

EFFECTOS DE LAS NANOPARTICULAS DE DIOXIDO DE TITANIO  
MEDIANTE UN TRATAMIENTO DE FOTOCATALISIS EN LA  
DEGRADACIÓN DEL COLORANTE TARTRAZINA (E-102) DE  
UNA SOLUCIÓN MODELO.



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

## **“EFECTOS DE LAS NANOPARTICULAS DE DIOXIDO DE TITANIO MEDIANTE UN TRATAMIENTO DE FOTOCATALISIS EN LA DEGRADACIÓN DEL COLORANTE TARTRAZINA (E-102) DE UNA SOLUCIÓN MODELO”**

**Tesis para optar al título profesional de:**

**INGENIERA AMBIENTAL**

**Autores:**

Anguie Paola Cruz Socola

Ricardo Jesus Padilla Arbieta

**Asesor:**

Dra. Sc. Irma Geralda Horna Hernández

**Código ORCID**

**0000-0003-3961-0933**

**Lima - Perú**

**2025**

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Alberto Palacios Miñano
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Margeo Chuman Lopez
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Irma Horna Hernández
	Nombre y Apellidos

## Informe de Similitud



Page 2 of 62 - Integrity Overview

Submission ID trrcoid::1:3202391985




### 7% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

#### Filtered from the Report

- ▶ Submitted works
- ▶ Internet sources

#### Top Sources

- 0%  Internet sources
- 7%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

#### Integrity Flags

##### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## **Dedicatoria**

A nuestros padres y abuelitos por su amor,  
cariño, comprensión y sacrificio al habernos brindado  
valores y la mejor educación, retribuyendo este logro  
a su mayor esfuerzo y dedicación.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradecemos a Dios por guiar nuestro camino, asimismo por brindarnos salud y capacidad para lograr alcanzar este propósito.

## Tabla de contenidos

JURADO EVALUADOR .....	2
Informe de Similitud.....	3
Dedicatoria .....	4
Agradecimiento .....	5
Índice de tablas .....	8
Índice de Figuras .....	9
Resumen .....	10
Palabras Claves: tartrazina, dióxido de titanio, Fotocatálisis. ....	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	11
1.1 Realidad problemática .....	11
1.2 Formulación del problema.....	23
1.3 Objetivos.....	24
1.4 Hipótesis .....	24
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....	26
2.1 Tipo de Investigación .....	26
2.2 Población y Muestra .....	26
2.3 Equipos y Materiales .....	26
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	28
CAPÍTULO III: RESULTADOS .....	31

3.1	Resultados de la solución modelo C1 .....	32
3.2	Resultados de la solución modelo C2.....	34
3.3	Análisis estadístico .....	37
3.4	ANOVA.....	40
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>		<b>42</b>
4.1	DISCUSIONES.....	42
4.2	CONCLUSIONES .....	43
4.3	RECOMENDACIONES .....	44
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>45</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>49</b>

## Índice de tablas

<i>Tabla 1 Matriz Experimental</i> .....	28
Tabla 2 Composición de la solución modelo C1 .....	32
Tabla 3 Concentraciones de tratamiento aplicado.....	32
Tabla 4. Concentración final de tartrazina en intervalos de tiempo de 30, 60, 90 y 120 min, luego de la aplicación del tratamiento con TiO <sub>2</sub> .....	32
Tabla 5. Porcentaje de eficiencia y velocidad cinética del tratamiento.....	33
Tabla 6.Comparativo de la eficiencia del tratamiento con TiO <sub>2</sub> en función del tiempo y dosis.....	34
Tabla 7 Composición de la solución modelo C2.....	34
Tabla 8. Concentraciones de tratamiento aplicado.....	35
Tabla 9. Concentración final de tartrazina en intervalos de tiempo de 30, 60, 90 y 120 min, luego de la aplicación del tratamiento con TiO <sub>2</sub> .....	35
Tabla 10. Porcentaje de eficiencia y velocidad cinética del tratamiento.....	36
Tabla 11. Comparativo de la eficiencia del tratamiento con TiO <sub>2</sub> en función del tiempo y dosis.....	37
Tabla 13. Prueba ANOVA (prueba Fisher) de verificación de Significancia de los tratamientos aplicados .....	40
Tabla 14. Verificación de mejor tratamiento en degradación de Tartrazina .....	40

## Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama Esquemático de Fotocatálisis Heterogénea .....	21
Figura 2 Estructura Química del Colorante Tartrazina .....	23
Figura 3. Diseño experimental .....	28
Figura 4 Diseño del Sistema.....	29
Figura 5 Recolección y transporte de las muestras .....	30
Figura 6. Resultado de prueba de normalidad AD en los datos obtenidos.....	38
Figura 7. Prueba de Homogeneidad de Varianzas.....	39

## Resumen

El presente trabajo planteó como objetivo evaluar el efecto de las nanopartículas de dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$  en la degradación del colorante tartrazina (E-102) de una solución modelo preparada con 5 mg y 10 mg del colorante tartrazina con tiempos de exposición, de luz ultravioleta de (0, 30 ,60 ,90 y 120 minutos) y a diferentes dosis de dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$  (100, 150 y 200 mg/L). Para ello se realizó la construcción del fotocatalizador y se preparó la muestra sintética en laboratorio, posteriormente se caracterizó dicha muestra para conocer los valores iniciales de concentración del colorante, previos al tratamiento para posteriormente compararlo con los valores determinados luego de ser tratados con las distintas dosis de  $\text{TiO}_2$  en los diferentes tiempos establecidos. Como resultados más significativos se obtuvo que la dosis óptima de  $\text{TiO}_2$  fue de 200 mg/L en un tiempo de tratamiento de 120 minutos, logrando con estos valores una remoción eficiente de tartrazina del 93.81%.

**Palabras Claves:** tartrazina, dióxido de titanio, Fotocatálisis.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

La tartrazina es un colorante artificial que se utiliza en la industria alimentaria, forma parte de la familia de los colorantes azoicos, que presentan el grupo azo:  $-N=N-$ , se encuentra en forma de polvo y es soluble en agua, presenta una coloración más amarillenta cuanto más disuelta esté; los productos que poseen este colorante son los alimentos comerciales procesados de coloración amarillo o verde, es así que el consumo de alimentos con presencia de tartrazina originan variaciones en los estados de ánimo, hiperactividad, ansiedad, trastornos del sueño, alergias como rinitis o picazón cutánea y tos espasmódica; este peligroso colorante de la tartrazina es el principal compuesto de bebidas amarillas, es por tal motivo que lo encontramos en efluentes líquidos ocasionando impactos al ser vertidas sin previo tratamiento en cuerpos receptores (Díaz, 2020, pp. 10).

La contaminación de cuerpos de agua con colorantes, resultado del vertido de los efluentes, es una problemática constante en la actualidad, puesto que la presencia de estos colorantes así sea en concentraciones mínimas generan una degradación estética. Sin embargo, la consecuencia más relevante se aprecia en los procesos fotosintéticos, donde se reduce la penetración de la radiación solar reduciendo la capacidad de auto regeneración del recurso hídrico, impactando la biota acuática (Guerrero, 2020, pp.6).

Existen diversos métodos para tratar las aguas contaminadas con colorantes estos pueden ser: ósmosis inversa, coagulación, floculación, intercambio iónico, adsorción de carbón activado, oxidación avanzada, ozonización, fotocátalisis, proceso Fenton, foto-Fenton, oxidación electroquímico, sin embargo estos tratamientos suelen ser costosos y producen residuos de amina que se encuentran en los lodos luego del tratamiento; es por tal motivo que

existen los semiconductores como el dióxido de titanio que han logrado una excelente actividad fotocatalítica gracias a su posición de banda positiva que desarrolla más electrones y huecos bajo la luz ultravioleta (Carranza, 2022, pp. 12).

En esta investigación se presenta un tratamiento para la degradación del colorante tartrazina mediante la fotocatalisis con nanopartículas de dióxido de titanio  $TiO_2$ ; la experimentación se desarrolló a nivel laboratorio.

