



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico – Lima 2018

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Kirsty Angélica Chunga Martínez

ASESOR:

Mg. Rita Jaqueline, Cabello Torres

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

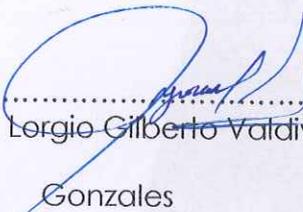
2018

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a) Kirsty Angélica Chunga Martínez, cuyo título es:

Degradación del color y la turbidez en agua residual textil empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico - Lima 2018

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: *14*..(número)
CASTORCE.....(letras).

Lima, San Juan de Lurigancho, *15* de diciembre del 2018.


.....
Dr. Lorgio Gilberto Valdiviezo
Gonzales


.....
Mg. Fernando Antonio Sernaque
Auccahuasi


.....
Mg. Rita Jacqueline Cabello Torres

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Robert Chunga Aquino y Lucía Martínez Suárez, porque en este trayecto me brindaron su apoyo y su amor incondicional.

A mi madrina, María V. Martínez Suárez, mi segunda madre, por seguir conmigo a pesar de la distancia y guiarme en todo momento.

A mis hermanos; Brando y Bryand Chunga M. que estuvieron ahí para mí, cuando más los necesité.

A las personas que forman y formaron parte de mi vida por la compañía, consejos, motivación y ánimos brindados.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primera instancia a Dios por brindarme salud y permitirme concretar esta meta que tracé desde el primer momento en que me uní a esta universidad.

Agradecer a toda mi familia, en especial a mis padres; Lucía Martínez Suarez y Robert Chunga Aquino, que durante todo este camino supieron comprenderme y tenerme mucha paciencia; a su amor incondicional y porque cada día se tomaban el trabajo de brindarme palabras de aliento, los cuales fueron suficientes para llegar a no rendirme hasta cumplir mis objetivos tanto personales como profesionales. A mis hermanos por enseñarme a ver el potencial que existe dentro de mí y mis habilidades.

A la Universidad Cesar Vallejo por instruirme de mejor manera, tomando en cuenta los buenos valores que se deben considerar a cada decisión a tomar, por brindarme las bases de los conocimientos necesarios para desarrollarme académicamente como una buena Ingeniera.

Agradecer así mismo a los docentes de la EP de Ingeniería Ambiental, los cuales me guiaron a lo largo de estos años de formación académica, a los docentes que compartieron conmigo sus conocimientos, consejos y amistad. Gracias a Daniel Neciosup y al Ing. Tacuda por su apoyo en el laboratorio, por brindar su tiempo, su paciencia al explicar el uso y cuidado de los instrumentos dentro del mismo.

A mi asesora de Tesis, Mg. Cabello Torres Rita, por encabezar este camino guiándome hacia el cumplimiento de la presente investigación, por su amistad, sus buenos consejos, y lo más importante por saber escuchar. Por brindarme muchos ánimos con el fin de poder culminar satisfactoriamente mi carrera profesional.

Siempre estaré agradecida.

Declaratoria de autenticidad

Yo Kirsty Angélica Chunga Martínez con DNI N° 70468162, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la tesis titulada “Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico – Lima 2018” son auténticos y veraces. En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 15 diciembre del 2018



Kirsty Angélica Chunga Martínez
DNI: 70468162

Presentación

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico – Lima 2018”, cuyo objetivo principal fue degradar el color y la turbidez presente en agua residual textil real, la cual someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniería Ambiental. La investigación consta de 3 capítulos. En el primer capítulo se explica en general el problema que se vive en la actualidad sobre la contaminación de las aguas residuales textiles y se define concretamente algunos conceptos básicos; en el segundo capítulo se habla acerca de la realidad problemática y la justificación de mi trabajo, en el tercer capítulo habla más acerca de mi matriz de operacionalización de mis variables, la población, mi muestra y la metodología que usé para el desarrollo de mi proyecto. Y en el último capítulo presento mis resultados, discusiones, conclusiones y considero algunas recomendaciones.

Kirsty Angélica Chunga Martínez

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue degradar el color y la turbidez presente en agua residual textil real, empleando catalizadores ($\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4$), un agente oxidante, el cual es el H_2O_2 y radiación UV- A de 315 nm como fuente de energía, para así acelerar dicho proceso, al fotoexcitar al catalizador. Así mismo, menciona también algunos parámetros que intervienen en el proceso.

El primer proceso experimental es almacenar todos los tratamientos correspondientes en un reactor fotocatalítico, los cuales estarán expuestos a una radiación UV-A, debido a que este reactor ocasiona daños a la salud, se optó por utilizar un sistema cerrado, donde ocurrirá todo el proceso; los 3 tratamientos con diferentes dosis, por un tiempo de 6 horas.

Para adecuar la muestra, se redujo el pH, de alcalina a ácida, mediante la aplicación de un ácido (H_2SO_4), para que el pH finalmente quede en un rango de 2- 3, el cual es el nivel óptimo para poder realizar los tratamientos con el reactor fotocatalítico, para mi muestra en general reduje el pH a 2,55.

El mejor resultado que se obtuvo en esta investigación fue la de Tratamiento 1, con TiO_2 (0,3g.), H_2O_2 (3ml) , el cual mediante un tiempo total de 4 horas, logró degradar la turbidez hasta 0,00 NTU, lo que quiere decir que hace referencia a que todos los materiales en suspensión (pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos), presentes en este tratamiento, se lograron reducir por completo, así mismo se menciona la reducción del color, puesto que este inició con un total de 307 UPC, terminó en un total de solo 17 UPC, en el mismo tratamiento con la misma dosis, y a un periodo de 6 horas.

Palabras clave: Hidróxido de sodio, Turbidez, Peróxido de Hidrogeno, Dióxido de titanio, Sulfato Ferroso, Ácido Sulfúrico.

Abstract

The objective of the present investigation was to degrade the color and turbidity present in real textile waste water, using catalysts (TiO_2 / FeSO_4), an oxidizing agent, which is H_2O_2 and UV-A radiation of 315 nm as an energy source, in order to accelerate this process, by photoexciting the catalyst. Likewise, it also mentions some parameters that intervene in the process.

The first experimental process is to store all the corresponding treatments in a photocatalytic reactor, which will be exposed to UV-A radiation, because this reactor causes damage to health, it was decided to use a closed system, where the whole process will occur ; the 3 treatments with different doses, for a time of 6 hours.

To adapt the sample, the pH was reduced, from alkaline to acid, by applying an acid (H_2SO_4), so that the pH finally remains in a range of 2-3, which is the optimum level to be able to perform the treatments with the photocatalytic reactor, for my sample I generally reduced the pH to 2.55.

The best result obtained in this research was that of Treatment 1, with TiO_2 (0.3g.), H_2O_2 (3ml), which through a total time of 4 hours, managed to degrade the turbidity to 0.00 NTU. which means that it refers to all the materials in suspension (both organic and inorganic), present in this treatment, were completely reduced, and color reduction is mentioned, since it started with a total of 307 UPC, finished in a total of only 17 UPC, in the same treatment with the same dose, and a period of 6 hours.

Keywords: Sodium hydroxide, Turbidity, Hydrogen peroxide, Titanium dioxide, Ferrous sulfate, Sulfuric acid.

Índice general

I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Realidad problemática	16
1.2 Trabajos previos	17
1.3 Teorías relacionadas al tema	19
1.4 Formulación del problema	28
1.4.1 Problema general	28
1.4.2 Problemas específicos	28
1.5 Justificación del estudio	28
1.6 Hipótesis	29
1.7 Objetivos	29
II. MÉTODO	30
2.1 Diseño de la investigación	31
2.1.1 Tipo de metodología	31
2.1.2 Nivel de investigación	31
2.1.3 Enfoque de investigación	31
2.1.4 Diseño experimental	31
2.2 Variables, Operacionalización	32
2.2.1 Variables	32
2.2.2 Operacionalización de las variables	32
2.3 Población y muestra	34
2.3.1 Población	34
2.3.2 Muestra	34
2.4 Técnicas, Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	34
2.4.1 Técnicas	34
2.4.2 Instrumentos de recolección de datos	35
2.4.3 Metodología del experimento	35
2.4.4 Procedimiento	38
2.5 Métodos de análisis de datos	43
2.6 Recojo de datos	44
2.6.1 Proceso de análisis de datos	44
2.6.2 Caracterización inicial de la muestra de agua	44
2.7 Aspectos éticos	44
III. RESULTADOS	45

3.1	Resultados de la caracterización de la muestra de agua con los tratamientos	46
3.1.1	Tratamiento 1	46
3.1.2	Tratamiento 2	48
3.1.3	Tratamiento 3	50
3.2	Resultados del color y la turbidez.....	51
3.2.1	Color.....	51
3.2.2	Turbidez	52
3.3	Resultados método estadístico.....	53
IV.	DISCUSIONES.....	73
V.	CONCLUSIONES.....	74
VI.	RECOMENDACIONES.....	75
VII.	REFERENCIAS	76
ANEXOS	81

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de las variables de la investigación	81
Tabla 2 Matriz de consistencia	82

Índice de figuras

Figura N°1: Diagrama esquemático.	22
Figura N° 2: Foto excitación del TiO ₂	22
Figura N° 3.....	23
Figura N° 4.....	23
Figura N° 5.....	24
Figura N° 6: Parámetros y límites para la reutilización de aguas para usos industriales, según Resolución Ministerial N° 021-2009-Vivienda.....	28
Ilustración 7: Instalaciones de la Industria textil.....	35
Figura N° 8: Acidificación de la muestra	39
Figura N° 9: PESAJE DE LOS CATALIZADORES	39
Figura N° 10: Toma volumétrica del oxidante	40
Figura N° 11: Muestras dentro del reactor fotocatalítico.....	42
Figura N° 12: Almacenamiento de muestras	43
Figura N° 13: Medición del color y la turbidez.....	43
Figura n° 14: Representación gráfica de resultados con TiO ₂ (0,3 g)/ H ₂ O ₂ (3ml).....	52
Figura n° 15: Resultados mínimos en la reducción de la turbidez con TiO ₂ (0,3 g) y H ₂ O ₂ (3ml)	53
Gráfico n° 16: Comportamiento del color –TM1	55
Gráfico n° 17: Comportamiento del color	57
Gráfico n° 18: : Comportamiento del color.....	58
Gráfico n° 19: Comportamiento del color	60
Gráfico n° 20: Comportamiento del color.....	61
Gráfico n° 21: Comportamiento del color.....	63
Gráfico n° 22: Comportamiento de la turbidez	64
Gráfico n° 23: Comportamiento de la turbidez	66
Gráfico n° 24: Comportamiento de la turbidez	67
Gráfico n° 25: Comportamiento de la turbidez	69
Gráfico n° 26: Comportamiento de la turbidez	70
Gráfico n° 27: Comportamiento de la turbidez.....	72

Índice de anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia de consistencia.....	82
Anexo 2: Instrumento de recolección de datos	83

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria textil es generadora de grandes cantidades de aguas residuales, por ende, presentan una gran concentración de contaminantes, afectando los recursos hídricos de una manera considerable. “Esta industria hace uso de más de 100.000 químicos sintéticos, el 70% de los desechos industriales que produce van a parar al agua. Se estima que el 20% de los tóxicos que se vierten en ríos y océanos proviene de esta industria” (Revista Circle,2018).

Según ANWAR, Devi y MULYADI, Dikdik (2014) menciona que uno de los grupos más grandes de contaminantes en las aguas residuales y otros procesos industriales son los tintes, dado que, el 15 % de la producción mundial, se pierde durante todo el proceso de teñido, los cuales en cierta concentración pueden llegar a convertirse en compuestos tóxicos o carcinogénicos, de manera que dañan nuestra salud y también contaminan al medio ambiente en el que vivimos, ya que estos compuestos tóxicos llegan a impedir el paso de la luz en las aguas, alterando el funcionamiento del sistema biótico y abiótico.

Al analizar la situación general de este tipo de industria en relación con el uso del agua, nos hace ver que el recurso hídrico se encuentra en grave peligro, en una entrevista con la fundadora de la plataforma de moda sostenible SlowFashionSpain (SFS), Gema Gómez, nos dice que: “el consumo de agua, tanto en la producción de la materia prima como en los procesos que se llevan a cabo (tintes, acabados, etc.) es el gran impacto de este sector, también habla de cifras exactas , a nivel de consumo en base a datos de la Environmental Justice Foundation, nos informa que para producir una camiseta se necesitan unos dos mil novecientos litros de agua; de once a diecinueve mil para un vaquero, “Son números alarmantes, sobre todo en regiones con baja disponibilidad de agua”, corrobora Gema Gómez.

Lo más alarmante aún, es que en la mayoría estas aguas residuales son descargadas a aguas superficiales, contaminadas con colorantes, ácidos y demás aditivos que se emplean en estas industrias, sin ningún tipo de tratamiento, generando un amplio rango de sustancias químicas, y peor aun tratándose de compuestos que no son degradados fácilmente, por las bacterias naturales existentes en los cuerpos de agua, por lo que persisten y se acumulan en los ecosistemas.

Es por ello, que existen diferentes técnicas para el tratamiento de estas aguas residuales, siendo el POA el método más usado, ya que posee una alta efectividad en la degradación del color y en la oxidación de la materia orgánica, usando catalizadores, oxidantes, variando la dosis de cada uno de ellos, para así degradar el color y la turbidez presentes en estos cuerpos de agua.

1.1 Realidad problemática

Según Tinoco, Medina y Zapata (2011) manifiestan que una de las grandes problemáticas es que este sector no sólo es el que más gasta, sino también es el que más contamina. En el 2025, como consecuencia del consumo excesivo del agua destinada al uso industrial, llegaría a alcanzar los 1 170 km³/año, cuando en 1995 esta cifra se situaba en 752 km³/año, un gran inconveniente para futuras generaciones.

Las industrias textiles se caracterizan por que su actividad requiere de un elevado consumo de agua, energía y productos químicos, por lo cual, la descarga de estas aguas van a contener los siguientes compuestos: ácidos, bases, iones metálicos, entre otros, materia orgánica (en suspensión, dilución, etc.), los cuales consumen un alto contenido de oxígeno del cuerpo receptor, imposibilitando de acuerdo a su concentración la auto purificación de estos cuerpos de agua. Cabe mencionar que los colorantes empleados en estas industrias textiles, son muy complejos de degradar y por ende presentan una fuerte oposición a diversos tratamientos biológicos a los que se someten.

Si bien se habla de los POA's, es debido a que estos métodos tienen una alta eficiencia de eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, estos así mismo sirven también, para degradar el color presente en los cuerpos de agua residual producto de las industrias textiles.

Por lo antes mencionado, el presente trabajo de investigación pretende presentar los resultados obtenidos mediante un sistema fotocatalítico, variando las dosis de los catalizadores y el oxidantes en diferentes tiempos, durante un periodo de 6 horas, con el fin de degradar el color y la turbidez.

1.2 Trabajos previos

Según **PEÑUELA, Gustavo y GARCÉS, Luis (2015)**, su artículo tiene como objetivo precisar la cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 presente en aguas. Para ello, se comprobó el orden de la reacción para cada uno de los experimentos realizados, considerando las concentraciones de color y DQO residuales; para, luego, determinar las constantes de velocidad y los tiempos de vida media del color existentes en estos cuerpos de agua, después de las 8 horas del determinado tratamiento. Como resultado, se alcanza a una concentración óptima de fotocatalizador y H_2O_2 (agente oxidante), para la degradación del colorante en una concentración de 340 mg/L disuelto en el agua, encontradas en esta investigación son las siguientes: TiO_2 (40 mg/L) y H_2O_2 (2mL) sin inyección de aire ya que este disminuye el porcentaje de degradación final del colorante. Llegando a la conclusión de que degradación fotocatalítica es una de las tecnologías que resulta atractiva para la descontaminación de aguas con sustancias orgánicas tóxicas, basada en el uso de un catalizador que este caso sería el dióxido de titanio (TiO_2) y luz ultravioleta solar de baja energía (320-390 nm).

Según **LOPEZ, José (2017)**, en su trabajo de investigación determina la eficiencia de un sistema fotocatalítico, para la degradación de un colorante directo, haciendo uso de 3 agentes; TiO_2 , el FeSO_4 que son catalizadores y H_2O_2 que actúa como un agente oxidante, aplicado en un Reactor Fotocatalítico a una radiación UV-A de 315 nm, en donde ocurre todo el proceso de tratamiento, por un rango de tiempo de 6 horas. Se desarrollaron 3 procesos experimentales, en la cual se variaron las dosis de los parámetros de operación y/o reactivos, pero nunca estos 3 agentes se separaron en ninguno de los tratamientos aplicados, el mejor resultado fue 1er Tratamiento, ya que se obtuvo un grado de eficiencia del 97% reduciendo el nivel de color de 100 UC a <5 U. Manifestando que el tratamiento empleando un reactor fotocatalítico bajo las dosis de estos tres agentes, cumple en la degradación del color aplicado a la muestra de agua producto de una industria textil.

