de Kruskal-Wallis.

b. Variable de agrupación: agente oxidante.

De acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis, se obtuvo un valor p de 0,067 el cual es menor que el nivel de significancia de 0,05. Por lo cual se rechaza la H_1 y por tanto se debe indicar que no existe diferencia significativa entre las dosis de hipoclorito de sodio para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

Identificación de la dosis óptima del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

En vista que en la tabla 19 se halló que el agente oxidante peróxido de hidrógeno no remueve significativamente el azul de metileno, se procedió en este apartado a evaluar cuál dosis resulta menos inadecuada para la remoción del azul de metileno. Para ello se consideraron los resultados de la prueba de normalidad de la tabla 18 en vista que todas las distribuciones de valores de azul de metileno poseen distribución normal y se están evaluando más de dos distribuciones de valores, entonces se procedió a aplicar la prueba de ANOVA.

*Hipótesis:

H_1 . al menos una dosis de peróxido de hidrógeno se diferencia significativamente de las demás con el propósito de remover el azul de metileno de agua residual industrial textil.

H_0 . no existe diferencia significativa entre las dosis de peróxido de hidrógeno con el propósito de remover el azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba estadística empleada.

Tabla 23. Prueba de ANOVA sobre las diferencias entre las dosis de peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Valor p
Entre grupos	0,129	3	0,043	5,445	0,007
Dentro de grupos	0,158	20	0,008		
Total	0,287	23			

Según la prueba de ANOVA, se obtuvo un valor p de 0,007 el cual es menor que el nivel de significancia de 0,05 por lo cual se rechaza la H_0 y por tanto se debe indicar que al menos una dosis de peróxido de hidrógeno se diferencia significativamente de las demás con el propósito de remover el azul de metileno de agua residual industrial textil. Para evaluar qué dosis fue diferente a las demás se optó por realizar la prueba Post-Hoc de Tukey.

Grupos formados por la prueba Post-Hoc de Tukey.

Tabla 24. Prueba Post-Hoc de Tukey^a sobre la identificación de la dosis óptima de peróxido de hidrógeno para la remoción del azul de metileno.

Dosis de peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para $\alpha = 0.05$	
		1	2
2,5 mL con rad.	6	2,001	
15 mL con rad.	6	2,097	2,097
2,5 mL sin rad.	6		2,163
15 mL sin rad	6		2,192

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. a Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6.000

En la tabla se aprecia que la media de las dosis de azul de metileno utilizando una dosis de 2,5 mL con radiación resulta la media menor en comparación a las medias de las demás dosis, y además también resulta la única media que solamente se encuentra en el grupo 1 designado mediante la prueba de Tukey, ello quiere decir

que la dosis con 2,5 mL con radiación resulta la menos inadecuada para la remoción del azul de metileno.

Con el propósito de identificar el tiempo óptimo de reacción del hipoclorito de sodio en la remoción de azul de metileno se evaluó, en primer lugar, si existe distribución normal en los 4 valores de azul de metileno (1 de cada dosis de hipoclorito de sodio) por cada tiempo de análisis. Para ello se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. En caso haya distribución normal se emplearía la prueba de ANOVA de muestras repetidas; de no ser así se utilizaría la prueba de Friedman.

Prueba de normalidad:

*Hipótesis sobre la normalidad:

H_1 : no existe distribución normal en los valores de azul de metileno de acuerdo al tiempo analizado.

H_0 : sí existe distribución normal en los valores de azul de metileno de acuerdo al tiempo analizado.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba de hipótesis planteada.

Tabla 25. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada tiempo luego de aplicado el hipoclorito de sodio.

Tiempo	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Valor p
2 min	0,843	4	0,203
5 min	0,862	4	0,269
10 min	0,810	4	0,122
20 min	0,864	4	0,273
30 min	0,882	4	0,349
60 min	0,953	4	0,734

De acuerdo a la prueba de normalidad se aprecian valores p superiores al nivel de significancia de 0,05 con respecto a cada tiempo de evaluación, por lo cual se permite indicar que sí existe distribución normal en los valores de azul de metileno de cada tiempo evaluado, ello conlleva a la utilización de la prueba de ANOVA de muestras repetidas para evaluar si al menos un tiempo de reacción del hipoclorito de sodio es diferente significativamente a los demás tiempos para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Hipótesis:

H_1 . al menos un tiempo de reacción del hipoclorito de sodio es diferente significativamente a los demás tiempos para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

H_0 . no existe diferencias significativas entre los tiempos de reacción del hipoclorito de sodio para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba estadística empleada.

Tabla 26. *Prueba de ANOVA de medidas repetidas sobre las diferencias entre los tiempos de reacción del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Valor p
Sujetos	0,279	3	0,093	14,907	0,000
Grupos	0,454	5	0,091	14,552	0,000
Error	0,094	15	0,006		
Total	0,827	23			

De acuerdo al resultado de la prueba de ANOVA se muestra un valor p de 0,000 ($p < 0,05$), por lo cual se interpreta que al menos un tiempo de reacción del hipoclorito de sodio es diferente significativamente a los demás tiempos para la remoción del

azul de metileno de agua residual industrial textil, a partir de ello se hace adecuado realizar la prueba de Tukey para identificar qué tiempos son distintos entre sí.

Grupos formados por la prueba Post-Hoc de Tukey.

Tabla 27. Prueba de Tukey para la identificación del tiempo óptimo de reacción de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno.