Actualmente se tienen diversos trabajos de investigación del uso de dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) por métodos de fotocatalisis y radiación ultravioleta empleados para el tratamiento de efluentes contaminados con colorantes orgánicos, dentro de los diversos trabajos científicos desarrollados a nivel Internacional y Nacional, se consideraron como base los siguientes antecedentes referenciales:

Tarango (2022), en su investigación realizó un tratamiento de agua contaminada con colorante rojo carmín mediante un sistema establecido de calentamiento y destilación solar, variando el destilador con dos placas galvanizadas, con y sin tratamiento térmico; y planteó como objetivo estudiar la foto degradación del compuesto y mejorar la calidad del agua residual y destilada obtenida al terminar el proceso. Dentro de la metodología se procedió a sintetizar el rojo carmín a 25 ppm, luego se evaluó la optimización del sistema y se determinó los parámetros de operación para el tratamiento. Posteriormente se realizó 2 procesos con cada placa recolectando muestras del agua residual cada 30 min por 2 h para ambas. El estudio de la foto degradación se llevó a cabo mediante Espectrofotometría UV-Vis donde se observó la reducción del color de 26 % usando la placa sin tratamiento térmico, mientras que para la placa con tratamiento se redujo el color en 93%. Finalmente, para calcular la calidad del agua residual y destilada tomada al terminar el proceso se consideró los parámetros fisicoquímicos: pH, CE,

DQO, turbiedad y sólidos totales tomando de referencia la normatividad mexicana, con la finalidad de determinar los LMP, concluyendo que los resultados obtenidos muestran que ambos tipos de agua mejoraron su calidad, con valores inferiores a los LMP para cada uno de los parámetros.

Del mismo modo, Avellán y Vera (2024); en su estudio plantearon como objetivo evaluar la capacidad del hidrocarbón obtenido de la tusa de maíz (*Zea mays*) como adsorbente del colorante tartrazina en soluciones acuosas. Dentro de la metodología se empleó técnicas de análisis químico y se caracterizó el material mediante un análisis granulométrico, la determinación del punto de carga cero y la espectroscopía infrarroja con la finalidad de identificar los parámetros relacionados con su capacidad de absorción. Así mismo se empleó un diseño experimental factorial asimétrico AxB con 20 tratamientos y 3 repeticiones, donde las variables consideradas fueron la dosis de material y el pH de la solución. De los resultados se obtuvo que el tratamiento T4 a un pH= 2 y una dosis de 1,6 g de adsorbente alcanzó la mejor remoción con 75,24%; mientras que para el tratamiento T16 a un pH=10 y la misma dosis se alcanzó una remoción baja de 2,22%. El estudio cinético que contempla el mejor tratamiento (T4) mostró un tiempo de equilibrio de 120-180 minutos, con un ajuste óptimo en la interacción entre las partículas adsorbato-adsorbente. Concluyendo que se evidencia la compleja interacción entre el colorante y el hidrocarbón.

Por otro lado, Calvo (2020); en su estudio que realizó menciona que el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) es un semiconductor empleado en celdas solares para la degradación de contaminantes y como material para procesos avanzados de oxidación en fotocatalisis, su valor de ancho de banda oscila en 3.2 EV para la fase anatasa; esto significa que sólo podemos abarcar la región UV del espectro solar para llevar a cabo la fotocatalisis. Para trabajar con parte de la región

visible del espectro, se incorporan materiales al  $\text{TiO}_2$ , uno de ellos es el óxido de grafeno (OG). Dentro de la metodología de esta investigación se incorporó OG en nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  con distintos porcentajes, es así que la incorporación con 15 % en peso redujo el ancho de banda a 2.75 eV y demostró ser el compuesto con mayor actividad fotocatalítica. Obteniéndose como resultado que la evaluación fotocatalítica con azul de metileno en un reactor empelando una lámpara UV-254 nm alcanzó una degradación de 99.3% en 40 min, mientras que empelando un prototipo de diseño propio y la luz solar se logró una degradación del 99.6% en 40 min, pero cuando se empleó tartrazina, la actividad fotocatalítica del compuesto fue de 20.2% en 60 min con una lámpara UV-254 nm. Concluyéndose que el compuesto indicó potencial como material foto oxidante, al oxidar  $\text{As}^{3+}$  a  $\text{As}^{5+}$  en 99% en 60 min utilizando una lámpara UV-254 nm