POSADA, Martha y PULIDO Jennifer (2011), nos manifiesta que en su investigación se trabajó con una muestra de cuerpo de agua sintética, empleando un colorante directo ANL al 130% en un pH de 4 y 9, con el objetivo de degradarlo a partir de un proceso de oxidación fotocatalítica heterogénea, aplicando un catalizador como el dióxido de Titanio (TiO_2) y como un agente oxidante al Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) siendo luego calculados a través de un diseño experimental de análisis ANOVA de una vía para un diseño factorial, con 176 muestras

con el fin de encontrar condiciones de mayor contribución en la degradación del colorante; estas son H_2O_2 (1 mg/L) , TiO_2 (50 mg/L) y a un pH 4, las cuales fueron aplicadas en el tratamiento para una muestra de agua residual producto de la industria textil, obteniendo un porcentaje de degradación máximo de 41,9%.

MEJÍA Edwin, GARZES, Luis y PEÑUELA, Gustavo (2005), en su artículo señala que la cinética de degradación y mineralización de un colorante, durante un proceso de fotocátalisis empleando el TiO_2 mediante el uso de un colector solar, de tipo cilindro parabólico. Para calcular la cinética de degradación y mineralización del colorante, durante el proceso de fotocátalisis, se comprobó el orden de la reacción para cada uno de los experimentos realizados, tomando en cuenta las concentraciones de color y COT residuales; para que luego se calcule las constantes de velocidad y los tiempos de vida media de color presentes en el cuerpo de agua en un periodo de 8 horas de tratamiento. Los resultados de tiempo de vida media del colorante, el más efectivo se logró utilizando el TiO_2 el cual trabajó de manera óptima con el peróxido de hidrogeno. El menor tiempo de exposición a la luz solar en el que se logró la disminución del 50% del color (tiempo de vida media) fue de 1.92 horas, para la condición en la que se emplearon TiO_2 (150 mg/L) y de H_2O_2 (2 ml/L), con un grado de degradación del 93.48% en promedio. En conclusión, las variaciones de las dosis adecuadas de TiO_2 y H_2O_2 posibilita que el tratamiento realizado en un cilindro parabólico, requiera de tiempos menor a 8 horas de radiación solar para degradar el color en un alto porcentaje.

SANCHEZ, Manuel y BANDALA, Erick (2002), en su artículo nos comentan que la remoción del color, presente en el efluente de una empresa textil, se llevó a cabo empleando fotocátalisis, pero no con reactor fotocatalítico sino, mediante una fotocátalisis solar. Se probaron dos diferentes procesos fotocatalíticos: homogéneo y heterogéneo. Luego se determinó que el proceso homogéneo (foto-Fenton) es más eficiente que el proceso heterogéneo (TiO_2/UV) en la eliminación del contaminante. Se determinó la concentración de catalizador mediante un proceso de fotocátalisis homogénea y se determinó que a mayor concentración de éste mayor es la velocidad de la reacción de degradación. Se obtuvo una mayor eficacia realizando el experimento con 30 mg/L de Fe(II) , obteniendo así la máxima degradación en un tiempo de 25 minuto. Llegando a la conclusión que la fotocátalisis heterogénea, a pesar de estar identificada como una tecnología de mucho potencial en el tratamiento de aguas residuales, no fue capaz de degradar al colorante más allá de un 20 %, lo cual es insuficiente para las necesidades de las industrias textiles. Por otro lado, el proceso

conocido como foto Fenton mostró resultados muy superiores con degradación de 90 % bajo las mismas condiciones.

CORZO, Alberto (2011), nos presenta en su investigación una degradación fotoinducida del colorante rodamina B, el cual se empleó junto con el óxido de zinc (ZnO) expuesta a la luz solar como fuente de radiación fotónica, mediante un proceso de agitación continua en sistemas abiertos expuestos al aire libre. La disminución en la concentración del colorante muestra una reacción cinética de pseudo- primer orden. El proceso del curso y modificación de la reacción, fue estudiado con un fotocolorímetro digital. Se logró determinar que las concentraciones superiores al límite causan efectos ajenos a los usualmente estudiados en cinética química. Las concentraciones de colorante y fotocatalizador óptimas para lograr un estudio exitoso son 20 mg/L y 0,3 g/100 mL, respectivamente. Por lo que los resultados obtenidos demuestran que la degradación fotocatalítica es una técnica muy efectiva para la remoción de colorantes en aguas provenientes de industrias textiles, obteniendo un valor de la constante aparente de velocidad de degradación del colorante rodamina B de 0,1 min.

GARZÓN, Rossana (2009), durante el proyecto se evaluó la remoción de colorantes textiles de diversas clases químicas, pero en este caso, se emplearon tratamientos biológicos: Bacteriano y dos fúngicos. Los microorganismos se inmovilizaron mediante una fibra de Agave Tequilero Webber var. Azul, y las cinéticas de degradación se realizaron en medios minerales sin ninguna fuente de carbono, para así determinar cuál es el sistema de remoción de mayor eficiencia, bajo estas condiciones. Luego de ello se realizó un barrido en espectrofotómetro con el fin de evaluar el cambio diario de este en comparación al barrido inicial obtenido. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro UV-UVIS en un rango de longitudes de onda de 200- 800 nm, determinando los picos de absorción y el incremento o descenso de las absorbancias. Obteniendo como resultado que para el colorante tipo trifenilmetano Verde básico 4, el empleado con Klebsiella, como resultado mostró un porcentajes de decoloración de 94.7%, con una tasa de remoción diaria de 11.84 mg/L y constante de remoción de 0.28 L/mg.día.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Los colorantes presentes en la industria textil y su importancia

Los colorantes en general son primordiales para la industria textil, ya que estos son utilizados para dar color a hilos y tejidos que en la actualidad se usan en prendas de vestir, es por ello se elaboraron diferentes tipos de colorantes. Según Mansilla et al. (2001) menciona que la mayoría de estas operaciones utilizan diversas materias como es el algodón, lana, fibras sintéticas o mezclas de ellas, sin embargo, en la actualidad su uso ha extendido al teñido del

nylon, esto debido al consumismo. Además, el uso los colorantes a aumentado ya que no son muy costosos.

1.2.2. El uso de colorantes y su impacto ambiental

Según Sedlak, Dieter (2013) menciona que las actividades manufactureras textiles en sus procesos muchos ácidos se neutralizan durante el proceso del teñido / aclarado y se desechan como sales. Casi todas las sustancias activas orgánicas se desechan a las aguas residuales. Algunas son bastante biodegradables y otras no lo son, sin embargo, las sustancias se eliminan para ser tratadas como aguas residuales (desecho industrial), y gran cantidad de estos productos presentes en las aguas residuales son tóxicos para los peces y recientemente se ha identificado como un disruptor endocrino débil. (p.43)

A esto añadirle las grandes cantidades de agua que se utilizan, es un gran impacto negativo para el recurso hídrico, ya que básicamente no se está usando de manera responsable. El problema general se enfoca en que el crecimiento económico depende del consumismo, a una mayor producción de productos, mayor es el consumo de nuestros recursos.

1.2.2. Colorantes directos

Son una clase de materias colorantes que se aplican directamente al sustrato en un baño neutro o alcalino. Producen tonos completos en algodón y lino sin mordarse y también pueden aplicarse a rayón, seda y lana. Los colorantes directos dan tonalidades brillantes, pero exhiben poca resistencia al lavado. Se utilizan varios tratamientos posteriores para mejorar la resistencia al lavado de los colorantes directos, y dichos colorantes se denominan "colores directos tratados posteriormente". Los colorantes directos son moléculas que se adhieren a las moléculas del tejido sin la ayuda de otros químicos. Estos se definen como colorantes aniónicos con sustentividad para las fibras celulósicas, normalmente aplicados desde un baño de tinte acuoso que contiene un electrolito, ya sea cloruro de sodio (NaCl) o sulfato de sodio (Na₂SO₄). Más del 75% de todos los tintes directos son estructuras azoicas no metalizadas, la mayoría de ellas son de tipo disazo o poliazos. (Mazharul, K, pág. 1, 2018).

1.2.3. Tratamientos fotocatalíticos para efluentes textiles

1.2.3.1. Fotocatálisis

El término fotocatalisis se usa para describir un proceso donde la luz se usa para excitar un fotocatalizador y la velocidad de la reacción química se acelera sin involucrar al fotocatalizador. Aunque el término fotocatalisis es bastante confuso y ha habido un largo

debate en la definición de este término, IUPAC finalmente ha decidido que el término fotocatalisis se reserva para las reacciones realizadas en presencia de un semiconductor y luz (Ameta, R. y Ameta, S., pág 47, 2017).

Dado que las reacciones fotocatalíticas proceden generalmente con moléculas de oxígeno en el aire, la reducción de oxígeno sería el proceso importante en la reducción fotocatalítica. Por otro lado, teniendo en cuenta que la superficie de los fotocatalizadores de TiO_2 está cubierta con moléculas de agua adsorbidas en ambientes ideales y que los fotocatalizadores se usan a menudo para descomponer contaminantes en el agua, la oxidación del agua sería el proceso importante en la oxidación fotocatalítica (Pichat, P., pág. 50, 2013)

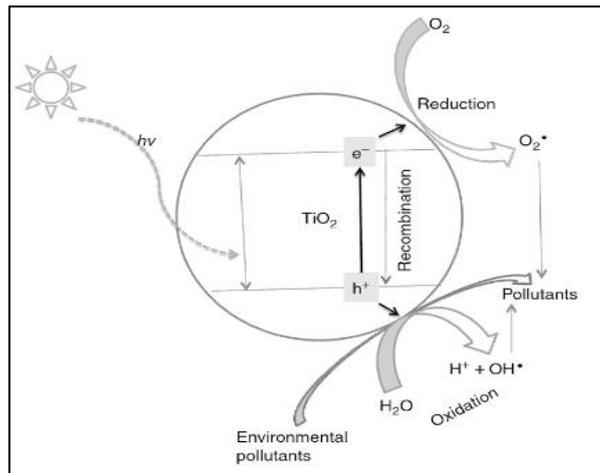
1.2.3.2. Fotocatálisis heterogénea

Recientemente, la degradación de contaminantes ambientales por catalizadores heterogéneos ha sido reconocida como el mejor tipo de proceso de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales. La catálisis heterogénea de contaminantes ambientales tiene varias ventajas, como la degradación completa y rápida de los contaminantes para formar dióxido de carbono, agua y ácidos minerales sin la formación de subproductos policíclicos, catalizadores de alto rendimiento, menos tiempo de contacto, alto porcentaje de eliminación, bajo costo, alta estabilidad, y materiales ambientalmente sostenibles (Chandra, M. y Kumar, R., Pág. 40, 2016).

En lo que respecta al material semiconductor, las nanopartículas de TiO_2 han sido ampliamente reportadas en la literatura, debido a sus distintas características de electrones solitarios en el orbital externo. Este electrón solitario se fotoexcita a la banda de conducción vacía en femtosegundos, ya que el TiO_2 recibe una energía fotónica mayor que la energía de intervalo de banda, que suele ser de 3,2 eV. La Fig. 1 muestra la generación de pares de orificios de electrones en una nanopartícula semiconductor de TiO_2 debido a la foto. Mecanismo inducido en presencia de contaminantes ambientales (Chandra, M. y Kumar, R., pag. 40, 2016).

Fig. N° 1 Diagrama esquemático para la generación de un par de orificios de electrones en una nanopartícula de TiO_2 semiconductor debido al mecanismo foto inducido en presencia de contaminaciones ambientales.

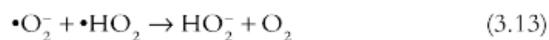
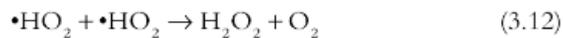
Figura N^o1: Diagrama esquemático.



Fuente: Chandra, M. y Kumar, R., pag. 41, 2016

La excitación fotoinducida deja una banda de valencia sin llenar vacía y, por lo tanto, genera un aire de agujero de electrones. El mecanismo de reacción durante los procesos de fotoexcitación y fotodegradación en TiO₂ se puede resumir a continuación (Chandra, M. y Kumar, R., Pág. 41, 2016).

Figura N^o 2: Foto excitación del TIO₂



Fuente: Chandra, M. y Kumar, R., Pág. 41, 2016

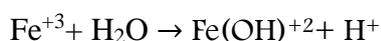
Estas reacciones muestran que los radicales hidroxilos se forman durante la fotoexcitación cuando los orificios positivos reaccionan con la superficie de H₂O y OH-IB EL TiO₂. Se ha informado que la reacción avanza en la dirección inversa cuando el pH supera el pK (4, 88) para el radical HO₂ (Chandra, M. y Kumar, R., pag. 42, 2016).

En otro estudio, se prepararon una serie de fotocatalizadores de TiO-grafeno a partir de dióxido de titanio y óxido de grafeno por un método hidrotérmico simple, y el material del

fotocatalizador se usó para la degradación fotocatalítica del azul de metileno en agua bajo irradiación de luz visible. La eficiencia de degradación fotocatalítica fue superior al 98.8% dentro de los 100 minutos del tiempo de contacto. El comportamiento de degradación se ajustó bien al modo cinético del primer orden. Se vio claramente que la absorción característica de la solución de azul de metileno a 663 nm disminuye gradualmente en intensidad con el aumento del tiempo de irradiación. Además, aparece un pico de absorción bastante débil a 663 nm y no aparece un nuevo pico de absorción, lo que indica la degradación completa del azul de metileno. (Chandra, M. y Kumar, R., pag. 43, 2016).

1.2.3.3. Foto – Fenton

En 1890 el Químico británico H.J.H. Fenton introdujo una reacción química basada en peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y un catalizador de hierro para generar iones hidroxilo para la degradación de compuestos orgánicos presentes en el agua o en aguas residuales. Cuando una fuente de luz (como UV) se introduce en el sistema anterior, comúnmente se llama reacción de oxidación foto-Fenton. Bajo solución ácida (por debajo de pH 3), la solución conduce a la formación del complejo Fe (OH) +2. Además, la exposición a la radiación UV produce radicales altamente reactivos (-OH) y Fe +2.



En las reacciones de fenton tradicional El Fe²⁺ actúa como un agente catalítico, durante el proceso de la descomposición del H₂O₂, formando radicales OH, en esta reacción los iones Fe³⁺ se van almacenando a medida que los Fe⁺² se agotan y la reacción finalmente se detiene, en este proceso se intenta solucionar este problema mediante la regeneración fotoquímica de los iones Fe²⁺ reduciendo el ion férrico según la reacción de la figura n^o 5

Figura N^o 3

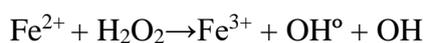


Figura N^o 4

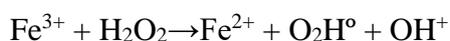
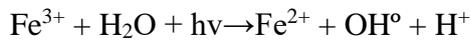
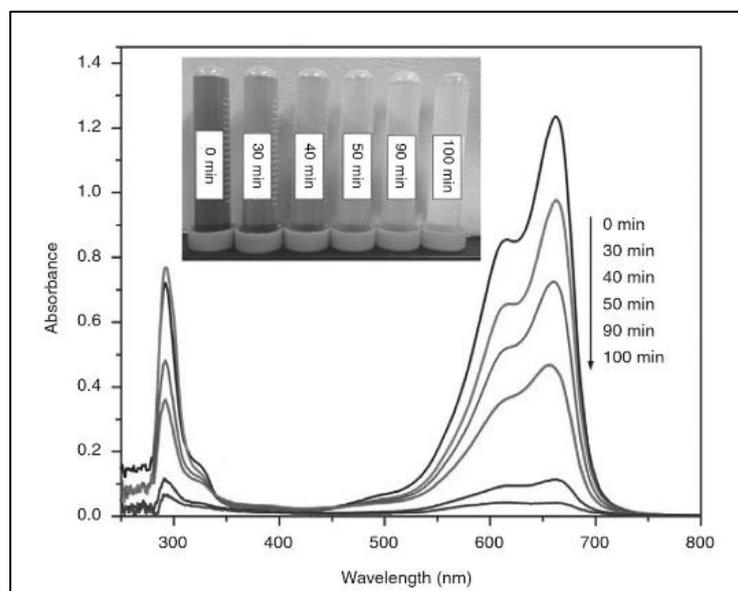


Figura N° 5



Evolución de los espectros de absorción de la solución de azul de metileno después del tratamiento con TiO₂-fotocénálisis de grafeno bajo irradiación de luz visible en diferentes intervalos de tiempo.

Figura N° 5: Evolución de los espectros de absorción de la solución de azul de metileno después del tratamiento con TiO₂



Fuente: Matalo et. Alabama. pag 209, 2002

Matalo et. Alabama. pág 209, 2002 estudiaron la degradación fotocatalítica de 4 pesticidas solubles en agua (diurón, imidacloprid, formetanato y metomilo) a escala piloto en 2 sistemas bien definidos de especial interés porque la luz ultravioleta solar natural se usó como: fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y fotocatalisis homogénea por foto-fenton. La eliminación completa de los compuestos originales y aproximadamente el 90% de la mineralización se obtuvo con todos los pesticidas probados; sin embargo, la degradación fotocatalítica del compuesto de metomilo fue un poco más difícil con ambos tratamientos.