Tiempo	N	Subconjunto para $\alpha = 0.05$		
		1	2	3
60 min	4	0,049		
30 min	4		0,237	
20 min	4		0,294	
10 min	4		0,336	0,336
5 min	4		0,394	0,394
2 min	4			0,491

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

De acuerdo a la prueba de Tukey se aprecia que la media de los valores de azul de metileno en el minuto 60 resulta la menor media en comparación a las medias de los demás tiempos. Asimismo, la media de los valores de azul de metileno en el minuto 60 se diferencia significativamente de las demás medias. Por lo cual, el minuto 60 resulta el tiempo óptimo de reacción del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

En vista que en la tabla 19 se halló que el agente oxidante peróxido de hidrógeno no remueve significativamente el azul de metileno, se procedió en este apartado a evaluar en qué tiempo resulta menos inadecuado la utilización del peróxido de hidrógeno. Para ello, en primer lugar, se evaluó si existe distribución normal en los 4 valores de azul de metileno (de cada dosis de hipoclorito de sodio) por cada tiempo de análisis. Para ello se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. En caso haya distribución normal se emplearía la prueba de ANOVA de muestras repetidas; de no ser así se utilizaría la prueba de Friedman.

Prueba de normalidad:

*Hipótesis sobre la normalidad:

H_1 : no existe distribución normal en los valores de azul de metileno de acuerdo al tiempo analizado.

H_0 : sí existe distribución normal en los valores de azul de metileno de acuerdo al tiempo analizado.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_0 .

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H_1 .

*Prueba de hipótesis planteada.

Tabla 28. Pruebas de Shapiro-Wilk sobre la presencia de azul de metileno según cada tiempo luego de aplicado el peróxido de hidrógeno.

Tiempo	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Valor p
2 min	0,972	4	0,856
5 min	0,784	4	0,077
10 min	0,972	4	0,852
20 min	0,977	4	0,885
30 min	0,944	4	0,680
60 min	0,990	4	0,959

En la tabla se muestra que el valor p de cada tiempo de análisis fueron mayores al nivel de significancia ($p > 0,05$). De manera que sí existe distribución normal en los valores de azul de metileno de acuerdo al tiempo analizado. Ello conlleva a la utilización de la prueba de ANOVA de muestras repetidas para evaluar si al menos un tiempo de reacción del peróxido de hidrógeno es diferente significativamente a los demás tiempos para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Hipótesis:

H₁. al menos un tiempo de reacción del peróxido de hidrógeno es diferente significativamente a los demás tiempos con el propósito de remover azul de metileno de agua residual industrial textil.

H₀. no existe diferencias significativas entre los tiempos de reacción del peróxido de hidrógeno con el propósito de remover azul de metileno de agua residual industrial textil.

*Nivel de significancia: 0,05

*Para tomar una decisión:

Si el valor $p < 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H₀.

Si el valor $p > 0,05 \rightarrow$ se rechazará la H₁.

*Prueba estadística empleada.

Tabla 29. Prueba de ANOVA de medidas repetidas sobre las diferencias entre los tiempos de reacción del peróxido de hidrógeno con el propósito de remover el azul de metileno.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Valor p
Sujetos	0,129	3	0,043	4,295	0,022
Grupos	0,008	5	0,002	0,164	0,972
Error	0,150	15	0,010		
Total	0,287	23			

De acuerdo al resultado de la prueba de ANOVA se muestra un valor p mayor al nivel de significancia de 0,05 por lo cual se rechaza la H₁, por tanto, no existen diferencias significativas entre los tiempos de reacción del peróxido de hidrógeno con el propósito de remover azul de metileno de agua residual industrial textil.

4.3. Discusión de resultados

Como resultado de la investigación se obtuvo que a medida que avanza el tiempo de reacción de cada dosis de hipoclorito de sodio va disminuyendo la presencia de azul de metileno; también se pudo evidenciar que el mayor descenso en la concentración de azul de metileno se da a partir de los 20 y 30 minutos, situación

similar es la que se muestra en la investigación realizada por Arriaga *et al.* (49), titulada “Remoción de azul de metileno en medio acuoso mediante el uso de bagazo de caña de azúcar y rastrojo de maíz modificados con iones SO_4^{-2} y PO_4^{-3} ”, en dicha investigación se utilizó al bagazo de caña y al rastrojo de maíz como adsorbentes alterados químicamente con HCl, H_2SO_4 y H_3PO_4 ; alcanzando como resultado que a medida que pasa el tiempo el porcentaje de adsorción de azul de metileno resulta ser mayor y a partir de los 20 min en adelante el porcentaje de adsorción muestra mejores resultados, situación similar a la que se presenta en esta investigación.

Se obtuvo como resultado de la investigación que el peróxido de hidrógeno no es un buen agente oxidante para la remoción de azul de metileno, ya que al aplicarlo en sus diferentes concentraciones el azul de metileno tiende a elevar su concentración caso contrario es lo que sucede en la investigación realizada por De la Cruz y Valdez (19), la cual lleva por título “Degradación del azul de metileno, efluente de la industria textil Grupo Grande S.A.C., mediante oxidación combinada ozono/ H_2O_2 ” en la cual se evaluó el proceso de oxidación combinada ozono/ H_2O_2 para la degradación del azul de metileno de los efluentes de la industria textil del Grupo Grande S.A.C., obteniendo como resultado que este proceso puede remover hasta en un 98,14 % la concentración de azul de metileno, debido a la alta capacidad de oxidación, ya que genera radicales libres y descompone el ozono produciendo agua y oxígeno atómico que no afectan a la degradación del azul de metileno, siendo así esta última, una mejor opción para la degradación del azul de metileno con peróxido de hidrógeno, ya que en las condiciones en las que se realizó el estudio no resultaron favorables.