En este mismo sentido, Guerrero (2020); en su investigación planteó como objetivo eliminar contaminantes orgánicos presentes en agua mediante el proceso de fotocatalisis heterogéneo. Dentro de la metodología empelada la degradación de los colorantes Negro Ácido 52 y Negro Ácido 210 se hizo empelando un reactor tipo Batch con una disolución del colorante de 0.1 mM, empleando como catalizadores dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y óxidos de manganeso, y peróxido de hidrógeno a una concentración de 19.6 mM con un pH ajustado entre 2.9 y 3.3. El  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  se obtuvo a través del tratamiento térmico del MnO (manganosita) mientras que el  $\text{TiO}_2$  fue usado como se compró. Estos catalizadores se caracterizaron mediante difracción de Rayos X, microscopia electrónica de barrido y Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS). Se calculó los tamaños de cristal de 41 y 44 nm para el  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , respectivamente y se evidenció que las partículas de  $\text{TiO}_2$  fueron más uniformes y de menor tamaño que las de  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Los resultados obtenidos muestran que el colorante Negro Ácido 52 posee baja resistencia al tratamiento de degradación a diferencia con el Negro Ácido 210, así mismo en 2 horas de tratamiento se alcanzó una decoloración y mineralización del 99 y 90%,

respectivamente, cuando se degradó el colorante Negro Ácido 210 con  $\text{TiO}_2$  y radiación UV; mientras que cuando se utilizó bixbyta ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) y radiación visible, se logró una degradación del 66% del colorante Negro Ácido 52 con 3 horas de tratamiento. Concluyéndose que la fotocatalisis heterogénea con  $\text{TiO}_2$  como catalizador y radiación ultravioleta, es un método de tratamiento de aguas que poseen azocolorantes como Negro Ácido 52 y Negro Ácido 210.

Del mismo modo, Polo (2017); en su investigación planteó evaluar la cobaltita como fotocatalizador en procesos de oxidación avanzada, que son procesos que incrementan la producción de radicales hidroxilos ( $\text{OH}^\cdot$ ) empelados para remover contaminantes orgánicos del agua. Dentro de la metodología se empleó colorantes contaminantes: Rodamina B, la Tartrazina, el Verde Malaquita y el azul de metileno. Posteriormente se estudió la fotocatalisis como proceso de oxidación avanzada para la remoción de los contaminantes, teniendo como referencia de fotocatalizador el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y el peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Las cobaltitas se prepararon a partir de nitrato de bario, acetato de cobalto y oxido de lantano, utilizando EDTA y Glicina como complejantes. Obteniéndose 2 cobaltitas diferentes, Cobaltita Lantano-EDTA y Cobaltita Lantano Glicina; luego de la mezcla se sometió dicha mezcla a un tratamiento térmico con grandes temperaturas con la finalidad de fundir el material, remover la materia orgánica y modificar la estructura cristalina del material. La caracterización del material se llevó a cabo mediante análisis avanzados: Difracción de rayo X y análisis BET, donde se tienen resultados de su área superficial, porosidad, propiedades estructurales y verificación de la parte cristalina. Se llevaron a cabo 26 ensayos, cambiando los fotocatalizadores y los colorantes; en la degradación se realizó ensayos bajo luz solar natural y luz ultravioleta generada por las lámparas. Se fijo una concentración del fotocatalizador de 100 mg/L, una concentración de colorante de 20 mg/L, un tiempo de monitoreo de 24 horas y un pH del sistema neutro. Para la evaluación del  $\text{TiO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{O}_2$ , se tomó concentraciones de 50 mg/L y 100 mg/L

para el  $\text{TiO}_2$  y 4 ml/L para el  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Los resultados obtenidos para los fotocatalizadores de referencia se encuentran dentro de los rangos esperados, para el  $\text{H}_2\text{O}_2$  fue cercano a 50% para cada colorante y para el  $\text{TiO}_2$  se logró un rango entre 65% y 95% de remoción. Concluyéndose que la cobaltita como fotocatalizador presenta gran potencial para este proceso, obteniendo porcentajes de remoción de 50%.