Recientemente, Módenes et. Alabama (2012) investigaron el rendimiento de un tratamiento de efluente textil basado en el proceso de foto-fenton utilizando fuentes de luz solar y artificial en los parámetros operativos como pH, Fe^{+2} y H_2O_2 . La eliminación de la demanda química de oxígeno y la decoloración se estimó optimizando el proceso de foto-Fenton. Las condiciones óptimas del proceso de foto-fenton se alcanzaron a valores de concentración de $0.05\text{ g }Fe^{+2} / L$ y $6\text{ g }H_2O_2 / L$ y pH 3 para fuentes de luz solar y artificial. La mayor demanda química de oxígeno y la decoloración se obtuvieron en un rango de pH 2-3. Se detectaron bajas cantidades de peróxido residual y hierro en el efluente tratado, que se encontraba bajo los límites prescritos de descarga. Se estimó un costo operacional de 6.85 dólares por m^3 de efluente tratado utilizando la irradiación solar. La eliminación de contaminantes orgánicos residuales se llevó a cabo a partir de las aguas residuales cosméticas mediante procesos de oxidación foto-Fenton. Se investigaron varios parámetros de optimización para la degradación del colorante del agua residual y un pH de 3, $1\text{ ml } / L$ de H_2O_2 , $0,7\text{ g } / L$ de Fe^{+2} y Fe^{+3} , y 40 minutos de tiempo de contacto fueron adecuados para la eliminación máxima. Las sustentaciones muestran que la eficiencia de remoción fue superior al 95%.

1.2.3.4. Procesos de oxidación avanzada (POAs)

La fotoquímica es el estudio de las reacciones químicas inducidas por la luz. Como el sol es la fuente de luz más abundante, es obvio que contribuiría significativamente a las reacciones fotoquímicas. Aunque el principio de la fotoquímica es generalmente entendido, el problema radica en la identificación de aplicaciones económicamente viables. La fotoquímica se aplica a menudo para la degradación de contaminantes orgánicos en el medio ambiente, y la fotocatalisis es una de esas aplicaciones. Las reacciones fotoquímicas asistidas por la luz solar son, por lo tanto, muy importantes con respecto a la remediación ambiental. Los AOP son métodos emergentes y prometedores que generan radicales hidroxilos ($^{\circ}OH$) potentes y no selectivos como especies oxidantes. La característica común de los AOP es la generación de radicales ($^{\circ}OH$) que pueden atacar a casi todas las moléculas orgánicas, lo que lleva a la completa mineralización de estas moléculas orgánicas en dióxido de carbono y agua o la formación de intermediarios más biodegradables.

El radical ($^{\circ}OH$) es un oxidante muy fuerte, con el potencial de oxidación justo por debajo del fluoruro, cuando la luz solar se utiliza para la generación del radical $-OH$, puede denominarse fotocatalisis solar o, más generalmente, AOP solares.

Hay varias vías para generar las especies oxidantes deseadas. Algunos de ellos son reactivos de sistemas de ozonización (O_3 combinado con H_2O_2 , UV o ambos) H_2O_2 / UV que contienen sal

ferrosa y H₂O₂, foto-Fenton con UV o luz solar, proceso sono-Fenton con ultrasonido, proceso heterogéneo de Fenton con hierro en el sólido Fase, y fotocátalisis de semiconductores (CHAKRABARTI, S., 2018, pag. 8)

1.2.4. Marco Conceptual

1.2.4.1. Turbidez

Según Romero, J. (2009) La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de esta. La turbidez en una agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales ya sea orgánicas o inorgánicas, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia, organismos planctónicos y microorganismos.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y los resultados trabajan con una unidad de turbidez nefelométrica (UTN). Por medio de este método se manda un rayo de luz y se cuantifica cuanto de esa luz que se envió se devuelve por problemas de turbiedad. (Romero, J. 2009, Pág 108).

1.2.4.2. Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. Por otro lado el término color se refiere al color verdadero del agua (cuando se remueve la turbidez), la unidad de medida correspondiente a este parámetro es: UTP (Unidades de platino y cobalto) y se acostumbra medirlo junto con el pH, pues la intensidad del color depende de este último. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH. Sin embargo, la remoción del color es una función importante en el tratamiento de agua, ya que permite evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso utilizado para su remoción (Romero, J. 2009, Pág 109-110).

1.2.4.3. Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el

agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquiera cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por esta razón, el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimado rápido del contenido de sólidos disueltos. Por ejemplo el agua destilada fresca tiene una conductividad de 0,5 – 2 $\mu\text{mho/cm}$ y aumenta, según el periodo de almacenamiento, por la absorción de CO_2 y amoníaco, a valores de 2-4 $\mu\text{mho/cm}$. La pureza de aguas destiladas y desmineralizadas puede ser controlada mediante la determinación de la conductividad (Romero, J. 2009, Pág 114-115).

1.2.4.4. Radiación (Fotones y ondas)

En la descripción de la luz la unidad de energía más conveniente para utilizar es el electrón voltio (eV). Un eV es la energía ganada por un electrón que se mueve por un voltaje positivo de un voltio (V). La luz visible está compuesta por fotones con energía desde los 2 eV hasta los 3 eV. Esta relación es inversamente proporcional, ya que a medida que aumenta la energía de la luz, la longitud de onda disminuye. (Ricardo, Contreras, 2007, pag.17).

Para esta investigación se ha trabajado con un longitud de onda de 315 nm, la cual es óptima ya que logra fotoexcitar al catalizador.

1.2.8. Marco Legal

En el país, sólo se realiza el tratamiento del 29,1% de las aguas residuales domésticas urbanas, a través de 143 plantas de tratamiento, vertiéndose el resto a los cauces de los ríos, lagos, y al mar. Es por ello que se establecen disposiciones y una serie de criterios en el vertido de agua residual para su posterior tratamiento en la regeneración de agua (Resolución Ministerial N° 021-2009-VIVIENDA). Los parámetros se pueden observar en la siguiente figura.

Figura N° 6: Parámetros y límites para la reutilización de aguas para usos industriales, según Resolución Ministerial N° 021-2009-Vivienda

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

Fuente: Resolución Ministerial N° 021-2009- Vivienda

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general

¿El empleo de $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en el agua residual textil real logrará degradar el color y la turbidez?

1.4.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las condiciones que debe tener el sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales?
- ¿Cuál es el nivel de degradación del color y la turbidez que se logra con la aplicación de un sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales?

1.5 Justificación del estudio

Emplear un sistema de tratamientos para las aguas residuales producto de las industrias textiles, brindando un seguimiento de los parámetros del sistema fotocatalítico y de los colorantes mediante técnicas de POA, nos permite evidenciar los niveles de reducción del color y la turbidez comparando así también la reducción óptima de los tiempos.

El proceso de sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ por radiación artificial usando un reactor fotocatalítico, un proceso de oxidación que degrada los niveles de color y turbidez de las aguas residuales productos del sector textil, resultando ser una mejor alternativa ambiental, así mismo, este método no es selectivo ya que degrada todos los compuestos orgánicos y

patógenos presente en el cuerpo d agua. Mediante éste método usando este sistema, lograremos escoger cuales fueron los que tuvieron un mejor resultado en el tiempo, con respecto a la degradación del color y la turbidez, tomando en cuenta los tiempos del desarrollo del proceso.

En resumen, la finalidad de este estudio es degradar el color y turbidez presente en estas aguas residuales mediante un sistema fotocatalítico, empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$, además de ello, que este es un tratamiento el cual se puede aplicar antes del vertimiento de estas aguas hacia los ríos, generando un impacto ambiental positivo en los ecosistemas bióticos y abióticos, manteniendo el equilibrio ambiental en los lugares donde fluye el caudal de estas aguas.

1.6 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

- El color y la turbidez del agua residual textil real se logra degradar empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico.
- **1.5.2 Hipótesis específicas**
- El sistema fotocatalítico con las dosis eficientes de $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ apropiada para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales.
- La aplicación de un sistema fotocatalico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ degrada el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales de manera significativa.

1.7 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Degradar el color y la turbidez de un agua residual textil real empleando reactivos $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico.

1.5.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Evaluar las dosis eficientes de $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un sistema fotocatalítico para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales.
- Cuantificar los niveles de degradación de color y turbidez en aguas residuales textil real aplicando un sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$

II. MÉTODO

2.1 Diseño de la investigación

2.1.1 Tipo de metodología

SANPIERE indica que un estudio experimental es aquel que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (1996, p. 160.)

2.1.2 Nivel de investigación

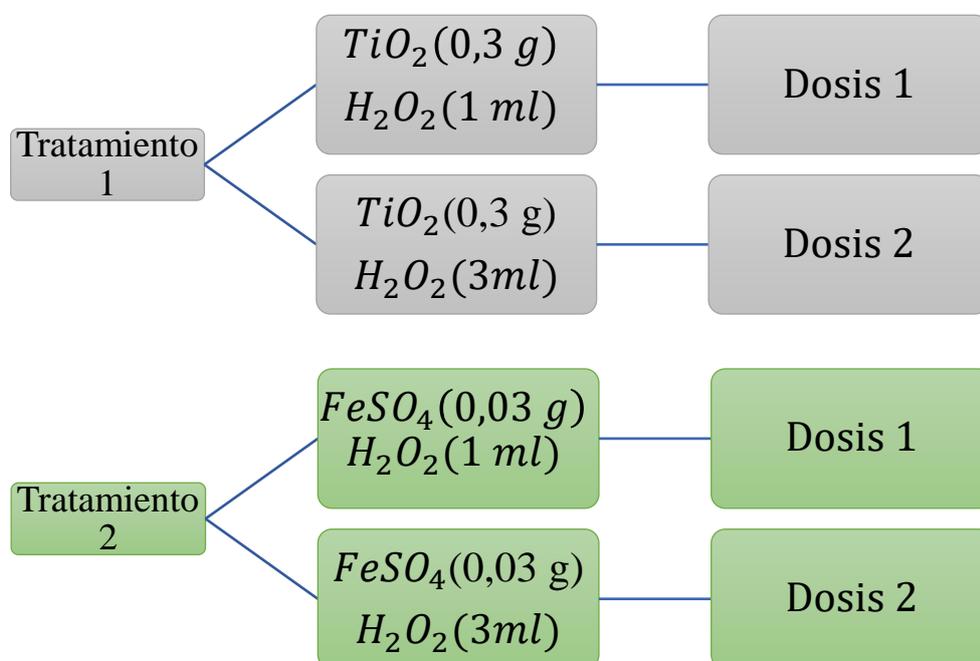
La presente investigación tiene como nivel de investigación aplicada, ya que la investigación se basa en teorías e investigaciones anteriores a estas, con el fin de definir y desarrollar el sistema planteado.

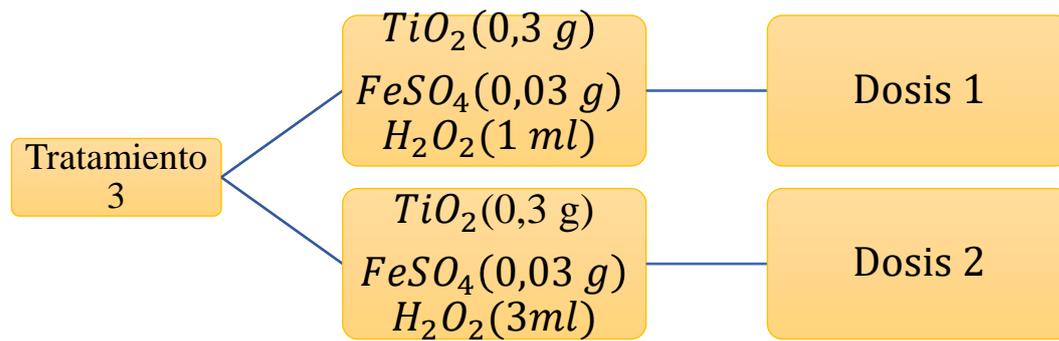
2.1.3 Enfoque de investigación

El enfoque del estudio de esta investigación es cuantitativo, porque se van a recoger y analizar datos cuantitativos sobre las variables. SANPIERE indica que el enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, con base en la medición numérica y el análisis estadístico. (1996, p. 55.)

2.1.4 Diseño experimental

A continuación, el diseño experimental de la presente investigación:





Fuente: Elaboración propia

2.2 Variables, Operacionalización

2.2.1 Variables

Variable Independiente: Reactivos $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$

Variable Dependiente: Degradación de color y turbidez

2.2.2 Operacionalización de las variables

Cuadro n° 1 *Matriz de Operacionalización de las variables*

Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ en un reactor fotocatalítico – Lima 2018

Problema General	Hipótesis General	Objetivo Genel	Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
¿El empleo de $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ en el agua residual textil real logrará degradar el color y la turbidez?	El color y la turbidez del agua residual textil real se logra degradar empleando $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ en un reactor fotocatalítico	Degradar el color y la turbidez de un agua residual textil real empleando reactivos $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ un reactor fotocatalítico.	V. Independiente.	Dosis	Concentración de Catalizadores	ordinales
			Reactivos $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$			
Problemas específicos	Hipótesis específicas	Objetivos específicos	V. Dependiente.			
¿Cuáles son las condiciones que debe tener el sistema fotocatalítico con $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales?	el sistema fotocatalítico con las dosis eficientes de $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ apropiada para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales	Evaluar las dosis eficientes de $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ en un sistema fotocatalítico para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales	degradación de color y turbidez	Características fisicoquímicas	pH Conductividad Eléctrica	ordinales
				Concentraciones	Porcentaje de degradación de Color	ordinales
¿Cuál es el nivel de degradación del color y la turbidez que se logra con la aplicación de un sistema fotocatalítico con $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales?	la aplicación de un sistema fotocatalítico con $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$ degrada el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales de manera significativa	Cuantificar los niveles de degradación de color y turbidez en aguas residuales textil real aplicando un sistema fotocatalítico con $TiO_2/FeSO_4/H_2O_2$			Porcentaje de degradación de turbidez	ordinales

Fuente. Elaboración propia

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

Se consideró como población a los volúmenes de agua almacenados en los canales dentro de la planta industrial, después de pasar por todos los procedimientos y antes de ser expulsadas hacia el Río Rímac, esta es la etapa en donde se colecta la muestra para ser posteriormente analizada y tratada.

2.3.2 Muestra

Para el tratamiento y los procesos experimentales se recopiló un total de 15 litros de agua residual, correspondiente a la última etapa del proceso de teñido en la industria textil. La toma de estas muestras se realizó considerando el Protocolo Nacional de Monitoreo - resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI-DM (protocolos de monitoreo de efluentes líquidos y emisiones atmosféricas).

2.4 Técnicas, Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas

Como técnica de recopilación de datos para el estudio fue la clasificada como observación directa, que muestra un comportamiento confiable y valido (Behar, 2008, pag.68)

Para recolectar la muestra se siguieron los siguientes pasos:

- Se coordinó con los máximos representantes legales de la industria textil, para que me permitieran el ingreso a planta. Posteriormente a la autorización para el acceso, se realizó un recorrido hasta la zona y/o punto de toma de muestra.
- Una vez ubicados en el punto de la toma de muestra, se procedió al implemento de los EPP's correspondientes, con el fin de evitar accidentes y la posible contaminación de las muestras.
- Finalmente se realizó homogenización de las muestras extraídas y se extrajo en un envase de plástico totalmente limpio.

Ilustración 7: Instalaciones de la Industria textil



Fuente: Propia

2.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de datos se empleó el uso de “Ficha de recolección de datos”, la cual se muestra en el anexo 2, en la se registraron los resultados de los tratamientos y sus repeticiones, se recurrió a este tipo de registro, debido que es confiable y valido.

2.4.3 Metodología del experimento

a) Ubicación de experimento

Cuando se obtienen las muestras, posteriormente el proyecto se desarrolla en el laboratorio de Biotecnología de la UCV Lima Este.

b) Duración del experimento.

La duración del experimento será de 2 meses, el inicio en setiembre y el término en noviembre.

c) Materiales y equipos

Cuadro n°2: Equipos y materiales utilizados

REACTOR FOTOCATALÍTICO



COLORIMETRO



BALANZA ANALÍTICA



TURBIDIMETRO



pH- METRO

VASOS PRECIPITADOS



PIPETA



PROPIPETA



BAGUETA



H₂SO₄



TiO ₂	FeSO ₄
	
H ₂ O ₂	
	

Fuente: Elaboración propia

2.4.4 Procedimiento

2.4.4.1 Adecuación de la muestra para el tratamiento

Acidificación de la muestra

Antes de agregar los agentes catalizadores y el agente oxidable correspondiente para cada tratamiento, a la muestra recopilada, se acidifica, añadiéndole H₂SO₄, en cantidades controladas, el rango ideal es de 2-3, finalmente el pH se redujo a 2,55 en toda la muestra, el cual es el rango en donde ocurre una mayor eficiencia del tratamiento fotocatalítico.