En el estudio realizado por Meléndez y Navarro (8) titulado “Evaluación de la degradación de azul de metileno mediante la técnica de oxidación de aire húmedo con peróxido de hidrógeno empleando óxidos mixtos de Mn, Cu y/o Fe como catalizador para el tratamiento de aguas residuales provenientes del Laboratorio de Microbiología de la Pontificia Universidad Javeriana”, la muestra se preparó con agua destilada y azul de metileno en concentración de 10 ppm para que así otro agente, que muchas veces está presente en una agua residual real, no pueda afectar en la reacción, obteniendo así que al utilizar oxidación de aire húmedo con peróxido de hidrógeno empleando óxido de Fe como catalizador remueve el 100 % de azul de metileno en 210 minutos. En el caso de este estudio en que se utilizó como oxidante único al peróxido de hidrógeno se ven resultados contrarios ya que

la concentración de azul de metileno se incrementa, de lo que se puede intuir que algún componente presente en el agua residual sintética pudo haber afectado la reacción ya que en la investigación en la que se obtuvieron resultados favorables la muestra no presentaba ningún agente ajeno, también se puede decir que la técnicas combinadas con peróxido de hidrógeno resultan más eficientes que utilizar el peróxido de hidrógeno como oxidante único.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, el H_2O_2 , no remueve significativamente el azul de metileno de agua residual de la industria textil. Este resultado guarda relación con lo que sostienen Terán, Posligua y Banchón (50) en su investigación titulada “Dosificación mínima del reactivo Fenton para la remediación de agua contaminada con colorantes”, donde trabajaron en colorantes azoicos amarillo 160, azul 81 y rojo 190, aplicando en cada uno de ellos 3 oxidantes, hipoclorito de sodio 5 %, con peróxido de hidrógeno al 30 % y Fenton a dosis molar 1:3 pH 3,5 y considerando 24 horas de reposo. Los autores mencionados obtuvieron que la absorbancia el hipoclorito de sodio tiene mejores resultados que el peróxido de hidrógeno, sin embargo, de acuerdo a las condiciones de dicha investigación, no existe diferencia significativa tal como se muestra en la siguiente figura.

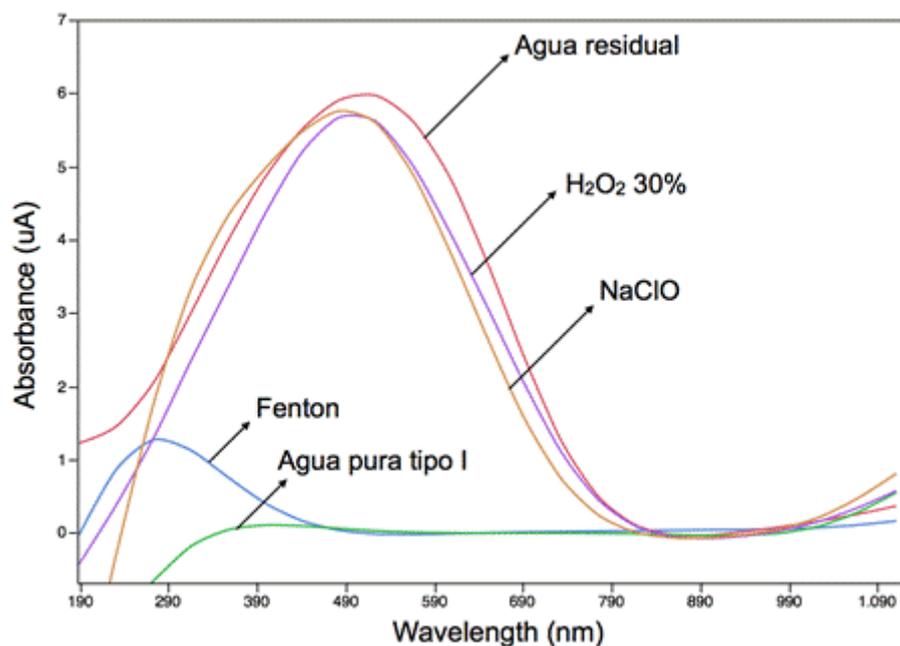


Figura 31. Acción de tres oxidantes en muestras contaminadas con colorantes.

Fuente: Terán, Posligua y Banchón (50).

En la figura se muestra que el reactivo Fenton tiene sin duda mejores resultados para los investigadores, sin embargo, en la presente tesis no se logró trabajar con dicho reactivo debido a las limitaciones que se presentaron por la pandemia del COVID-19.

Por otro lado, en la investigación se caracterizó física-químicamente el índice de ORP, la turbidez y la DQO, obteniendo los siguientes resultados.

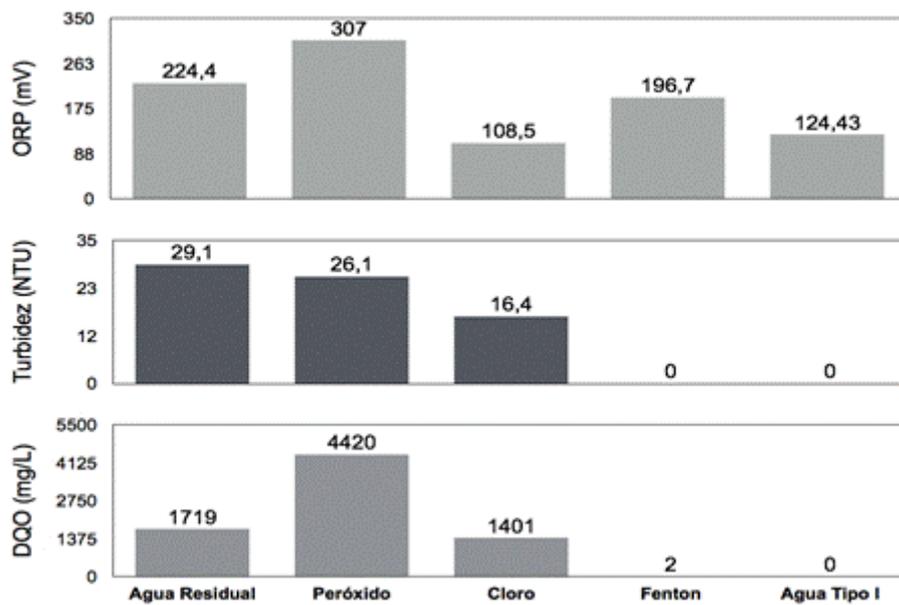


Figura 32. Resultados de la aplicación de oxidantes en DQO, turbidez y ORP.