Además, a Nivel Nacional, Calla y Chavarría (2023); en su estudio realizado plantearon como objetivo remover arsénico mediante fotocatalisis heterogénea, usando óxido de titanio como catalizador y la radiación solar. Dentro de la metodología empleada se preparó un sistema de tratamiento que contó de un equipo experimental con 3 recipientes de polipropileno en paralelo, cada recipiente contenía carbón activado impregnado con dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y una bomba con un flujo constante de 1.3 L/min, que permitía el movimiento del agua tratada para tener mayor contacto con el fotocatalizador, así mismo, las condiciones de operación consideradas fueron: tiempo (45, 90, 135 y 180 minutos) y dosis de dióxido de titanio (1, 2.5 y 5 g  $\text{TiO}_2$ /100 g AC). Los resultados obtenidos mostraron una remoción de arsénico promedio de 86.68%, 91.68% y 94.72%, respectivamente. Concluyéndose que la fotocatalisis heterogénea es una tecnología que remueve el arsénico del agua potable aprovechando la radiación solar para reducir los niveles de arsénico por debajo del límite máximo permisible (LMP) fijado en nuestro país por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010- SA.

Así mismo, Carranza (2022); en su estudio que realizó planteó como objetivo general degradar colorantes como: Azul de metileno, Tartrazina y Oxalato de verde de malaquita mediante fotocatalisis empelando mezclas de Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y Óxido de Zinc ( $\text{ZnO}$ ). Dentro de la metodología empelada en esta investigación se sintetizaron nanopartículas ( $\text{ZnO}$ )

y se utilizó el método de emulsión/evaporación, seguido se procedió a caracterizar las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  y  $\text{ZnO}$  mediante Difracción de rayos X (XRD) y Espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR); se preparó soluciones de Azul de metileno, Oxalato verde malaquita y tartrazina a concentración  $9,6 \times 10^{-5}$  mol/L,  $4,64 \times 10^{-3}$  mol/L y  $2,7 \times 10^{-4}$  mol/L respectivamente empelando 8 tratamientos con diversas concentraciones de catalizadores por colorante en el proceso fotocatalizador y se calculó los resultados mediante espectrofotometría UV-Vis doble haz. Obteniéndose como resultados que la mejor combinación de los catalizadores para la degradación de azul de metileno fue el  $\text{TiO}_2$  al 99,5% con  $\text{ZnO}$  al 0,5%, para la degradación de oxalato verde malaquita se usó los dos catalizadores al 50%, mientras que para la degradación de la tartrazina se empleó  $\text{TiO}_2$  al 75% con  $\text{ZnO}$  al 25% respectivamente logrando la mayor degradación de todos los tratamientos con una concentración de  $1,05 \times 10^{-9}$  mol/L para el azul de metileno,  $3,51 \times 10^{-8}$  mol/L para el oxalato verde malaquita y  $9,48 \times 10^{-8}$  mol/L para la tartrazina. Concluyendo que se comprobó que hay una gran eficiencia y eficacia en los procesos de oxidación fotocatalítica, mediante un catalizador  $\text{TiO}_2$ , logrando que la concentración de residuos contaminantes (azul de metileno, verde de malaquita y tartrazina) y el tiempo afectan directamente en el crecimiento, evolución y eficacia del proceso de la fotocatalisis.