Figura N° 8: Acidificación de la muestra



Fuente: Elaboración Propia

2.4.4.2 Pesaje del TiO_2 y FeSO_4

Se Procede a pesar el TiO_2 y el FeSO_4 para cada tratamiento, en la balanza analítica de la universidad.

Figura N° 9: PESAJE DE LOS CATALIZADORES



Fuente: Elaboración Propia

2.4.4.3 Toma del oxidante H_2O_2

Se procedió tomar la dosis del H_2O_2 para cada tratamiento, con el uso de la pipeta y la

propipeta.

Figura N° 10: Toma volumétrica del oxidante



Fuente: Elaboración Propia

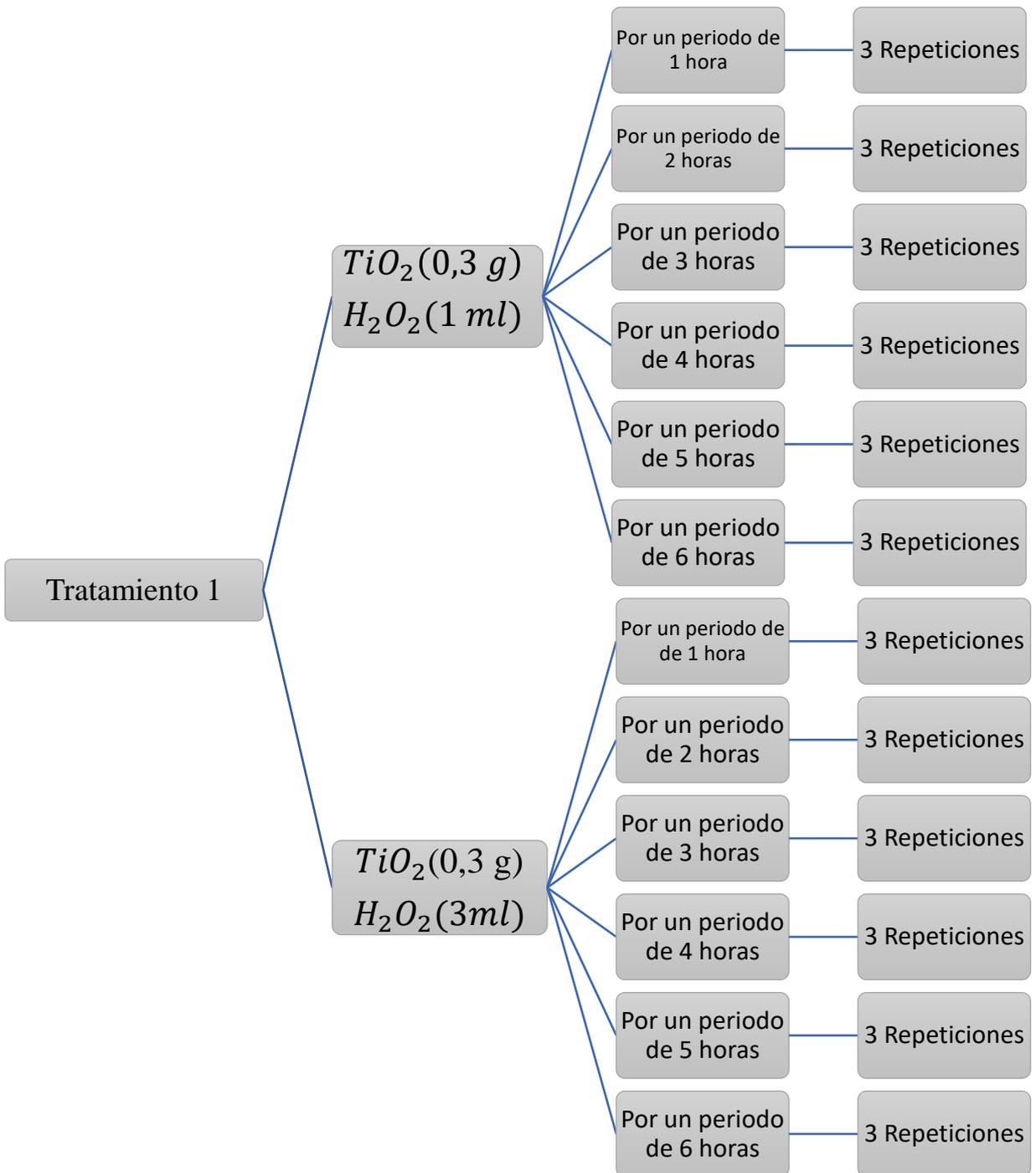
2.4.4.4 Tratamientos

Cuadro n° 1: Dosis generales de los reactivos

TiO ₂ (g)	FeSO ₄ (g)	H ₂ O ₂ (ml)
0,3	0,03	1ml , 3 ml

Este tratamiento consiste en colocar, en el reactor fotocatalítico los vasos precipitados con las dosis correspondientes al tratamiento aplicado. Así lo haremos por un rango de tiempo, es decir desde la hora 1 hasta llegar a la hora 6. Todos los tratamientos se harán por triplicado, es decir que con las dos dosis del H₂O₂ (1 ml y 3 ml) en cada tratamiento, se obtendrán un total de 36 muestras, y como se tienen 3 tratamientos al final contaríamos con 108 muestras en general, todos los tratamiento expuestos a una radiación UV de 315nm.

A continuación, un ejemplo gráfico de lo que se realizaría por cada tratamiento.



□ **Tratamiento 1 (T1):**

1.1 Se agregará una dosis de 0,3 g/L de TiO_2 ; 1 ml/L de H_2O_2 como oxidante.

1.2 Se agregará una dosis de 0,3 g/L de TiO_2 ; 3 ml/L de H_2O_2 como oxidante.

□ **Tratamiento 2 (T2):**

2.1 Se agregará una dosis de 0,03 g/L de FeSO_4 ; 1 ml/L de H_2O_2 como oxidante.

2.2 Se agregará una dosis de 0,03 g/L de FeSO_4 ; 3 ml/L de H_2O_2 como oxidante.

□ **Tratamiento 3 (T3):**

3.1 Se agregará una dosis de 0,3 g/L de TiO_2 ; 0,03 g/L de FeSO_4 y 1 ml/L de H_2O_2 como oxidante y estará expuesto a un periodo de 6h a una radiación UV de 315 nm.

3.2 Se agregará una dosis de 0,3 g/L de TiO_2 ; 0,03 g/L de FeSO_4 y 3 ml/L de H_2O_2 como oxidante y estará expuesto a un periodo de 6h a una radiación UV de 315 nm.

Respecto a los niveles de la dosis de los parámetros de operación, fueron establecidos considerando los antecedentes y artículos científicos.

Figura N° 11: Muestras dentro del reactor fotocatalítico

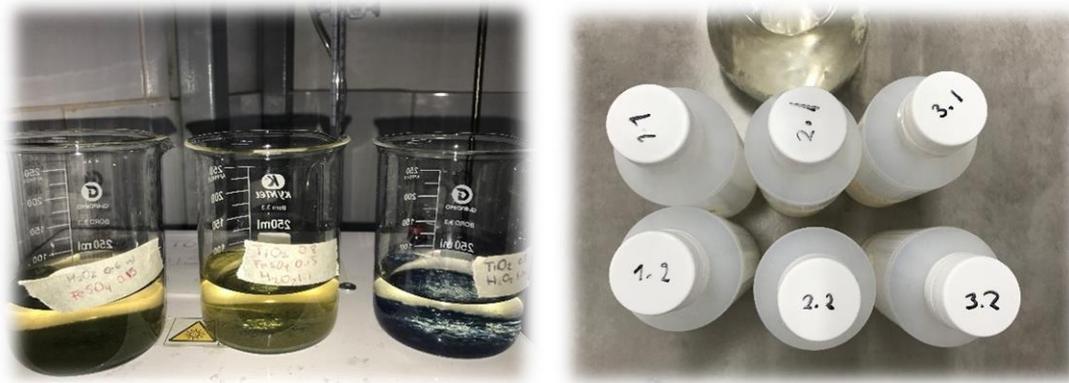


Fuente: Elaboración Propia

2.4.4.5 Almacenamiento de las muestras después del tratamiento

Se almacenaron las muestras en envases de plástico y se mantuvieron en un sistema de refrigeración, con el objetivo de lograr buenos resultados, para degradar el color y turbidez.

Figura N° 12: Almacenamiento de muestras

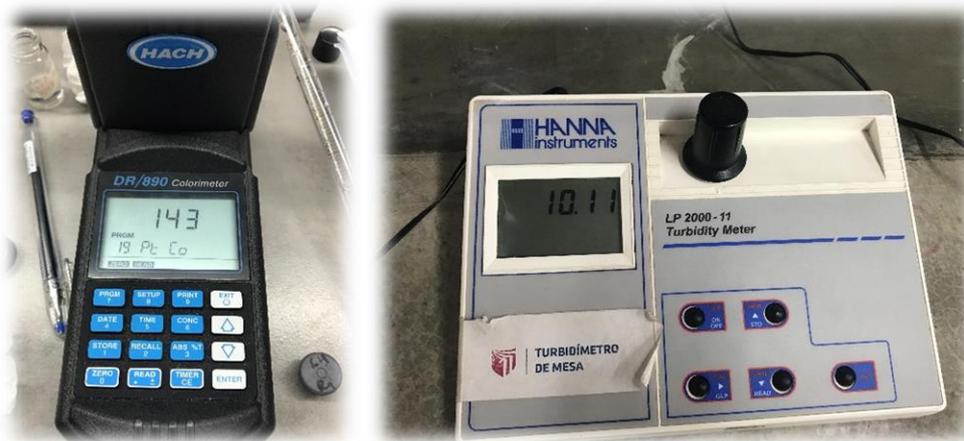


Fuente: Elaboración Propia

2.4.4.5 Medición del Color y turbidez

Se procedió a medir el color y la turbidez de los diferentes tratamientos.

Figura N° 13: Medición del color y la turbidez



Fuente: Elaboración Propia

2.5 Métodos de análisis de datos

Se usaron los siguientes softwares para el análisis obtenido de los parámetros mencionados: Microsoft Excel (tablas, gráficos) y Minitab.

Posteriormente para determinar el grado de eficiencia con respecto a la reducción de color y turbidez, se logró a través del uso la fórmula de eficiencia.

$$\text{Eficiencia de disminución}(\%) = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

2.6 Recojo de datos

Se almacenaron las muestras en envases de material adecuado y se etiquetaron cada una de ellas de acuerdo al tratamiento aplicado, estas muestras se analizaron en el laboratorio de la universidad Cesar vallejo Lima Este para los siguientes parámetros (pH, Turbidez, conductividad, color, espectrofotómetro).

2.6.1 Proceso de análisis de datos

Se aplicó el programa Microsoft Excel para representar los datos iniciales y finales de forma gráfica, estos datos fueron tomados desde la ficha de recopilación de datos. .

Luego se realizó el análisis estadístico con el software Minitab.

2.6.2 Caracterización inicial de la muestra de agua

Para determinar el nivel de colorante y turbidez degradado, antes y después se analizaron todos los parámetros, para posteriormente compararlos con los resultados finales.

Cuadro nº 2 Condiciones originales de la muestra.

Caracterización de la muestra de agua contaminada			
Turbidez (NTU)	pH	Color UTP	Conductividad (uS)
11.54	3.44	307	2.59

2.7 Aspectos éticos

El trabajo de investigación es original, así mismo se cumple con los valores morales de veracidad y cumplimiento en la ejecución del trabajo y de los resultados.

Como Ingeniera ambiental el trabajo desarrollado está en beneficio del medio ambiente.

III. RESULTADOS

3.1 Resultados de la caracterización de la muestra de agua con los tratamientos

3.1.1 Tratamiento 1

Cuadro nº 3: Caracterización empleando TiO_2 (0,3g) y H_2O_2 (1 ml)

TiO2	H2O2
0,3	1

Repeticiones	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)		pH		Color		Conduct. (uS)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	inicial	final
1ra Repeticion	1	11,54	5,44	2.55	2,34	307	154	2.59	4,49
	2	11.54	1,58	2.55	2,33	307	101	2.59	4,46
	3	11.54	1,03	2.55	2,33	307	110	2.59	4,44
	4	11.54	0,00	2.55	2,32	307	120	2.59	4,46
	5	11.54	0,00	2.55	2,33	307	95	2.59	4,47
	6	11.54	0,00	2.55	2,36	307	43	2.59	4,49
2da Repeticion	1	11.54	4,33	2.55	2,32	307	171	2.59	4,40
	2	11.54	2,24	2.55	2,32	307	100	2.59	4,45
	3	11.54	0,80	2,55	2,32	307	109	2.59	4,43
	4	11.54	0,01	2.55	2,32	307	106	2.59	4,50
	5	11.54	0,00	2.55	2,33	307	68	2.59	4,51
	6	11.54	0,00	2.55	2,33	307	37	2.59	4,56
3ra Repetición	1	11,54	4,89	2.55	2,33	307	163	2.59	4,45
	2	11.54	1,91	2.55	2,33	307	101	2.59	4,46
	3	11.54	0,92	2,96	2,33	307	110	2.59	4,44
	4	11.54	0,01	2.55	2,32	307	113	2.59	4,48
	5	11.54	0,00	2.55	2,33	307	82	2.59	4,49
	6	11.54	0,00	2.55	2,35	307	40	2.59	4,53

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro nº 4 Caracterización empleando TiO_2 (0,3g) y H_2O_2 (3ml)

TiO ₂	H ₂ O ₂
0,3	3

Repeticiones	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)		pH		Color		Conduct. (uS)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	incial	final	Inicial	Final
1ra Repeticion	1	11.54	3,60	2.55	2,33	2.59	4,34	307	141
	2	11.54	3,32	2.55	2,32	2.59	4,38	307	134
	3	11.54	0,68	2,55	2,32	2.59	4,40	307	119
	4	11.54	0,00	2.55	2,30	2.59	4,41	307	39
	5	11.54	0,23	2.55	2,34	2.59	4,47	307	67
	6	11.54	0,00	2.55	2,34	2.59	4,50	307	32
2da Repeticion	1	11.54	5,49	2.55	2,34	2.59	4,35	307	191
	2	11.54	3,59	2.55	2,35	2.59	4,38	307	103
	3	11.54	1,17	2,55	2,32	2.59	4,40	307	115
	4	11.54	0,00	2.55	2,30	2.59	4,40	307	39
	5	11.54	0,37	2.55	2,32	2.59	4,49	307	81
	6	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,50	307	17
3ra Repetición	1	11.54	4,55	2.55	2,34	307	4,35	2.59	166
	2	11.54	3,46	2.55	2,34	307	4,38	2.59	119
	3	11.54	0,93	2,55	2,32	307	4,40	2.59	117
	4	11.54	0,00	2.55	2,30	307	4,41	2.59	39
	5	11.54	0,30	2.55	2,33	307	4,48	2.59	74
	6	11.54	0,00	2.55	2,34	307	4,50	2.59	25

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Tratamiento 2

Cuadro nº 5: Caracterización empleando $FeSO_4$ (0,03 g) y H_2O_2 (1ml)

FeSO4	H2O2
0,03	1

Repeticiones	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)		pH		Color		Conduct. (uS)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	inicial	final	Inicial	Final
1ra Repetición	1	11.54	3,84	2.55	2,35	2.59	4,45	307	203
	2	11.54	1,80	2.55	2,35	2.59	4,43	307	211
	3	11.54	1,06	2.55	2,34	2.59	4,44	307	178
	4	11.54	0,00	2.55	2,31	2.59	4,45	307	146
	5	11.54	0,00	2.55	2,35	2.59	4,52	307	165
	6	11.54	0,00	2.55	2,36	2.59	4,54	307	89
2da Repetición	1	11.54	4,46	2.55	2,35	2.59	4,43	307	213
	2	11.54	1,59	2.55	2,35	2.59	4,40	307	197
	3	11.54	0,00	2,55	2,36	2.59	4,42	307	179
	4	11.54	0,00	2.55	2,34	2.59	4,45	307	186
	5	11.54	0,15	2.55	2,34	2.59	4,51	307	165
	6	11.54	0,00	2.55	2,35	2.59	4,53	307	96
3ra Repetición	1	11.54	4,15	2.55	2,35	2.59	4,44	307	208
	2	11.54	1,70	2.55	2,35	2.59	4,42	307	204
	3	11.54	0,53	2,55	2,35	2.59	4,43	307	179
	4	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,45	307	166
	5	11.54	0,08	2.55	2,35	2.59	4,52	307	165
	6	11.54	0,00	2.55	2,36	2.59	4,54	307	93

Fuente: Elaboración propia

Cuadro nº 6: Caracterización empleando $FeSO_4$ (0,03 g) y H_2O_2 (3ml)