Fuente: Terán, Posligua y Banchón (50).

En la presente tesis se da importancia al peróxido e hipoclorito, ya que son tema de investigación. Si se comparan ambos resultados, el hipoclorito de sodio muestra ser un mejor oxidante a comparación del peróxido, pues los valores en DQO, turbidez y ORP lo demuestran. Es así que, al igual que en la presente investigación, el hipoclorito de sodio tiene mejores resultados en la absorbancia y demás parámetros físico-químicos.

Si bien, el reactivo Fenton es mejor, se demuestra que el peróxido no tiene influencia significativa en la remoción de colorantes presentes en aguas residuales provenientes de la industria textil. Además, se muestra que sí existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes: hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno (50).

En el presente estudio se evaluaron 4 dosis de H_2O_2 para la remoción del azul de metileno (2,5 mL y 15 mL con radiación y 2,5 y 15 mL sin radiación). De acuerdo a la prueba de Tukey que se optó luego de indicar que al menos una dosis de H_2O_2 se diferencia significativamente de las demás con el propósito de remover el azul de metileno de agua residual industrial textil y ser la menos inadecuada, la dosis de 2,5 con radiación resulta la media menor en comparación a las medias de las demás dosis y ello quiere decir que la dosis con 2,5 mL con radiación resulta la menos inadecuada para remover el azul de metileno; estos resultados son comparables con los reportados por De la Cruz y Valdez (19) que estudiaron la “Degradación del azul de metileno del efluente de la industria textil Grupo Grande S.A.C., mediante la oxidación combinada de ozono/ H_2O_2 ” donde concluye que se logra una mayor degradación del colorante a un volumen de 2,5 mL con un porcentaje de 98,14 % en comparación con el volumen de 4,5 mL; éste último sobrecarga la muestra y hace más lenta la reacción hasta logra disminuir el porcentaje de remoción si se excede el último volumen la cual también es comprable con este estudio debido que la dosis de 15 mL con y sin radiación presenta sobrecarga de la muestra.

De acuerdo a la prueba de Tukey se aprecia que la media de los valores de azul de metileno en el minuto 60 resulta la menor media en comparación a las medias de los demás tiempos. Asimismo, la media de los valores de azul de metileno en el minuto 60 se diferencia significativamente de las demás medias. Por lo cual el minuto 60 resulta el tiempo óptimo de reacción del hipoclorito de sodio en la remoción del colorante azul de metileno de agua residual industrial textil. En ésta investigación se evaluó la remoción del colorante en 6 distintos tiempos de reacción (2, 5, 10, 20, 30 y 60 min) con distintos volúmenes de peróxido de hidrógeno para la degradación del azul de metileno, mostrado en la tabla 29 donde se analiza que no existe diferencias significativas entre los tiempos de reacción del peróxido de hidrógeno con el propósito de remover azul de metileno del agua residual industrial textil; éste análisis es comparado con los resultados reportados por De la Cruz y Valdez (19) que aplicaron azul de metileno a niveles de pH (6 y 8) y volúmenes de peróxido de hidrógeno de 2,5 mL y 4,5 mL considerando la toma de muestras en los tiempos 3, 6, 9 y 12 minutos, concluyéndose que tampoco existen diferencias significativas en los tiempos aplicados para la remoción del colorante que a medida pasa el tiempo la degradación aumenta moderadamente. Además, se menciona que esta remoción depende de las concentraciones del volumen del peróxido de hidrógeno.