Por otro lado, Apumaita y Mires (2021); en su estudio realizaron la degradación de una solución modelo de colorante azorrubina E - 122 empelando radiación ultravioleta y dióxido de titanio como catalizador. Dentro de la metodología se empleó un diseño factorial de dos factores a tres niveles de cada factor, concentración de colorante (2 ppm, 10 ppm y 20 ppm) y concentración del catalizador (15 ppm, 20 ppm y 30ppm) con un tiempo de 360 min de operación y la degradación de la concentración del colorante se analizó con un espectrofotómetro UV - Visible. Los resultados obtenidos muestran que el dióxido de titanio es

un magnífico fotocatalizador en la degradación de azorrubina, en conjunto con la radiación ultravioleta lograron una degradación del 87 % en 360 min, del mismo modo se alcanzó una remoción óptima de 2ppm de colorante con 30ppm de catalizador de 96.5%; y una remoción mínima de 51 % para una muestra con 10ppm de colorante y 15ppm de catalizador. Concluyendo que la cinética de la reacción es de 1er orden con una constante de velocidad promedio de  $0.96 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ , demostrando que la fotocatalisis heterogénea combinado con la radiación ultravioleta es un método eficiente para degradar el colorante azorrubina E-122.

En este mismo sentido, Diaz (2020); en su estudio realizó la degradación del colorante tartrazina empujando el proceso de fotocatalisis solar heterogénea, para lo cual utilizó óxido de zinc como catalizador, y como fuente energética la energía solar. Dentro de la metodología los ensayos se realizaron a nivel de laboratorio en un reactor batch, la reducción de la concentración del colorante se determinó en un espectrofotómetro UV. Obteniéndose como resultados que el óxido de zinc es un magnífico fotocatalizador para degradar la tartrazina, alcanzando una remoción del 63 % en 20 minutos. La cinética de reacción fotocatalítica se basa en el modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood, y es de 1er orden con una constante de velocidad promedio de  $164,36 \text{ min}^{-1}$  y el tiempo de vida media promedio de 22,36 minutos. Concluyéndose que mientras la concentración del colorante incrementa, la cinética de reacción se reduce, y para que la velocidad de reacción sea mayor la concentración óptima del colorante debe ser de 20 ppm; mientras que la cantidad de catalizador óptimo fue de 1 g/L.

Hay que mencionar que Fasanando y Vásquez (2018), en su estudio que realizaron plantearon reducir la concentración de un colorante recalcitrante presente en una solución acuosa, dicho colorante es conocido como amarillo ocaso FCF (E110) o amarillo N° 6, el cual se utiliza en la industria alimentaria. Dentro de la metodología empleada consideraron 3

variables con 3 niveles, con los cuales se trabajó en un rango más amplio, lo que les permitió determinar los parámetros fisicoquímicos ideales para lograr el porcentaje de reducción de la concentración del amarillo ocaso FCF. La determinación de la concentración del amarillo ocaso FCF se llevaron a cabo usando un espectrofotómetro UV, posteriormente realizaron mediciones del color de la solución empleando un colorímetro en la escala Platino / Cobalto. Una vez calculados los porcentajes de reducción de la concentración del amarillo ocaso FCF, se realizó un análisis estadístico en el software Minitab 18, basado en el diseño experimental Box Behnken, obteniendo, así como resultado que los parámetros fisicoquímicos óptimos corresponden a un pH = 3,3434, una concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 45 ppm y un tiempo de contacto de 60 min, del análisis estadístico se infiere que el porcentaje de reducción de ocaso FCF fue de 85,1731%.

Dentro del estudio realizado y las diferentes bases teóricas, se consideró los diferentes términos relacionados al mismo:

Las *aguas residuales* en combinación con otras sustancias alteran la calidad del agua, minimizando su potencial de uso; estas aguas se empelaron en alguna industria para un determinado fin, lo cual a incorporando en ellas sustancias que afectaron su calidad inicial; conteniendo material orgánico, inorgánico ya sea disuelto o en suspensión, por tal motivo necesitan un tratamiento previo antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo natural del agua o descargas al sistema de alcantarillado. Es así que dentro de las *características fisicoquímicas* de las Aguas Residuales tenemos: color, olor, sabor, sólidos totales, sólidos suspendidos, temperatura, turbidez, conductividad, materia orgánica (DBO y DQO), aceites y grasas, detergentes, entre otros (Pariona y Pineda, 2019, pp. 47).