FeSO4	H2O2
0,03	3

Repeticiones	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)		pH		Color		Conduct. (uS)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	inicial	final	Inicial	Final
1ra Repetición	TM2-1-T1	11.54	3,84	2.55	2,35	2.59	4,47	307	257
	TM2-1-T2	11.54	1,80	2.55	2,33	2.59	4,46	307	236
	TM2-1-T3	11.54	1,06	2,55	2,34	2.59	4,49	307	170
	TM2-1-T4	11.54	0,00	2.55	2,32	2.59	4,51	307	173
	TM2-1-T5	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,55	307	97
	TM2-1-T6	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,58	307	114
2da Repetición	TM2-2-T1	11.54	4,46	2.55	2,34	2.59	4,49	307	204
	TM2-2-T2	11.54	1,59	2.55	2,33	2.59	4,45	307	198
	TM2-2-T3	11.54	0,00	2,55	2,32	2.59	4,49	307	175
	TM2-2-T4	11.54	0,36	2.55	2,31	2.59	4,51	307	166
	TM2-2-T5	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,59	307	142
	TM2-2-T6	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,61	307	107
3ra Repetición	TM2-2-T1	11.54	4,15	2.55	2,35	2.59	4,48	307	231
	TM2-2-T2	11.54	1,70	2.55	2,33	2.59	4,46	307	217
	TM2-2-T3	11.54	0,53	2,55	2,33	2.59	4,49	307	173
	TM2-2-T4	11.54	0,18	2.55	2,32	2.59	4,51	307	170
	TM2-2-T5	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,57	307	120
	TM2-2-T6	11.54	0,00	2.55	2,33	2.59	4,60	307	111

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Tratamiento 3

Cuadro nº 7: Caracterización empleando TiO_2 (0,3 g), $FeSO_4$ (0,03 g) y H_2O_2 (1ml)

TiO2	FeSO4	H2O2
0,3	0,03	1

Repeticiones	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)		pH		Color		Conduct. (uS)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1ra Repeticion	TM3-1-T1	11.54	4,39	2.55	2,35	2.59	4,43	307	193
	TM3-1-T2	11.54	3,18	2.55	2,32	2.59	4,40	307	180
	TM3-1-T3	11.54	1,23	2.55	2,34	2.59	4,53	307	149
	TM3-1-T4	11.54	0,59	2.55	2,32	2.59	4,49	307	173
	TM3-1-T5	11.54	0,55	2.55	2,33	2.59	4,51	307	147
	TM3-1-T6	11.54	0,53	2.55	2,35	2.59	4,58	307	138
2da Repeticion	TM3-2-T1	11.54	3,72	2.55	2,35	2.59	4,45	307	187
	TM3-2-T2	11.54	4,56	2.55	2,33	2.59	4,41	307	181
	TM3-2-T3	11.54	1,36	2,55	2,33	2.59	4,50	307	160
	TM3-2-T4	11.54	0,00	2.55	2,32	2.59	4,48	307	119
	TM3-2-T5	11.54	0,29	2.55	2,33	2.59	4,54	307	180
	TM3-2-T6	11.54	0,27	2.55	2,35	2.59	4,56	307	130
3ra Repetición	TM3-2-T1	11.54	4,06	2.55	2,35	2.59	4,44	307	190
	TM3-2-T2	11.54	3,87	2.55	2,33	2.59	4,41	307	181
	TM3-2-T3	11.54	1,30	2.96	2,34	2.59	4,52	307	155
	TM3-2-T4	11.54	0,30	2.55	2,32	2.59	4,49	307	146
	TM3-2-T5	11.54	0,42	2.55	2,33	2.59	4,53	307	164
	TM3-2-T6	11.54	0,40	2.55	2,35	2.59	4,57	307	134

Fuente: Elaboración propia

Cuadro nº 8: Caracterización empleando TiO_2 (0,3 g), $FeSO_4$ (0,03 g) y H_2O_2 (3ml)

TiO2	FeSO4	H2O2
0,3	0,03	3

Repeticiones	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)		pH		Color		Conduct. (uS)	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1ra Repetición	TM3-1-T1	11,54	4,17	2,55	2,33	2,59	4,46	307	286
	TM3-1-T2	11,54	4,10	2,55	2,32	2,59	4,43	307	186
	TM3-1-T3	11,54	3,35	2,55	2,32	2,59	4,47	307	177
	TM3-1-T4	11,54	1,59	2,55	2,30	2,59	4,55	307	159
	TM3-1-T5	11,54	0,03	2,55	2,31	2,59	4,57	307	113
	TM3-1-T6	11,54	0,82	2,55	2,32	2,59	4,59	307	143
2da Repetición	TM3-2-T1	11,54	4,17	2,55	2,33	2,59	4,46	307	217
	TM3-2-T2	11,54	3,57	2,55	2,31	2,59	4,44	307	207
	TM3-2-T3	11,54	2,93	2,55	2,32	2,59	4,48	307	169
	TM3-2-T4	11,54	0,47	2,55	2,30	2,59	4,56	307	148
	TM3-2-T5	11,54	0,10	2,55	2,31	2,59	4,58	307	108
	TM3-2-T6	11,54	0,20	2,55	2,31	2,59	4,60	307	122
3ra Repetición	TM3-2-T1	11,54	4,17	2,55	2,33	2,59	4,46	307	252
	TM3-2-T2	11,54	3,84	2,55	2,32	2,59	4,44	307	197
	TM3-2-T3	11,54	3,14	2,96	2,32	2,59	4,48	307	173
	TM3-2-T4	11,54	1,03	2,55	2,30	2,59	4,56	307	154
	TM3-2-T5	11,54	0,07	2,55	2,31	2,59	4,58	307	111
	TM3-2-T6	11,54	0,51	2,55	2,32	2,59	4,60	307	133

Fuente: Elaboración propia

3.2 Resultados del color y la turbidez

3.2.1 Color

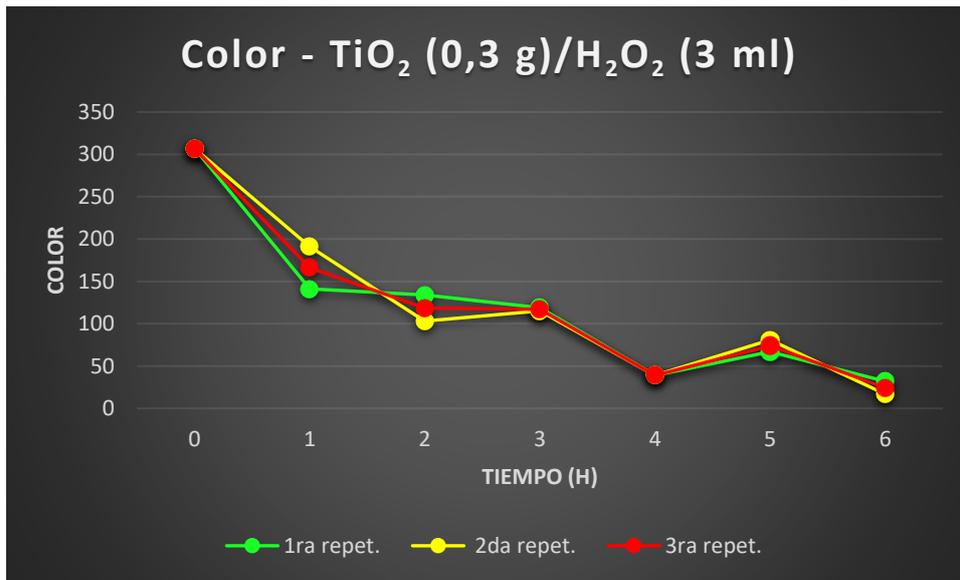
En el cuadro nº9 se menciona los niveles iniciales y finales encontrados en las muestras tratadas, demostrando una amplia reducción de color. El rango mínimo es de 17 siendo el máximo 307 el de la muestra original.

Cuadro nº 9: Resultado mínimo en la reducción del color

TM1	TiO2	H2O2	Color				
	0,3	3	Tiempo	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio Color
			0	307	307	307	307,0
			1	141	191	166	166,0
			2	134	103	119	118,5
			3	119	115	117	117,0
			4	39	39	39	39,0
			5	67	81	74	74,0
			6	32	17	25	24,5

Fuente: Elaboración Propia

Figura nº 14: Representación gráfica de resultados con TiO_2 (0,3 g)/ H_2O_2 (3ml)



Fuente: Elaboración propia.

Como se logra observar en la Fig. nº14, los niveles de color van disminuyendo conforme a los tiempos. En el tiempo correspondiente a la hora número 6, se logra obtener los resultados más bajos, así mismo lo demuestra la fórmula para hallar el grado de eficiencia, correspondiente a este parámetro.

- Eficiencia:

$$\frac{307 - 17}{307} \times 100 = 94\%$$

Teniendo un 94% de eficiencia en la degradación de color, con el Tratamiento-M1, dosis 2.

3.2.2 Turbidez

En el cuadro nº10 menciona los niveles iniciales y finales encontrados en las muestras tratadas, demostrando una alta reducción correspondiente a este parámetro de turbidez, se logra observar también que este proceso termina en la hora 4. Posteriormente el proceso se mantiene en un mismo rango.

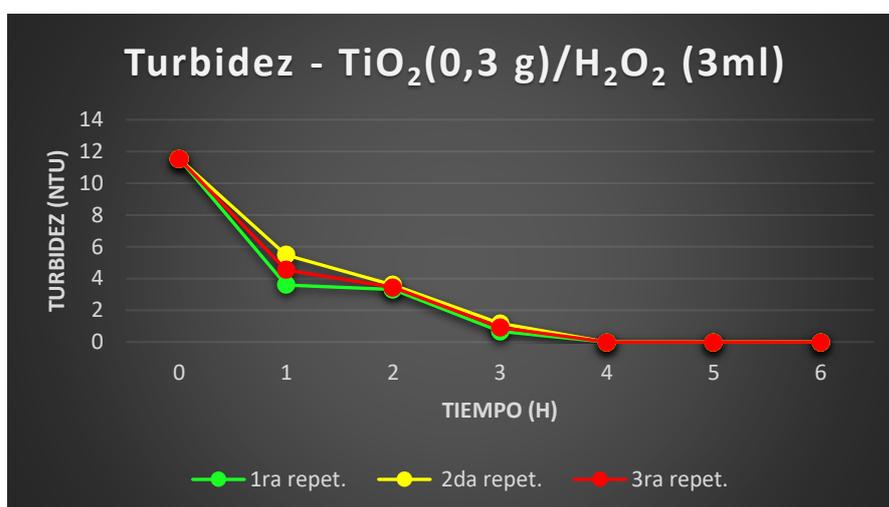
Cuadro nº 10: Representación gráfica de resultados con TiO₂ (0,3 g)/ H₂O₂(3ml)

TM1	TiO2	H2O2		
	0,3	3		
Tiempo (h)	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	
0	11,54	11,54	11,54	
1	3,60	5,49	4,55	
2	3,32	3,59	3,46	
3	0,68	1,17	0,93	
4	0,00	0,00	0,00	
5	0,00	0,00	0,00	
6	0,00	0,00	0,00	

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro

Figura nº 15: Resultados mínimos en la reducción de la turbidez con TiO₂ (0,3 g) y H₂O₂ (3ml)



Fuente: Elaboración Propia

En la fig. nº 15 se puede observar que la turbidez disminuye en relación al tiempo, el tiempo en el que la turbidez llega a 0,00 NTU y se hace constante, es el tiempo de 4 horas, es por ello que se considera el tiempo final.

- Eficiencia

$$\frac{11,54 - 0}{11,54} \times 100 = 100\%$$

Teniendo un 100% de eficiencia en la degradación de la Turbidez.

3.3 Resultados método estadístico

A continuación, se muestran los resultados obtenidos por medio del programa aplicado para el análisis de varianza: ANOVA.

3.1. Color

3.1.1. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3 g) y peróxido de hidrogeno (1.0 ml).

Cuadro nº 11: Valores de color del dióxido de titanio (0.3 ml) y peróxido de hidrogeno (1.0 ml).

Colorimetro				
	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio
Muestra Ori.	307	307	307	307
1 Hr.	154	171	163	162.5
2 Hr.	101	100	101	100.5
3 Hr.	110	109	110	109.5
4 Hr.	120	106	113	113
5 Hr.	95	68	82	81.5
6 Hr.	43	37	40	40
Promedio	103.83	98.50	101.17	101.17

Cuadro nº 12: ANOVA de Color

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	24348.9	4869.79	93.25	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	626.7	52.22		
TOTAL	17	24975.6			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	7.14				
PROMEDIO	101.17				

Se puede observar en el cuadro nº 12 un coeficiente de variación del 7.14%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM1 (dióxido de titanio - 0.3 g y peróxido de hidrogeno - 1.0 ml) influye en el valor de color.

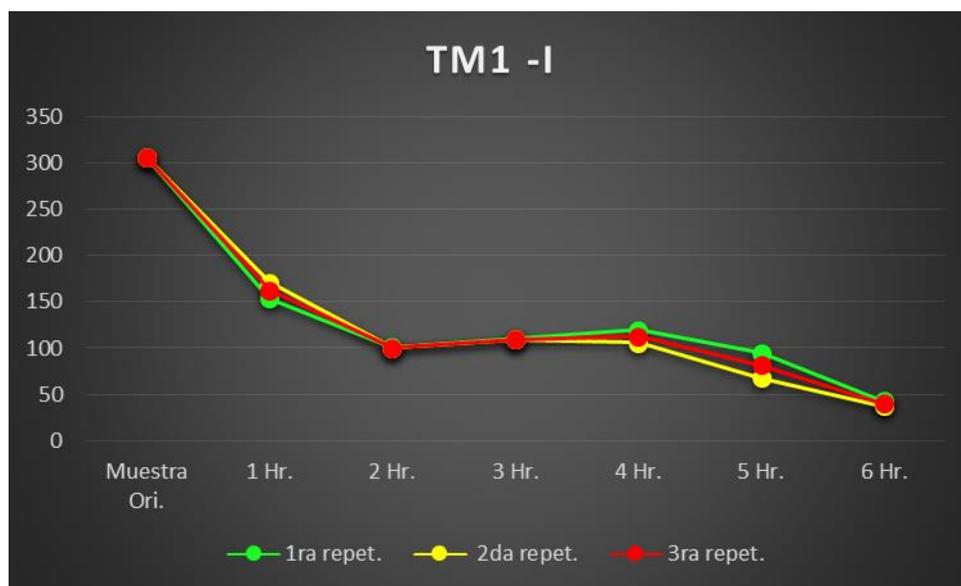
Ecuación 13: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de color

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	162.67	A
R4	113	B
R3	109	B
R2	100	BC
R5	81.67	C
R6	40	D

En el cuadro n° 13 : Se puede apreciar 4 rangos de significación A,B,C y D, con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1 hora (R1) con el máximo valor de 162.67, en el rango B y C se tiene R4, R3, R2 y R5 los cuales presentan valores similares entre 113 y 81. Finalmente en el rango D se tiene a la R6 el cual presenta un valor de 40.

Color - TiO₂/H₂O₂ (1)

Gráfico n° 16: Comportamiento del color –TM1



En el gráfico n° 16 se puede apreciar una disminución del indicador color a través de proceso de fotocatalítico el cual se realizó con en un periodo de tiempo de 1 hora, por lo tanto se puede afirmar que el catalizador TM1 disminuye significativamente el indicador color en un 75% aproximadamente.

3.1.2. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3 g) y peróxido de hidrogeno (3.0 ml).

En el cuadro n° 14 se presenta los valores de color del dióxido de titanio (0.3 g) y peróxido de hidrogeno (3.0 ml).

Cuadro n^o 14: Valor de color

Colorimetro	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio
Muestra Ori.	307	307	307	307
1 Hr.	141	191	166	166
2 Hr.	134	103	119	118.5
3 Hr.	119	115	117	117
4 Hr.	39	39	39	39
5 Hr.	67	81	74	74
6 Hr.	32	17	25	24.5
Promedio	88.67	91.00	89.83	89.83

Cuadro n^o 15: ANOVA de color

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	43356	8671	53.38	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	1949	162		
TOTAL	17	45306			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	14.18				
PROMEDIO	89.83				

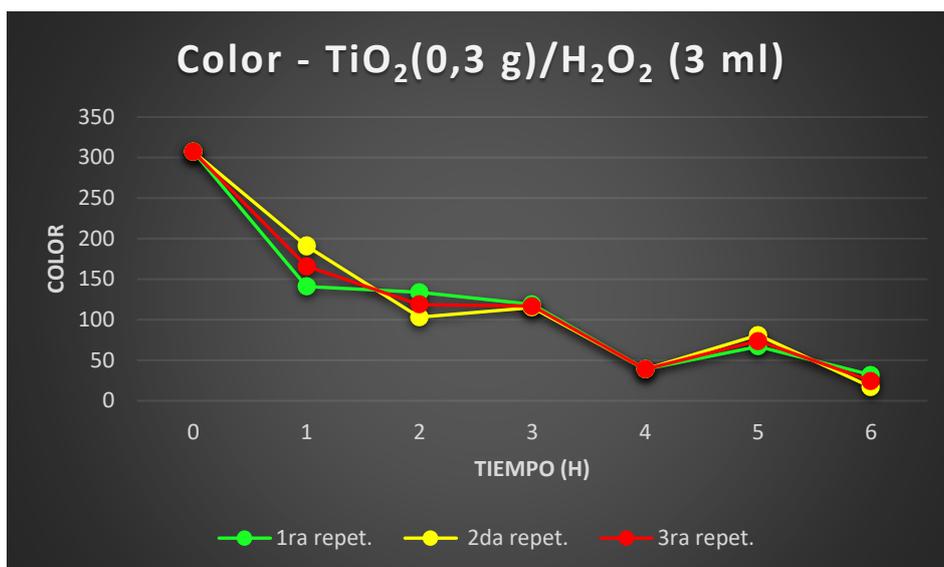
Se puede observar en el cuadro n^o 15 un coeficiente de variación del 14.18%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM1 (dióxido de titanio - 0.3 g y peróxido de hidrogeno - 3.0 ml) influye en el valor de color.