Asimismo, en los resultados reportados por el estudio de Calderón y Olortico (20), en su investigación de "Proceso Foto - Fenton para la degradación de color de efluentes de la industria textil que busca remover el colorante rojo moderdirect supra 4B con la relación de $H_2O_2 - Fe^{2+}$ " en tiempos de 30, 60 y 90 minutos; se reporta que al menos un resultado es diferente al resto y que este vendría a ser el resultado de 90 min, dado que se analizó que el porcentaje de decoloración iba aumentando mientras que el tiempo de residencia era de 30 a 60 minutos; estos porcentajes fueron del 98,21 % a 98,28 %, sin embargo pasado los 90 min se analizó la disminución del porcentaje de remoción a 96,85 %, otra vez comprando que dentro de los 60 minutos no hay diferencia significativa y que pasando este tiempo disminuye el porcentaje de remoción que dependería del volumen del oxidante.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la remoción de azul de metileno con dos agentes oxidantes (hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno), llegando a la conclusión que la aplicación del hipoclorito de sodio si influye en la remoción del azul de metileno; por otro lado, el peróxido de hidrógeno no influye en la remoción de este colorante presente en la muestra sintética y en las condiciones en las que se realizó esta investigación.
- Se realizó la prueba de U de Mann–Whitney la que permitió llegar a la conclusión que existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes (NaClO y H_2O_2) en la remoción de azul de metileno de agua residual industrial textil en las condiciones en las que se realizó la presente investigación.
- Se concluye que la dosis óptima de remoción de azul de metileno con el hipoclorito de sodio fue de 4,5 mL con radiación ya que se obtuvo el máximo porcentaje de remoción de 98,47 %.
- Se evaluaron 4 dosis de peróxido de hidrógeno para la remoción de azul de metileno concluyéndose que las 4 dosis sobrecargan la muestra, sin embargo se identificó que 2,5 mL de peróxido con radiación fue la dosis menos inadecuada para la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil, asimismo, las dosis de 15 mL con radiación y sin radiación sobrecarga la muestra con mayor porcentaje y hace lenta la reacción coincidiendo con el estudio por De la Cruz y Valdez (19).
- Se aplicó el hipoclorito de sodio para la remoción del azul de metileno en tiempos de 2, 5, 10, 20, 30 y 60 minutos, donde conforme pasa el tiempo disminuye la concentración del azul de metileno obtenidos de las lecturas de absorbancia en el experimento, concluyéndose que el minuto 60 fue el tiempo óptimo de reacción en la remoción del azul de metileno con un porcentaje de 98,47 %. Por otro lado, la prueba ANOVA ayudó a concluir que no existe diferencia significativa entre los tiempos de reacción del peróxido de hidrógeno.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la influencia de los agentes oxidantes en los parámetros pH, DBO y DQO en la reacción con el agua residual proveniente de la industria textil, de este modo comparar con normativas ambientales peruanas y determinar la calidad del agua como producto final de la reacción.
- Realizar las pruebas experimentales realizando el control estricto de los siguientes parámetros: radiación, RPM y temperatura, para mejorar la aplicación del tratamiento en la remoción del azul de metileno, debido a que en esta investigación estos parámetros no fueron cuantificables porque no se contó con los equipos necesarios por las limitaciones presentadas durante la pandemia de la COVID-19.
- De acuerdo con la hoja de seguridad del azul de metileno, para la disposición final de esta sustancia como residuo que se obtiene luego de la reacción de los agentes oxidantes y el agua residual proveniente de la industria textil, se recomienda contactar con un proveedor de residuos especiales o peligrosos, ya que esta sustancia no puede ser desechada en desagües o cuerpos de agua debido a su alta peligrosidad en contacto con el ambiente y el ser humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ESPINOZA, F. Síntesis y caracterización de perlas de quitosano magnetizadas recubiertas y no recubiertas con tetraetilortosilicato (TEOS) para su aplicación en la sorción de colorantes en medio acuoso. Tesis (Título Profesional de Licenciado en Química). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2018. Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/16002/1/santillan_ef.pdf
- (2) SÁNCHEZ, M. y URIBE, C. Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. Campus, 2018, 23(1). Disponible en: <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1369/1109>
- (3) HURTADO, J. y SANTIAGO, G. Remoción del color en aguas residuales del proceso de teñido en la Cooperativa Industrial Manufacturera del Centro Ltda. a nivel de laboratorio mediante electrocoagulación. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2008. Disponible en: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/215/T-08_11.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (4) PRODUCE. TEXTIL Y CONFECCIONES [en línea]. [fecha de consulta: 4 de junio de 2020]. Disponible en: <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/oe-documentos-publicaciones/documentos-de-trabajo/item/725-textil-y-confecciones>
- (5) CALLE, I., GARCÍA, J. y SAFRA, W. [en línea]. Evaluación de los impactos ambientales y capacidad institucional de la región andina frente al libre comercio, 2006 [fecha de consulta: 4 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/DOCUMENTS/Informe%20PerFA%20vff.pdf>
- (6) DENCHAK, M. [en línea]. Water pollution: everything you need to know [fecha de consulta: 4 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know>
- (7) ORDAYA, J. y RODRÍGUEZ, G. Degradación del azul de metileno por método electroquímico evaluando la diferencia de potencial, pH y tipos de electrodos. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2012. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3704/Ordarya%20C%3%b3ndor-Rodr%3%adguez%20lparraguirre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- (8) ZAMBRANO, N. y RAMÍREZ, M. Evaluación de la degradación de azul de metileno mediante la técnica de oxidación de aire húmedo con peróxido de hidrógeno empleando óxidos mixtos de Mn, Cu y/o Fe como catalizador para el tratamiento de aguas residuales provenientes del Laboratorio de Microbiología de la Pontificia Universidad Javeriana. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, 2019.
- (9) ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [en línea]. Drinking-water [fecha de consulta: 4 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- (10) SHARMA, K., SHARMA, S., SHARMA, S., SINGH, P., KUMAR, S., GROVER, R. y SHARMA, P. A comparative study on characterization of textile wastewaters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests. *Chemosphere*, 2007, 69(1). DOI: 10.1016/j.chemosphere.2007.04.086.
- (11) GALLO, S., BARRIOS, L., GAVIRIA, L. y AGUDELO, E. Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del valle de aburra. *Revista EIA*, 2017, 13(26). DOI: 10.24050/reia.v13i26.742.
- (12) SAKAMOTO, M., AHMED, T., BEGUM, S. y HUG, H. Water pollution and the textile industry in Bangladesh: flawed corporate practices or restrictive opportunities? *Sustainability*, 2019, 11(7). DOI: 10.3390/su11071951.
- (13) CORTAZAR, A. [en línea]. Contaminación generada por colorantes de la industria, 2011 [fecha de consulta: 4 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>
- (14) MALDONADO, A. y MOLINA, R. Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Ambiental). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- (15) CARRILLO, Y. y HERRERA, J. [en línea]. Remoción de azul de metileno de cuerpos de agua utilizando nanopartículas magnéticas Fe₃O₄, 2019 [fecha de consulta: 31 de enero de 2021]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24229>Accepted: 2020-02-27T16:09:05Z