Cuadro n^o 16: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de color

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	166	A
R2	118.7	B
R3	117	B
R5	74	C
R4	39	D
R6	24.67	D

En el cuadro n^o16 : Se puede apreciar 4 rangos de significación A,B,C y D, con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1 hora (R1) con el máximo valor de 166, en el rango B y C se tiene R3, R2 y R5 los cuales presentan valores similares entre 118 y 74. Finalmente en el rango D se tiene a la R6 el cual presenta un valor de 24.

Gráfico nº 17: Comportamiento del color



3.1.3. Tratamiento a base de sulfato de hierro (0.03 g) y peróxido de hidrogeno (1.0 ml).

Cuadro nº17: Valores de color.

Colorimetro	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio
Muestra Ori.	307	307	307	307
1 Hr.	203	213	208	208
2 Hr.	211	197	204	204
3 Hr.	178	179	179	178.5
4 Hr.	146	186	166	166
5 Hr.	165	165	165	165
6 Hr.	89	96	93	92.5
Promedio	165.33	172.67	169.00	169.00

Cuadro nº 18: ANOVA de color

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	26073.6	5214.72	64.29	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	973.3	81.11		
TOTAL	17	27046.9			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	5.33				
PROMEDIO	169.00				

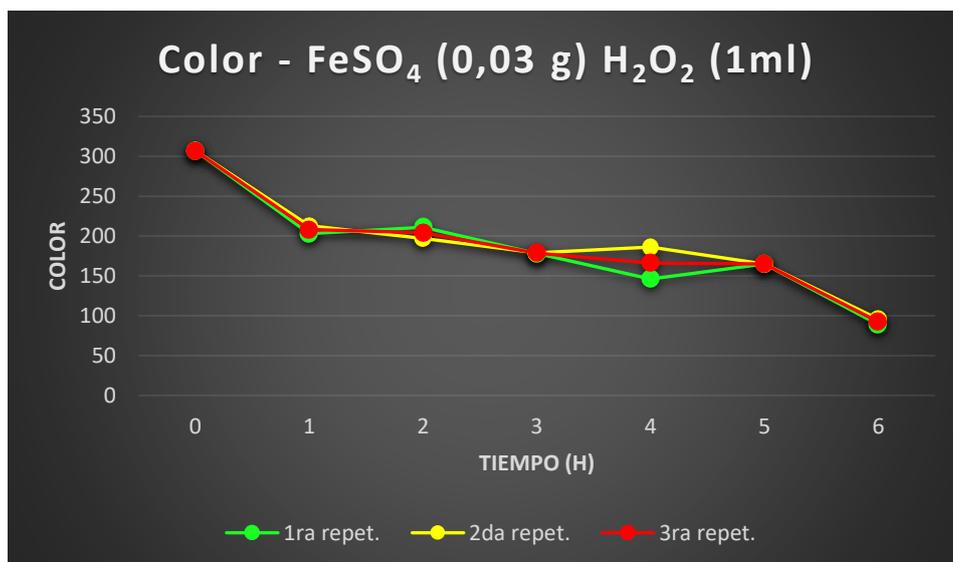
Se puede observar en el cuadro nº18 un coeficiente de variación del 5.33%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM2 (sulfato de hierro - 0.03 g y peróxido de hidrogeno - 1.0 ml) influye en el valor de color.

Cuadro nº 19: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de color

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	208	A
R2	204	A
R3	178.66	B
R4	166	B
R5	165	B
R6	92	C

En el cuadro nº 19 : Se puede apreciar 3 rangos de significación A, B y C con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1 hora (R1) y 2da hora (R2) con el máximo valor de 208 y 204 respectivamente, en el rango B y C se tiene R3, R4 y R5 los cuales presentan valores similares entre 178 y 165. Finalmente en el rango C se tiene a la R6 el cual presenta un valor de 92.

Gráfico nº 18: : Comportamiento del color



3.1.4. Tratamiento a base de sulfato de hierro (0.03 g) y peróxido de hidrogeno (3.0 ml).

Cuadro nº 20: Valores de color

Colorimetro	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio
Muestra Ori.	307	307	307	307
1 Hr.	257	204	231	230.5
2 Hr.	236	198	217	217
3 Hr.	170	175	173	172.5
4 Hr.	173	166	170	169.5
5 Hr.	97	142	120	119.5
6 Hr.	114	107	111	110.5
Promedio	174.50	165.33	169.92	169.92

Cuadro nº 21: ANOVA de color

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	35852	7170	26.88	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	3201	266		
TOTAL	17	39053			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	9.61				
PROMEDIO	169.92				

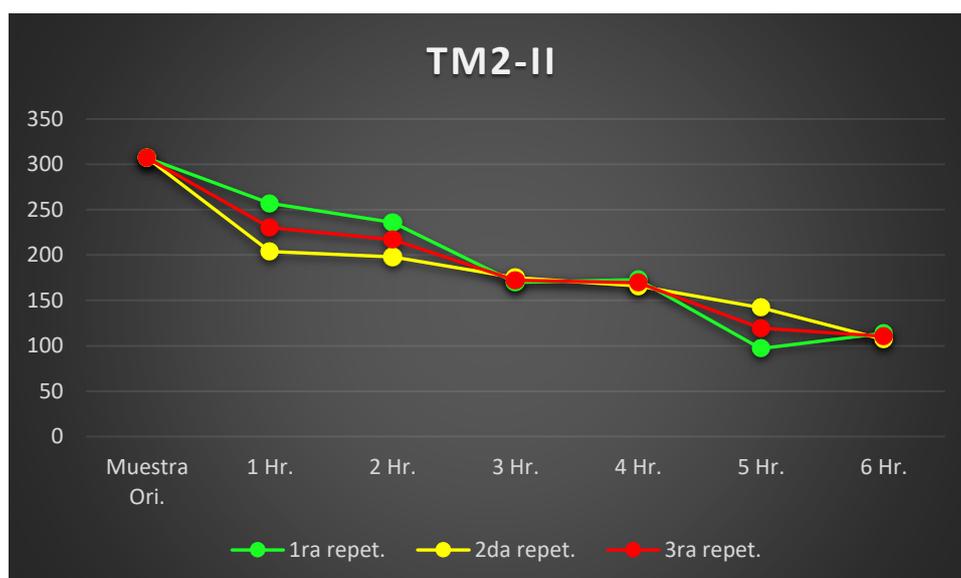
Se puede observar en el cuadro nº21; un coeficiente de variación del 9.61%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM2 (sulfato de hierro - 0.03 g y peróxido de hidrogeno - 3.0 ml) influye en el valor de color.

Cuadro nº 22: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de color.

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	230	A
R2	217	AB
R3	172	BC
R4	169	C
R5	119	D
R6	110	D

En el cuadro nº22: Se puede apreciar 4 rangos de significación A, B, C Y D con respecto al rango A y B se tiene a la Repetición de 1 hora (R1) y 2da hora (R2) con los máximos valores entre 230 y 217 respectivamente, en el rango B y C se tiene R3 y R4 los cuales presentan valores similares entre 172 y 169. Finalmente, en el rango D se tiene a la R6 y R5 el cual presenta valores entre 119 y 110.

Gráfico nº 19: Comportamiento del color



3.1.5. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3 g), sulfato de hierro (0.03 g) y peróxido de hidrogeno (1.0 ml).

Cuadro nº 23 Valores de color:

<u>Colorimetro</u>	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio
Muestra Ori.	307	307	307	307
1 Hr.	193	187	190	190
2 Hr.	180	181	181	180.5
3 Hr.	149	160	155	154.5
4 Hr.	173	119	146	146
5 Hr.	147	180	164	163.5
6 Hr.	138	130	134	134
Promedio	163.33	159.50	161.42	161.42

Cuadro nº 24: ANOVA de color

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	6683	1336.5	7.59	0.002
ERROR EXPERIMENTAL	12	2114	176.2		
TOTAL	17	8797			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	8.22				
PROMEDIO	161.42				

Se puede observar en el cuadro nº24 un coeficiente de variación del 8.22%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para

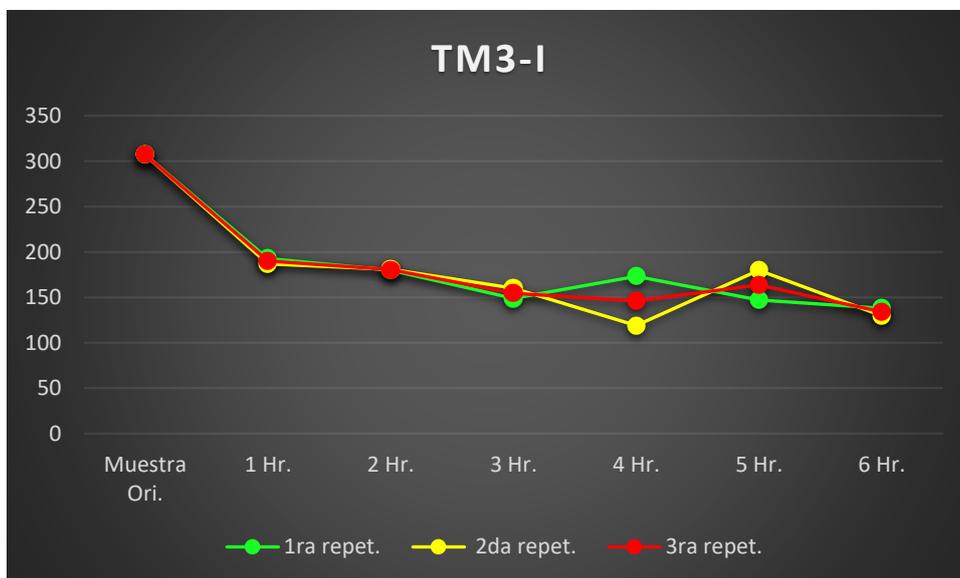
todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM3 (dióxido de titanio – 0.3 g, sulfato de hierro - 0.03 g y peróxido de hidrogeno - 1.0 ml) influye en el valor de color.

Cuadro nº 25:: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de color

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	190	A
R2	180	AB
R5	163	ABC
R3	154	ABC
R4	146	BC
R6	134	C

En el cuadro nº 25: Se puede apreciar 3 rangos de significación A, B, C con respecto al rango A y B se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1) y 2da hora (R2) con los máximos valores entre 190 y 180 respectivamente, en el rango ABC se tiene R3 y R5 los cuales presentan valores similares entre 163 y 154. Finalmente en el rango BC y C se tiene a la R6 y R4 el cual presenta valores entre 146 y 134.

Gráfico nº 20: Comportamiento del color



3.1.6. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3g), sulfato de hierro (0.03 g) y peróxido de hidrogeno (3.0 ml).

Cuadro nº 26: Valores de color

Colorimetro	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio
Muestra Ori.	307	307	307	307
1 Hr.	286	217	252	251.5
2 Hr.	186	207	197	196.5
3 Hr.	177	169	173	173
4 Hr.	159	148	154	153.5
5 Hr.	113	108	111	110.5
6 Hr.	143	122	133	132.5
Promedio	1064.00	971.00	1017.50	169.58

Cuadro nº 27: ANOVA de color

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	37710	7542.1	30.92	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	2927	243.9		
TOTAL	17	40638			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	9.20				
PROMEDIO	169.58				

Se puede observar en el cuadro nº27 un coeficiente de variación del 9.20%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM3 (dióxido de titanio – 0.3g, sulfato de hierro - 0.03 g y peróxido de hidrogeno - 3.0 ml) influye en el valor de color.

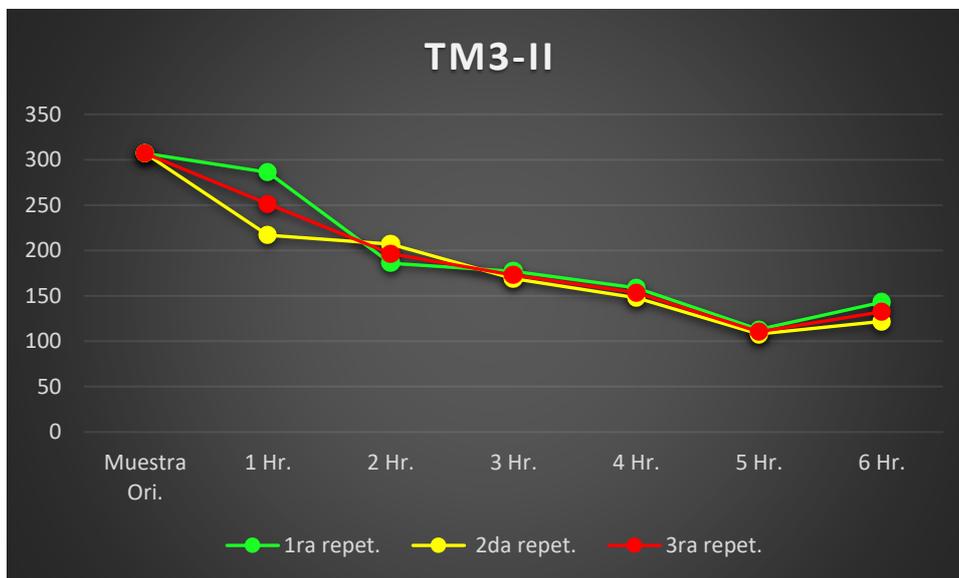
Cuadro nº 28: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de color

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	251.7	A
R2	196.67	B
R3	173	BC
R4	153.67	C
R6	132.67	CD
R5	110.67	D

En el cuadro nº28 : Se puede apreciar 4 rangos de significación A, B, C y D con respecto al rango A y B se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1) y 2da hora (R2) con

los máximos valores 251.7 y 196.67 respectivamente, mientras que en el rango D se encuentra la R5 con un valor mínimo de 110.67.

Gráfico n° 21: Comportamiento del color



3.2. TURBIDEZ

3.2.1. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3 g) y peróxido de hidrogeno (1.0 ml).

Cuadro n°29:Valores de turbidez

<u>Turbidez</u>	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	Promedio
Muestra Ori.	11.54	11.54	11.54	11.54
1 Hr.	5.44	4.33	4.89	4.89
2 Hr.	1.58	2.24	1.91	1.91
3 Hr.	1.03	0.80	0.92	0.92
4 Hr.	0.00	0.01	0.01	0.01
5 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
6 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	1.34	1.23	1.29	1.29

Cuadro n°30:ANOVA de turbidez

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	55.3	11.06	154.27	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	0.86	0.071		
TOTAL	17	56.16			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	20.54				
PROMEDIO	1.30				

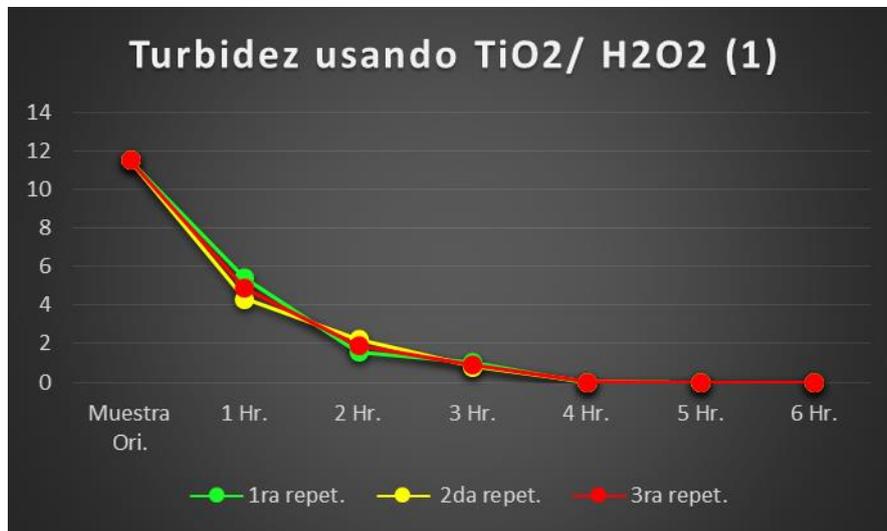
Se puede observar en el cuadro nº30 un coeficiente de variación del 20.54%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM1 (dióxido de titanio – 0.3g y peróxido de hidrogeno - 1.0 ml) influye en el valor de turbidez.

Cuadro nº 31: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de turbidez

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	4.8	A
R2	1.9	B
R3	0.91	C
R4	0.006	D
R6	0	D
R5	0	D

En el cuadro nº31 : Se puede apreciar 4 rangos de significación A, B, C y D con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1) con un valor máximo de 4.8 NTU, mientras que en el rango D se encuentran las repeticiones R4, R5 y R6 con valores inferiores a 0.007 NTU.

Gráfico nº 22: Comportamiento de la turbidez



3.1.2. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3 g) y peróxido de hidrogeno (3.0 ml).

Cuadro nº 32:Valores de turbidez

<i>Turbidez</i>	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	promedio
Muestra Ori.	11.54	11.54	11.54	11.54
1 Hr.	3.60	5.49	4.55	4.55
2 Hr.	3.32	3.59	3.46	3.46
3 Hr.	0.68	1.17	0.93	0.93
4 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
5 Hr.	0.23	0.37	0.30	0.30
6 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
promedio	1.31	1.77	1.54	1.54

Cuadro nº 33:ANOVA de turbidez

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	58.17	11.63	70.82	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	1.97	0.1643		
TOTAL	17	60.14			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	25.97				
PROMEDIO	1.54				

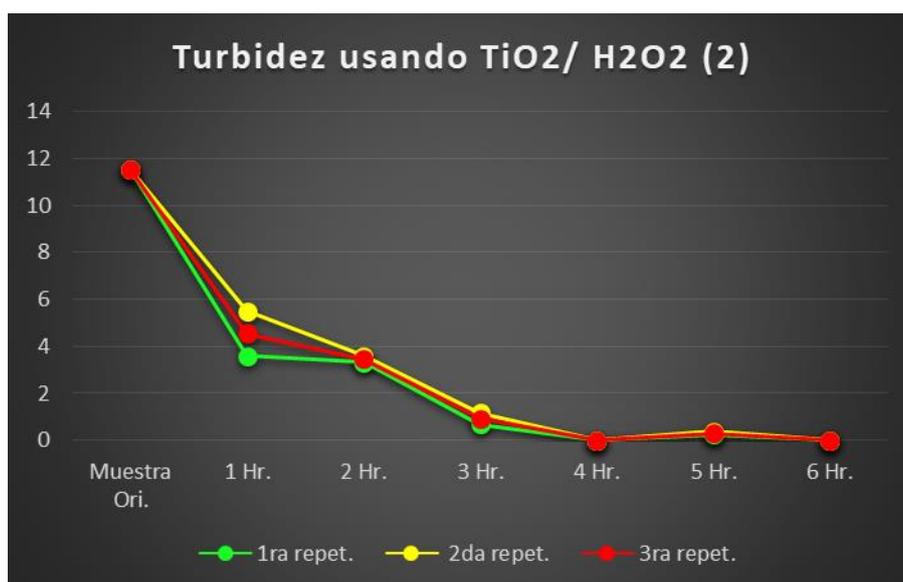
Se puede observar en el cuadro nº33 un coeficiente de variación del 25.97%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM1 (dióxido de titanio – 0.3g y peróxido de hidrogeno - 3.0 ml) influye en el valor de turbidez.

Cuadro nº 34:Prueba de Duncan al 5% para el indicador de turbidez

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	4.55	A
R2	3.45	A
R3	0.92	B
R5	0.3	B
R6	0	B
R4	0	B

En el cuadro nº34: Se puede apreciar 2 rangos de significación A y B con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1) Y 2da (R2) con un valor máximo de 4.55 NTU y 3.45 respectivamente, mientras que en el rango B se encuentran las repeticiones R3, R5, R6 y R4 con valores inferiores a 0.93 NTU.

Gráfico nº 23: Comportamiento de la turbidez



3.1.3. Tratamiento a base de sulfato de hierro (0.3 g) y peróxido de hidrogeno (1.0 ml).

Cuadro nº 35: Valores de turbidez

<i>Turbidez</i>	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	promedio
Muestra Ori.	11.54	11.54	11.54	11.54
1 Hr.	3.84	4.46	4.15	4.15
2 Hr.	1.80	1.59	1.70	1.70
3 Hr.	1.06	0.00	0.53	0.53
4 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
5 Hr.	0.00	0.15	0.08	0.08
6 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	1.12	1.03	1.08	1.08

Cuadro nº 36: ANOVA de turbidez

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	40.34	8.068	122.97	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	0.75	0.065		
TOTAL	17	41.12			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	23.15				
PROMEDIO	1.08				

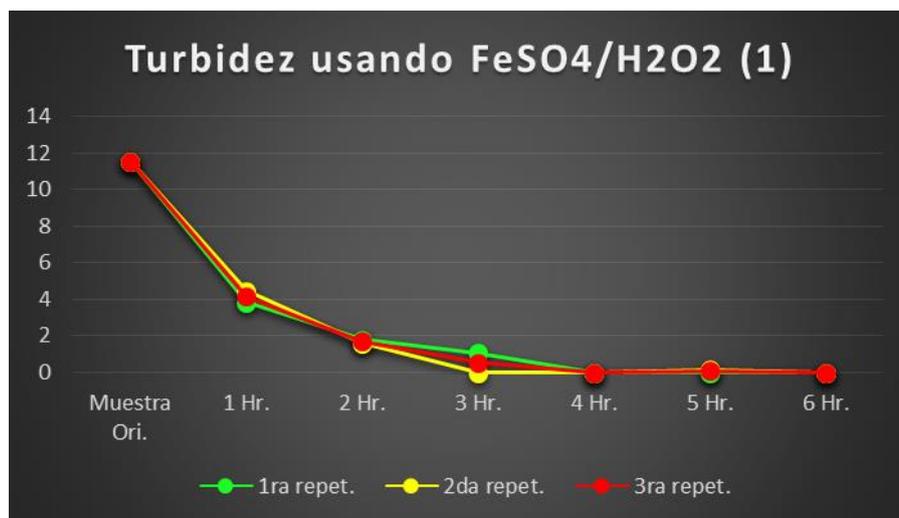
Se puede observar en el cuadro nº36 un coeficiente de variación del 23.15%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM2 (sulfato de hierro – 0.3g y peróxido de hidrogeno - 1.0 ml) influye en el valor de turbidez.

Cuadro n°37: Prueba de Duncan al 5% para el indicador de turbidez

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	4.15	A
R2	1.69	B
R3	0.53	C
R5	0.07	C
R6	0	C
R4	0	C

En el cuadro n° 37 : Se puede apreciar 3 rangos de significación A, B y C con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1) con un valor máximo de 4.15 NTU, mientras que en el rango C se puede apreciar a la R3, R5, R6 y R4 con valores inferiores a 0.54 NTU.

Gráfico n° 24: Comportamiento de la turbidez



3.1.4. Tratamiento a base de sulfato de hierro (0.03 g) y peróxido de hidrogeno (3.0 ml).

Cuadro n°38:Valores de turbidez

<i>Turbidez</i>	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	prom
Muestra Ori.	11.54	11.54	11.54	11.54
1 Hr.	3.84	4.46	4.15	4.15
2 Hr.	1.80	1.59	1.70	1.70
3 Hr.	1.06	0.00	0.53	0.53
4 Hr.	0.00	0.36	0.18	0.18
5 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
6 Hr.	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	1.12	1.07	1.09	1.09

Cuadro n° 39:ANOVA de turbidez

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	39.74	7.94	113.45	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	0.84	0.07		
TOTAL	17	40.58			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	23.85				
PROMEDIO	1.09				

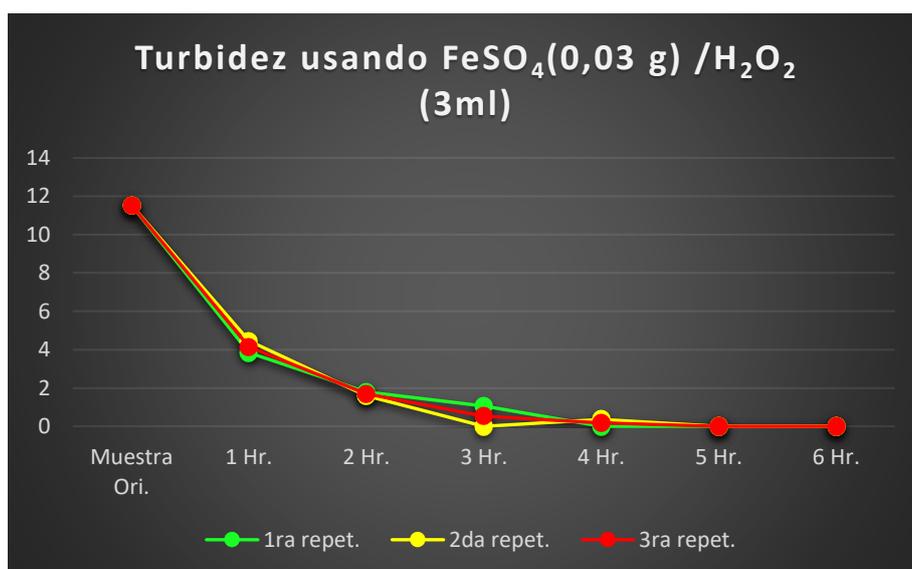
Se puede observar en el cuadro n°39 un coeficiente de variación del 23.85%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM2 (sulfato de hierro – 0.03g y peróxido de hidrogeno - 3.0 ml) influye en el valor de turbidez.

Cuadro n° 40:Prueba de Duncan al 5% para el indicador de turbidez

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	4.15	A
R2	1.69	B
R3	0.53	C
R4	0.18	C
R6	0	C
R5	0	C

En el cuadro n° 40: Se puede apreciar 3 rangos de significación A, B y C con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1) con un valor máximo de 4.15 NTU, mientras que en el rango C se puede apreciar a la R3, R5, R6 y R4 con valores inferiores a 0.54 NTU.

Gráfico nº 25: Comportamiento de la turbidez



3.1.5. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3g), sulfato de hierro (0.03g) y peróxido de hidrogeno (1.0 ml).

Se puede observar en el cuadro N° un coeficiente de variación del 19.77%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM3 (dióxido de titanio – 0.3 g, sulfato de hierro – 0.03g y peróxido de hidrogeno - 1.0 ml) influye en el valor de turbidez.

Cuadro nº 41: Valores de turbidez

<i>Turbidez</i>	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	promedio
Muestra Ori.	11.54	11.54	11.54	11.54
1 Hr.	4.39	3.72	4.06	4.06
2 Hr.	3.18	4.56	3.87	3.87
3 Hr.	1.23	1.36	1.30	1.30
4 Hr.	0.59	0.00	0.30	0.30
5 Hr.	0.55	0.29	0.42	0.42
6 Hr.	0.53	0.27	0.40	0.40
Promedio	1.75	1.70	1.72	1.72

Cuadro n° 42:ANOVA de turbidez

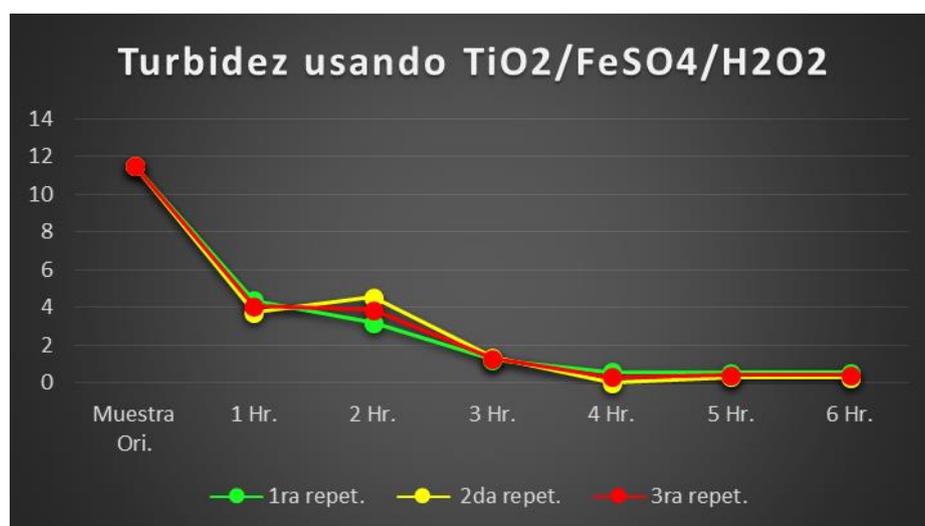
FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	47.16	9.43	79.33	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	1.42	0.11		
TOTAL	17	48.58			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	19.77				
PROMEDIO	1.72				

Cuadro n° 43:Prueba de Duncan al 5% para el indicador de turbidez

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	4.05	A
R2	3.87	A
R3	1.29	B
R5	0.42	BC
R6	0.4	BC
R4	0.29	C

En el cuadro n° 43: Se puede apreciar 3 rangos de significación A, B y C con respecto al rango A se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1) y R2 con un valor máximo de 4.15 NTU y 4.05 respectivamente, mientras que en el rango C se puede apreciar a la R4 con valor de 0.29 NTU.

Gráfico n°26:Comportamiento de la turbidez



3.1.6. Tratamiento a base de dióxido de titanio (0.3g), sulfato de hierro (0.03 g) y peróxido de hidrogeno (3.0 ml).

Se puede observar en el cuadro n°44 un coeficiente de variación del 13.62%, el cual es aceptable para este estudio. La varianza indica una alta significancia estadística para

todos los tratamientos, esto demuestra que el tratamiento TM3 (dióxido de titanio – 0.3 g, sulfato de hierro – 0.03g y peróxido de hidrogeno - 3.0 ml) influye en el valor de turbidez.

Cuadro nº 44:Valores de turbidez

<i>Turbidez</i>	1ra repet.	2da repet.	3ra repet.	promedio
Muestra Ori.	11.54	11.54	11.54	11.54
1 Hr.	4.17	4.17	4.17	4.17
2 Hr.	4.10	3.57	3.84	3.84
3 Hr.	3.35	2.93	3.14	3.14
4 Hr.	1.59	0.47	1.03	1.03
5 Hr.	0.03	0.10	0.07	0.07
6 Hr.	0.82	0.20	0.51	0.51
Promedio	2.34	1.91	2.13	2.13

Cuadro nº45:ANOVA de turbidez

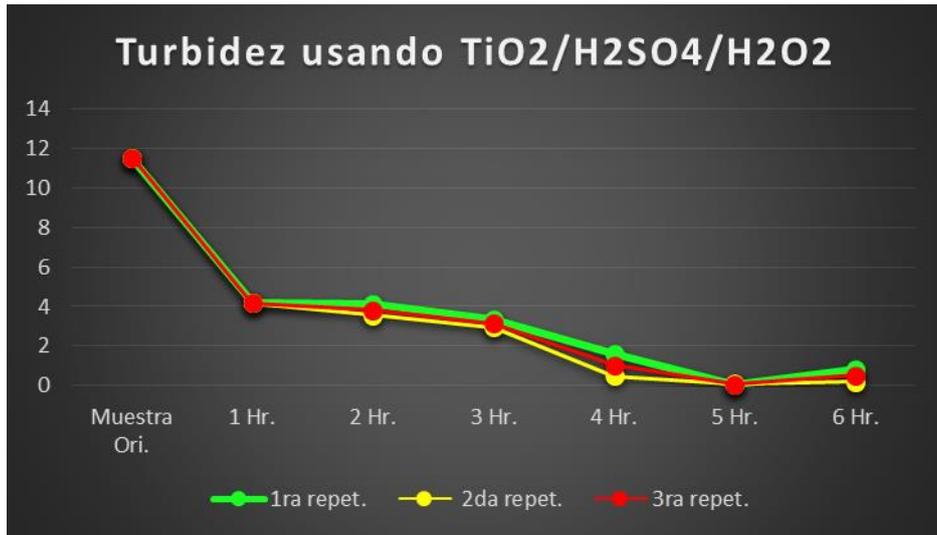
FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	Sum. Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Ft 0,05
TRATAMIENTOS	5	39.74	7.94	113.45	0.0001
ERROR EXPERIMENTAL	12	0.84	0.07		
TOTAL	17	40.58			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	13.62				
PROMEDIO	2.13				

En el cuadro nº46: Se puede apreciar 4 rangos de significación A, B, C y D con respecto al rango A y B se tiene a la Repetición de 1ra hora (R1), R2 y R3 con valores que oscilan entre 4.17 NTU y 3.14 NTU, mientras que en el rango C y D se encuentran la R4, R6 y R5 con valores inferiores a 1.03 NTU.

Cuadro nº 46:Prueba de Duncan al 5% para el indicador de turbidez

REPETICIONES	MEDIAS	RANGO
R1	4.17	A
R2	3.83	AB
R3	3.14	B
R4	1.03	C
R6	0.51	CD
R5	0.06	D

Gráfico nº 27: Comportamiento de la turbidez



IV. DISCUSIONES

A partir de los hallazgos que se encontraron en el presente trabajo de investigación se acepta la hipótesis general, la cual establece que el color y la turbidez del agua residual textil real se logra degradar empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor foto catalítico.