- (16) DELGADO, D. y SANTANDER, N. Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (POA). Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017.
- (17) SALAS, G. Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 2005, 8(1), 49-54 pp.
- (18) GUTIÉRREZ, C. y PILCO, A. Optimización de la remoción de compuestos orgánicos persistentes mediante el proceso Foto-Fenton. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2020, 86(1), p. 58-69. DOI: 10.37761/rsqp.v86i1.273.
- (19) DE LA CRUZ, H. y VALDEZ, M. Degradación del azul de metileno, del efluente de la industria textil Grupo Grande S.A.C., mediante oxidación combinada ozono/H₂O₂. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
- (20) CALDERÓN, F. y OLORTICO, S. Proceso Foto - Fenton para la degradación de color del efluente de la industria textil. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
- (21) HERAZO, M., ROMERO, A. y ANAGUANO, A. Remoción de rojo básico de un efluente textil simulado: un caso de aplicación de la cascarilla de arroz. *Producción + Limpia*, 2011, 6(1).
- (22) O'NEILL, C., HAWKES, F., HAWKES, D., ESTEVES, S. y WILCOX, S. Anaerobic-aerobic biotreatment of simulated textile effluent containing varied ratios of starch and azo dye. *Water Research*, 2000, 34(8). DOI: 10.1016/S0043-1354(99)00395-4.
- (23) MINISTERIO DE PRODUCCIÓN [en línea]. Análisis regional de empresas industriales [fecha de consulta: 18 de marzo de 2021]. Disponible en: http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/2/jer/PRODUCTIVIDAD_COMPETITIVIDAD/Informes/analisis_juin.pdf
- (24) INGAMELLS, W. *Colour for textiles: a user's handbook by Wilfred Ingamells*. Society of Dyers and Colourists, 1993. ISBN: 978-0-901956-56-9.
- (25) COLINDRES, P. *Tratamiento de residuales líquidos textiles mediante oxidación con ozono*. México: Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- (26) BROADBENT, A. *Basic principles of textile coloration*. Bradford: Society of Dyers and Colourists, 2001. ISBN: 978-0-901956-76-7.

- (27) KAYKHAII, M., SASANI, M. y MARGHZARI, S. Removal of dyes from the environment by adsorption process. *Chemical and Materials Engineering*, 2018, 6, 31-35 pp. DOI: 10.13189/cme.2018.060201.
- (28) CHRISTIE, R. *Environmental aspects of textile dyeing*. Washington D.C.: Woodhead Publishing, 2007. ISBN: 978-1-84569-309-1.
- (29) HERBST, W., HUNGER, K., BUXBAUM, G., SMITH, H., VOLZ, H., FREITAG, W., STOYE, D. y BIELEMAN, J. *Industrial dyes*. WILEY-VCH, 2003. ISBN: 3-527-30426-6.
- (30) AFIRM GROUP [en línea]. Documento/Manual de Química, 2013 [fecha de consulta: 9 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>
- (31) MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A., VICARIO, I. y HEREDIA, F. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2007, 57(2), 109-117 pp.
- (32) AHERNE, S. y O'BRIEN, N. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutrition*, 2002. 18(1), 75-81 pp. DOI: 10.1016/S0899-9007(01)00695-5.
- (33) ZEREDO, H. Betalains: properties, sources, applications, and stability. *International Journal of Food Science & Technology*, 2009, 44(12), 2365-2376 pp. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x.
- (34) GARZÓN, R. Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por hongos y bacterias inmovilizados sobre fibra de *Agave tequilana* Webber var. Azul. Tesis (Título Profesional de Microbiólogo Industrial). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2009.
- (35) MARIELSA, G. [en línea]. Azul de metileno: características, preparación, usos, 2019 [fecha de consulta: 17 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/azul-de-metileno/>
- (36) OLORADO, V. y CHISINO, D. Evaluación de los procesos de oxidación avanzada: Fenton, UV/H₂O₂ y Foto-Fenton para la degradación de clorpirifós en aguas residuales a nivel laboratorio en la Universidad de Cartagena. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, 2011, 127 pp.
- (37) DOMENECH, X., JARDIM, W. y LITTER, M. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. 2004. 28 pp.

- (38) UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA [en línea]. Espectrofotometría, 2019 [fecha de consulta: 1 de marzo de 2021]. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/43546/mod_resource/content/3/Espectrofotometr%C3%ADa%202019%20versi%C3%B3n%20final.pdf
- (39) ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL (OEFA) [en línea]. Fiscalización ambiental en aguas residuales [fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- (40) ANDREO, M. [en línea]. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) [fecha de consulta: 16 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/DBO.htm>
- (41) CARRIZALES, R. y ENRÍQUEZ, N. Determinación de la dosis y concentración óptima del coagulante de *Moringa oleifera* en la clarificación del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2019.
- (42) UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE [en línea]. Determinación de la materia orgánica en aguas: aplicación de ultrasonidos en la Demanda Química de Oxígeno [fecha de consulta: 16 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=52938&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=5965216
- (43) FLORES, E., ROQUE, C. y OCHOA, R. Química del color. 2015, 9(2), 11 pp.
- (44) LENNTECH [en línea]. Sodium hypochlorite as a disinfectant [fecha de consulta: 16 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.lennotech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-hipoclorito-de-sodio.htm>
- (45) BES, S. [en línea]. Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados a tratamiento de aguas residuales industriales [fecha de consulta: 1 de marzo de 2021]. Disponible en: http://www.cytcd.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf
- (46) WEBER, W. *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos*. Reverte, 1979. ISBN 978-84-291-7522-6.
- (47) GONZALEZ, M., VERNHES, M. y SÁNCHEZ, Á. La radiación ultravioleta. Su efecto dañino y consecuencias para la salud humana. 2009, 18, 13 pp.
- (48) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.