Según Posada y Pulido en su investigación, aplicando un proceso de oxidación fotocatalítica heterogénea, utilizando como catalizados al TiO_2 y como agente oxidante al H_2O_2 , aplicando sólo luz solar y con un total de muestras de 176, se obtuvo un porcentaje de degradación máximo de 41,9%, sin embargo los resultados obtenidos en la presente investigación revela que el sistema fotocatalítico aplicado tiene un rango de porcentaje más alto en la degradación del color presente en aguas residuales textiles, con un tiempo de tratamiento de 6 horas, en el cual se aplicó TiO_2 (0,3 g) y H_2O_2 (3ml) con una eficiencia en la degradación del 94%. Con los resultados obtenidos, quiere decir que este tipo de tratamientos en un reactor fotocatalítico es mucho más eficiente que realizarlo sólo con luz solar.

La degradación tanto del color como el de la turbidez fueron más eficientes en el periodo de tiempo 6, ya que se obtuvo un grado de eficiencia de 94%, con el tratamiento 1, en el cual sólo se empleó un agente catalizador (TiO_2) y un agente oxidante (H_2O_2), sin embargo en el estudio realizado por Lopez, José, en el año 2017, se emplearon los tres agentes, en dosis mucho más concentradas, y se logró degradar el color, a un grado mucho más eficiente; resultando degradar en un tenemos 97 % . Los resultados de cada una de las investigaciones al compararlas difieren si vemos el tema de los agentes aplicados, ya sea por la cantidad de dosis utilizada en los tratamientos. Pero si logramos ver el grado de eficiencia, se relaciona con los valores obtenidos. Con respecto a la turbidez el tratamiento aplicado en esta investigación logra una eficiencia máxima del 100%, en el mismo tratamiento y con la misma dosis, logrando una mejor degradación de este parámetro.

V. CONCLUSIONES

El sistema fotocatalítico aplicado en las aguas residuales reales de una industria textil logró degradar significativamente tanto el color como la turbidez.

Este sistema, mediante el Tratamiento 1, con TiO_2 (0,3g.), H_2O_2 (3ml) , con un tiempo de tiempo total de 4 horas, logró degradar la turbidez hasta 0,00 NTU, lo que quiere decir que hace referencia a que todos los materiales en suspensión (pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos), presentes en este tratamiento, se lograron reducir por completo, así mismo se menciona la reducción del color, puesto que este inició con un total de 307 UPC, logrando reducirse a 17 UC, en el mismo tratamiento con la misma dosis, y a un periodo de 6 horas.

El porcentaje máximo de eficiencia del nivel de degradación fue un 94% para la degradación del color siendo este un resultado óptimo para el estudio, y con respecto a la turbidez tuvo un porcentaje de eficiencia del 100% logrando un resultado perfecto.

Las condiciones del tratamiento si influyen en la eficiencia del sistema esto se debe a que el catalizador empleado utilizad, posee una mayor eficiencia cuando es irradiado por UV-A entre los rangos de 311nm a 340 nm, de la misma manera el tratamiento se debe realizar a un pH ácido entre los rangos de 2 – 3, esto debido a que facilita la reacción del FeSO_4 y de TiO_2 .

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el tratamiento expuesto a la radiación solar, ya que el catalizador TiO_2 absorbe longitudes de onda inferiores a 400 nm, lo que quiere decir que tiene la capacidad de generar en el semiconductor pares de electrones hueco, acelerando el proceso de reducción tanto del color como el de la turbidez.

Se recomienda también hacer el estudio del DQO de la muestra tratada, ya que, al reducir la turbidez, la cantidad de materia orgánica también disminuye, y claro está realizar un estudio profundo, llegando ver el comportamiento de esta reducción, determinado la cinética de la misma.

Se recomienda realizar el proyecto, alterando las condiciones de tratamiento, es decir realizar diferentes tiempos de exposición ya sea a la radiación UV-A o expuestos a los rayos del sol. Variando las dosis de los agentes, esto con la finalidad de ampliar el entendimiento del sistema fotocatalítico.

VII. REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS:

1. **Revista Circle.** Ríos de tinta: las huellas de la industria textil [en línea]. España, 2018 [Fecha de consulta: 9 de octubre de 2018].

Disponible en: <https://www.revistacircle.com/2018/03/05/rios-tinta-las-huellas-la-industria-textil/>
2. **Pichat, P.** (2013). Photocatalysis and Water Purification. Fecha de consulta: 01/12/2018. Disponible en la página web: <https://books.google.com.pe/books?id=WM4Bb5mc4JQC&printsec=frontcover&dq=photocatalysis+wastewater&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiZ4dPpoPreAhWt1VkKHZ9NBZEQ6AEISTAE#v=onepage&q=photocatalysis%20wastewater&f=false>
3. **TINOCO, Oscar, MEDINA, Ana y ZAPATA Hernán.** Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Revista de la facultad de ingeniería industrial*, 14(2): 9-15, 2011.
ISSN: 1810-9993 (Electrónico)
4. **Ameta, R. y Ameta, S.** (2017). Photocatalysis principles and applications. Fecha de consulta: 01/12/2018. Disponible en la página web: <https://books.google.com.pe/books?id=A56VDQAAQBAJ&pg=PT176&dq=photocatalysis+wastewater&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiZ4dPpoPreAhWt1VkKHZ9NBZEQ6AEIQDAD#v=onepage&q=photocatalysis%20wastewater&f=false>
5. **Chandra, M y Kumar, R.** (2016). Nanomaterials for wastewater remediation. Fecha de consulta: 01/12/2018. Disponible en la página web: <https://books.google.com.pe/books?id=GQNaCgAAQBAJ&pg=PA40&dq=Heterogeneous+photocatalysis+wastewater&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjj163b7YHfAhVKo1kKHWhfAD8Q6AEISjAF#v=onepage&q=Heterogeneous%20photocatalysis%20wastewater&f=false>
6. **Matalo, S., Blanco, J., Cáceres J., Fernandez-Alba, A.R., Aguera, A., Rodriguez, A.** (2002). Photocatalytic treatment of water-soluble pesticides by photo-Fenton and TiO₂ using solar energy.

7. Módenes, A.N., Espinoza-Quiñones, E.R., Manenti, D.R.m Borba, EH, Palacio, S.M., colombo, A., 2012. Performance evaluation of a photo-Fenton process applied to pollutant removal from textile effluents in a batch system.
8. CHAKRABARTI, S. (2018). Solar Photocatalysis for Environmental Remediation. Fecha de consulta 01/12/2018. Disponible en la página web: <https://books.google.com.pe/books?id=svk6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=photocatalysis+wastewater&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwifsZKY4IHfAhXLxIkKHWKGDfY4ChDoAQg5MAM#v=onepage&q=photocatalysis%20wastewater&f=false>
9. Romero, Jairo 2009. Calidad del agua. Editorial: Escuela Colombiana de Ingenieria, 3ra Edición. Bogotá, Colombia.
ISBN: 978-958-8060-83-5
10. **GARZON, Rossana.** Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por hongos y bacterias inmovilizados sobre fibra de Agave tequilana Webber var. Azul. Trabajo de pre grado (Microbiólogo industrial). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2009.
Disponible en: <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis217.pdf>
11. **GILPAVAS, Edison.** Fotocatálisis: Una alternativa viable para la eliminación de compuestos orgánico [en línea]. Julio-septiembre, n°127. [Fecha de consulta: 9 octubre de 2018].

Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/26496657_Fotocatalisis_Una_alternativa_viable_para_la_eliminacion_de_compuestos_organicos
ISSN: 0120-341X
12. **GARCÉS, Luis, MEJÍA, Edwin y SANTAMARÍA, Jorge.** La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación [en línea]. Junio, 2004, vol. 1, núm. 1.[Fecha de consulta: 9 octubre de 2018].
Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/695/69511013.pdf>
ISSN: 1794-4449
13. **SEDLAK, Dieter.** Manual de guía química [en línea]. Julio, 2013. [Fecha de consulta: 9 de octubre de 2018].

- Disponible en: <http://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>
14. Contaminación Ambiental por Orozco Carmen [et al.]. España: Ediciones Paraninfo S.A., 2002. 680pp.
ISBN 13: 9788497321785
 15. **RODRIGUEZ, Antonio** et al. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. España: Elece Industria Gráfica, 2006. 137 pág.

Depósito Legal: M-30985-2006.
 16. **CONTRERAS, Ricardo**. El origen del color en la naturaleza, Universidad de los Andes, Venezuela, 2007. 154 p.
ISBN: 978-980-11-1104-7
 17. **BENITEZ, K y IBARRA, J**. Evaluación de la fotodecoloración catalítica de azul de metileno con ilmenita bajo irradiación UV. Univesidad de la Sabana Clombial, 2013, 72pp.
 18. **-ZhaoJin-hui**. Research on UV/TiO₂ Photocatalytic Oxidation of Organic Matter in Drinking Water and Its Influencing Factors [En línea] China: Artículo Científico, Noviembre de 2012. [Fecha de Consulta: 14 de Septiembre de 2018]
Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029612003039>
 19. **SHARPE, Alan. G.** Química Inorgánica. España: Editorial Reverte, 1993. pág. 787
ISBN -84-291-7501-6
 20. Normativas, Calidad de agua -MIMAN. [Fecha de Consulta: 29 de septiembre de 2018]. Disponible en:
<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/normativa/>
 21. Decolorization of Cationic Yellow X-GI 200% from Textile Dyes by TiO₂ Films-Coated Rotor [et al.], [En línea] University, Bangkok - Tailandia: Artículo Científico, Noviembre del 2017. [Fecha de Consulta: 15 de Septiembre de 2018]
Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217326711>
 22. **PEY, Jaime C.** Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles. [En línea]. España:

- Universidad Politécnica de Valencia, 2011.Fecha de Consulta: 15 de Septiembre de 2018]
Disponible en:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2241/tesisUPV2816.pdf>
23. L.Sikong, K.Kooptarnond y W.Sangchay. Comparison of photocatalytic reaction of commercial P25 and synthetic TiO₂-AgCl nanoparticles [En línea] Tailandia: Artículo Científico, Noviembre de 2011. [Fecha de Consulta: 14 de Septiembre de 2018]
Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812013628>
24. LEYVA, C y CROZIER, PA. Correlating Nanostructure and Activity in Cu/TiO₂ Photocatalyst. Microscopy and Microanalysis. 2010. Vol. 16, no. S2p. 1552–1553. Disponible en: <http://DOI.10.1017/S1431927610062768>.
25. **Mazharul, K.** Textile Learner, Introduction of Direct Dyes | Classification of Direct Dye | Application of Direct Dyes | Aftertreatment of Direct Dye. [Fecha de Consulta: 14 de Septiembre de 2018]. Disponible en: http://textilelearner.blogspot.com/2011/02/defination-classification-application_2111.html
26. **LINCKE G.** Molecular stacks as a common characteristic in the crystal lattice of organic pigment dyes: A contribution to the “soluble-insoluble” dichotomy of dyes and pigments from the technological point of view. Dyes Pigm. 59 (2003) 1- china
Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.064>.
27. **RODRIGUEZ, Antonio,** et al. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. España: Elece Industria Gráfica, 2006. 137 pág.
Depósito Legal: M-30985-2006.
28. **FONSECA, Teresa C. et al.** Application of Photo-oxidative Processes for the Remediation of Bleached Kraft Pulp Effluent. United States. 2010, 49 (22), pp 11214–11220. [Fecha de Consulta: 14 de noviembre de 2018]
Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie101552t>

29. **ASPLAND, J.R.** Chapter 2: Direct Dyes and Their Application. School of Textiles, Clemson University. 2017. 45 pág. [Fecha de Consulta: 20 de noviembre de 2018]. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.405.1476&rep=rep1&type=pdf>
30. **VICENZO C., et al.** Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. [En línea]. October 2000, Pages 51-59. [Fecha de Consulta: 20 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920586199001029>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Matriz de consistencia

Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico – Lima 2018

Problema General	Hipótesis General	Objetivos	Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
¿El empleo de $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en el agua residual textil real logrará degradar el color y la turbidez?	El color y la turbidez del agua residual textil real se logra degradar empleando $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un reactor fotocatalítico	Degradar el color y la turbidez de un agua residual textil real empleando reactivos $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ un reactor fotocatalítico	V. Independiente.	Dosis	Concentración de Catalizadores	ordinales
			Reactivos $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$			
				Energía	Longitud de onda para la oxidación	ordinales
Problemas específicos	Hipotesis específicas	Objetivos Generales	V. Dependiente.			
¿Cuáles son las condiciones que debe tener el sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales?	el sistema fotocatalítico con las dosis eficientes de $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ apropiada para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales	Evaluar las dosis eficientes de $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ en un sistema fotocatalítico para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales	degradación de color y turbidez	Características fisicoquímica	pH Conductividad Eléctrica	ordinales
					Porcentaje de degradación de Color	ordinales
¿Cuál es el nivel de degradación del color y la turbidez que se logra con la aplicación de un sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ para degradar el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales?	la aplicación de un sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ degrada el color y turbidez de las aguas residuales textiles reales de manera significativa	Cuantificar los niveles de degradación de color y turbidez en aguas residuales textil real aplicando un sistema fotocatalítico con $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$		Concentraciones	Porcentaje de degradación de turbidez	ordinales

Fuente. Elaboración propia

Anexo 2: Instrumento de recolección de datos

Datos iniciales

Tratamientos	Volumen de muestra (ml)	Repeticiones	Volumen del reactivo H2O2 (ml)	Volumen del reactivo TiO2 (g)	Volumen del reactivo FeSO4	Turbidez	pH	Color	Conductividad
						Inicial	Inicial	Inicial	Inicial
M1	100	1	1	0,3					
		2	1						
		1	3						
		2	3						
M2	100	1	1		0,03				
		2	1						
		1	3						
		2	3						
M3	100	1	1	0,3	0,03				
		2	1						
		1	3						
		2	3						

Datos finales

Tratamientos	Volumen de muestra (ml)	Repeticiones	Volumen del reactivo H2O2 (ml)	Volumen del reactivo TiO2 (g)	Volumen del reactivo FeSO4	Turbidez	pH	Color	Conductividad
						Final	Final	Final	Final
M1	100	1	1	0,3					
		2	1						
		1	3						
		2	3						
M2	100	1	1		0,03				
		2	1						
		1	3						
		2	3						
M3	100	1	1	0,3	0,03				
		2	1						
		1	3						
		2	3						

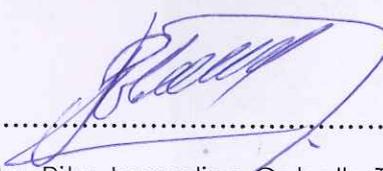
Yo, Rita Jaqueline Cabello Torres docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Lima Este, revisora de la tesis titulada

Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando TiO_2 / $FeSO_4$ / H_2O_2 en un reactor fotocatalítico - Lima 2018

,de la estudiante Kirsty Angélica Chunga Martínez, constato que la investigación tiene un índice de similitud de *2.1*% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha..... *SJV. 15 DICIEMBRE 2018*



.....
Mg. Rita Jaqueline Cabello Torres

DNI: 08947396

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

gradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando $O_2/FeSO_4/H_2O_2$ en un reactor fotocatalítico – Lima 2018

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Kirsty Angélica Chunga Martínez

ASESOR:

Mg. Rita Jaqueline, Cabello Torres

Resumen de coincidencias

21 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

1	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	7 %
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3 %
3	docplayer.es Fuente de Internet	2 %
4	www.oalib.com Fuente de Internet	1 %
5	www.javeriana.edu.co Fuente de Internet	1 %
6	www.bvode.paho.org Fuente de Internet	1 %
7	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	1 %
8	www.lagus.es Fuente de Internet	<1 %
9	www.serbi.ula.ve Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.upt.edu.co Fuente de Internet	<1 %
11	www.mathscore.com Fuente de Internet	<1 %
12	www.proopac.org Fuente de Internet	<1 %
13	industrial.unimam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %



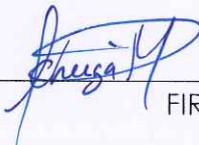
**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS
EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 09
Fecha : 23-03-2018
Página : 1 de 1

Yo Kirsty Chunga Martínez , identificado con DNI No 70468162, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, autorizo (X) , No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando $TiO_2 / FeSO_4 / H_2O_2$ en un reactor fotocatalítico - Lima 2018 ; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....


FIRMA

DNI: 70468162

FECHA: 15 de diciembre del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

Mg. Fernando Antonio Sernaqué Auccahuasi

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Kirsty Angélica Chunga Martínez

INFORME TITULADO:

Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real

empleando TiO_2 / $FeSO_4$ / H_2O_2 en un reactor foto catalítico - Lima 2018

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniera Ambiental

SUSTENTADO EN FECHA: 15.12.2018

NOTA O MENCIÓN: CASTORUS (14)

MG. FERNANDO ANTONIO SERNAQUÉ AUCCAHUASI