- (49) CONTRERAS, R., HERNÁNDEZ, I., GONZÁLEZ, R., GARCÍA, A. y ARRIAGA, M. Remoción de azul de metileno en medio acuoso mediante el uso de bagazo de caña de azúcar y rastrojo de maíz modificados con iones SO_4^{2-} y PO_4^{3-} . *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2013, 4(1), 11 pp. ISSN: 0718-8706.
- (50) TERÁN, G., POSLIGUA, P., y BANCHÓN, C. Dosificación mínima del reactivo Fenton para la remediación de agua contaminada con colorantes. *Enfoque UTE*, 2015, 6(3), 65-80 pp. DOI: 10.29019/enfoqueute.v6n3.70.

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><u>PROBLEMA GENERAL</u></p> <p>¿Cuál es la influencia de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?</p> <p><u>PROBLEMA ESPECIFICO</u></p> <p>-¿Cuál es la influencia del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?</p> <p>- ¿Cuál es la influencia del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?</p> <p>- ¿Existe diferencia significativa entre la influencia de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?</p> <p>- ¿Cuál es la dosis óptima de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?</p> <p>- ¿Cuál es tiempo óptimo de reacción de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil?</p>	<p><u>OBJETIVO GENERAL</u></p> <p>Evaluar la influencia de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p><u>OBJETIVO ESPECIFICOS</u></p> <p>- Determinar la influencia del hipoclorito de sodio en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>- Determinar la influencia del peróxido de hidrógeno en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>- Determinar si existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>- Calcular la dosis óptima de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>- Identificar el tiempo óptimo de reacción de los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p>	<p><u>Hipótesis de investigación</u></p> <p>Los agentes oxidantes influyen positivamente en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p><u>Hipótesis nula</u></p> <p>H₀: Los agentes oxidantes no remueven el azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p><u>Hipótesis alterna</u></p> <p>H₁: Los agentes oxidantes remueven el azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p><u>Hipótesis específicas</u></p> <p>- El hipoclorito de sodio influye positivamente en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>- El peróxido de sodio influye positivamente en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>- Existe diferencia significativa entre los agentes oxidantes en la remoción del azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>- La dosis óptima del hipoclorito de sodio como oxidante en la remoción del azul de metileno es 5 ml/L y del peróxido de hidrógeno es 3 ml/L.</p> <p>- El tiempo de reacción del hipoclorito de sodio como oxidante en la remoción del azul de metileno de la solución acuosa es 15 minutos y del peróxido de hidrógeno es 9 minutos.</p>	<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></p> <p>Remoción del azul de metileno.</p> <p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p>Agente oxidante.</p> <p><u>TIPO DE VARIABLE</u></p> <p>-Cuantitativa continua.</p> <p>-Cuantitativa continua.</p> <p><u>ESCALA DE MEDICIÓN</u></p> <p>-Razón.</p> <p>-Razón.</p>	<p><u>METODO DE INVESTIGACIÓN</u></p> <p>El método específico de investigación del estudio fue experimental con fundamento científico.</p> <p><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u></p> <p>-Aplicada.</p> <p><u>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</u></p> <p>-Correlacional-explicativo.</p> <p><u>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</u></p> <p>-Experimental puro con pre y post prueba.</p> <p><u>POBLACIÓN</u></p> <p>Se sintetiza el agua residual industrial textil mediante un proceso de teñido de 2 prendas de ropa para obtener una población de 10 litros de agua.</p> <p><u>MUESTRA</u></p> <p>La muestra fue de 0.8 litros del agua residual industrial textil obtenida en la población.</p>

Anexo 02. Presupuesto de gastos del proyecto de tesis.

ITEM	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCION	P/U	TOTAL
MATERIALES DE OFICINA					
1	Papel bond	0,5	millar	20	S/ 10.00
2	Rotuladores	2	unid	4	S/ 8.00
3	Lapiceros	5	unid	0,5	S/ 2.50
4	Plumones	4	unid	2	S/ 8.00
5	Impresiones	20	unid	0,5	S/ 10.00
6	Papel Toalla	4	unid	3	S/ 12.00
7	Embalaje	4	unid	2	S/ 8.00
EQUIPOS					
8	Multiparámetro	1	unid		S/ 0.00
9	Balanza Analítica	1	unid		S/ 0.00
10	pHmetro	1	unid		S/ 0.00
11	Espectrofotómetro	1	unid		S/ 0.00
MATERIALES Y REACTIVOS DE LABORATORIO					
12	Vickers	10	unid	3	S/ 30.00
13	Probeta	5	unid	4	S/ 20.00
14	Varilla	5	unid	2	S/ 10.00
15	Cubeta para muestras	10	unid	1	S/ 10.00
16	Tintura para jean	2	unid	5	S/ 10.00
17	Azul de metileno	10	g	3	S/ 30.00
18	Mascarilla	50	unid	0,5	S/ 25.00
19	Cofias	20	unid	0,5	S/ 10.00
20	Guantes	50	unid	0,5	S/ 25.00
21	Alcohol	2	L	18	S/ 36.00
22	Cloruro de sodio	0.4	kg	14	S/ 5.60
23	Hipoclorito de sodio	0,75	L	150	S/ 112.50
24	Peróxido de hidrógeno	0,75	L	130	S/ 97.50
25	Agua destilada	5	L	3	S/ 15.00
26	Cintas de pH	50	unid	0,3	S/ 15.00
27	Cubetas de cuarzo	20	unid	30	S/ 600.00
TOTAL					S/ 1,110.10

Anexo 03. Solicitud de uso de laboratorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

Huancayo, 21 de junio de 2021

Dra:
MARÍA CUSTODIO VILLANUEVA
COORDINADORA GENERAL
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE AGUAS UNCP

Reciba un cordial saludo a nombre los siguientes tesis de la Universidad Continental:

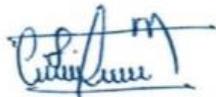
- Olga Primavera Huari Huaman identificada con el DNI 76613084, cel. 988487439
- Carmen Rosa Flores Morales identificada con el DNI 70893748, cel. 928129811
- Johan Hugo Perez Capcha identificado con el DNI 73489033, cel. 957613525

Con el proyecto titulado "REMOCIÓN DEL AZUL DE METILENO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TEXTIL MEDIANTE OXIDACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO - HUANCAYO, 2021", con el debido respeto expongo lo siguiente:

Mediante el presente documento solicito el préstamo del **LABORATORIO DE AGUAS DE LA UNCP** para el día 19 de julio del presente año de 8:00am a 13:00pm, con motivo de realizar la parte experimental de la investigación ya mencionada

Agradeciéndole anticipadamente

Cordialmente,



Carmen Rosa Flores Morales
CEL. 928129811



Anexo 04. Resultados del análisis en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE AGUAS
 "Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

El que suscribe; coordinadora general de Laboratorio de Investigación de Aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú, otorga la presente:

CONSTANCIA

A; FLORES MORALES, Carmen Rosa; HUARI HUAMAN, Olga Primavera; PEREZ CAPCHA, Johan Hugo quienes han desarrollado la parte experimental de la tesis que lleva por título "REMOCIÓN DEL AZUL DE METILENO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TEXTIL MEDIANTE OXIDACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO - HUANCAYO, 2021" los días 07, 14, 20 de setiembre. **PRODUCTO:** Muestra de agua residual sintética de la industria textil, **EQUIPO:** Espectrofotómetro-MERCK modelo Spectroquant® Prove 600. Obteniendo los siguientes datos:

RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL AM Y LA ABSORBANCIA

Muestra	Concentración de azul de metileno (ppm)	Absorbancia
1	4	0.780
2	8	1.021
3	10	1.521
4	14	2.285

RESULTADOS DE ABSORBANCIA DEL AZUL DE METILENO BAJO INFLUENCIA DEL NaClO EN 4.5 mL Y 6.5 mL CON Y SIN RADIACIÓN.

Muestras	Tiempo (min)	Tiempo (min)					
		2	5	10	20	30	60
BAJO RADIACIÓN	4.5 ml	0.102	0.091	0.084	0.079	0.068	0.015
	6.5ml	0.102	0.095	0.091	0.088	0.077	0.021
SIN RADIACIÓN	4.5ml	0.072	0.051	0.044	0.03	0.023	0.019
	6.5ml	0.081	0.06	0.042	0.038	0.032	0.029

RESULTADOS DE ABSORBANCIA DEL AZUL DE METILENO BAJO INFLUENCIA DEL H₂O₂ EN 4.5 mL Y 6.5 mL CON Y SIN RADIACIÓN.

Muestras (ml)	Tiempo (min)	Tiempo (min)					
		2	5	10	20	30	60
CON RADIACIÓN	2.5	0.339	0.333	0.328	0.322	0.312	0.301
	15	0.319	0.328	0.339	0.341	0.347	0.351
SIN RADIACIÓN	2.5	0.357	0.355	0.351	0.346	0.341	0.335
	15	0.328	0.331	0.358	0.359	0.361	0.375

Se expide la presente constancia a los 30 días del mes de setiembre del 2021.

Atentamente,



 Dra. María Custodio Villanueva
 COORDINADORA GENERAL

Anexo 05. Ficha de registro de datos.

FICHA DE REGISTRO DE DATOS

LUGAR:

FECHA:

TRATAMIENTO:

FICHA DE REGISTRO DE DATOS

LUGAR: LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE AGUAS UNCP

FECHA: 20 de setiembre de 2021

TRATAMIENTO: DE OXIDACIÓN MEDIANTE HIPOCLORITO DE SODIO (NaClO) y PEROXÍDICO DE HIDRÓGENO (H₂O₂)

MEDICIÓN DE LA ABSORBANCIA								
MUESTRA	CONDICIÓN	DOSIS	2 min	5 min	10 min	20 min	30 min	60 min

MEDICIÓN DE LA ABSORBANCIA								
MUESTRA	CONDICIÓN	DOSIS	2 min	5 min	10 min	20 min	30 min	60 min
NaClO (5%)	CON RADIACION	4.5ml	0.102	0.091	0.084	0.079	0.068	0.045
		6.5ml	0.102	0.095	0.091	0.088	0.077	0.021
	SIN RADIACION	4.5ml	0.072	0.051	0.044	0.03	0.023	0.019
		6.5ml	0.081	0.06	0.042	0.038	0.032	0.029
H ₂ O ₂ (30%)	CON RADIACION	2.5ml	0.339	0.333	0.328	0.322	0.312	0.301
		15.0ml	0.319	0.328	0.339	0.341	0.347	0.351
	SIN RADIACION	2.5ml	0.357	0.355	0.351	0.346	0.341	0.335
		15.0ml	0.328	0.331	0.358	0.359	0.361	0.375

OBSERVACIONES:

OBSERVACIONES:

- En la muestra del hipoclorito de sodio se presenta sedimentos en poca cantidad pasando los 60 min.
- En la muestra del H₂O₂ se presentan algunas anomalías como la formación de sedimentos, burbujas y espuma, pasando los 10 min de reacción.