El tratamiento de las aguas residuales es complejo gracias a la diversidad de

contaminantes y a su concentración, es así como dentro de las tecnologías de tratamiento para la remoción de colorantes tenemos a la fotocatalisis, el cual es un método que posee ventajas a diferencia de los métodos frecuentes empelados.

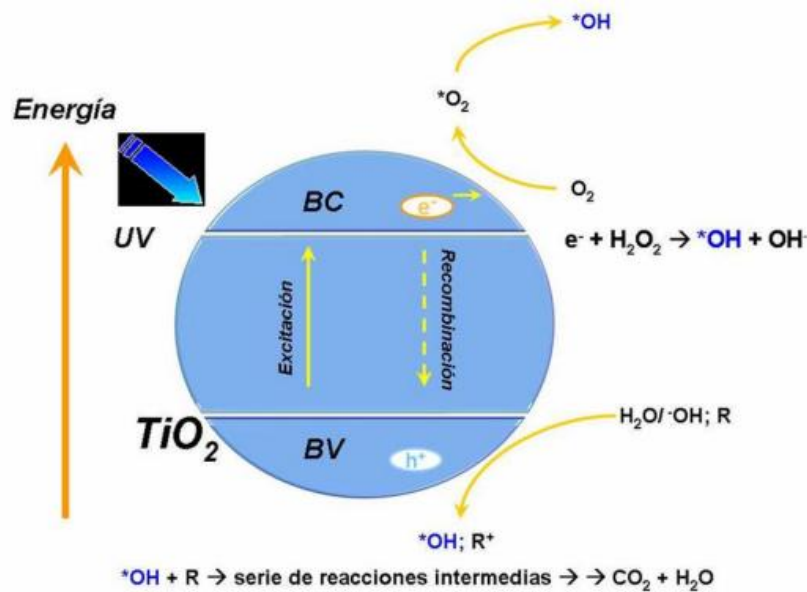
La **Fotocatálisis**, es un proceso que empela la luz para excitar un fotocatalizador y la velocidad de la reacción química se acelera sin involucrar al fotocatalizador, es decir la fotocatalisis son las reacciones realizadas en presencia de un semiconductor y luz, en este sentido las reacciones fotocatalíticas se llevan a cabo con moléculas de oxígeno en el aire, es así que la reducción de oxígeno es el proceso más importante en la reducción fotocatalítica. Considerando que la superficie de los fotocatalizadores de  $TiO_2$  está cubierta con moléculas de agua adsorbidas en ambientes ideales y que los fotocatalizadores se emplean para eliminar contaminantes del agua, la oxidación del agua vendría a ser el proceso relevante de la oxidación fotocatalítica (Chunga, 2018, pp. 21).

En este sentido la fotocatalisis se emplea para la degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos ya sea en el agua o aire, contribuyendo así a la remediación del ambiente; así mismo este proceso elimina también microorganismos que se encuentran en el agua, lo cual es parte de la desinfección del agua; este proceso es eficiente para la reducción de contaminantes emergentes presentes en efluentes alcanzando niveles de desinfección óptimos para el rehúso de estos efluentes; la fotocatalisis incrementa el contenido de oxígeno de los productos químicos presentes en el agua, e introduce OH y otros grupos funcionales oxigenados para convertir químicamente en derivados biodegradables (Vidal, 2021, pp. 20).

Del mismo modo el método de **Fotocatálisis Heterogénea**, es el mejor método de tratamiento de aguas residuales para la degradación de contaminantes ambientales por catalizadores, este método posee diversas 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, tiempo mínimo de contacto, elevado porcentaje de eliminación, costos reducidos, elevada estabilidad, e insumos sostenibles como son las nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, que presenta diversas características de electrones solitarios en el orbital externo; dicho electrón se foto excita a la banda de conducción vacía en femtosegundos, ya que el TiO<sub>2</sub> recibe una energía fotónica mayor que la energía de intervalo de banda, que suele ser de 3,2 eV (Chunga, 2018, pp. 22).

Figura 1 Diagrama Esquemático de Fotocatálisis Heterogénea



Nota: Tomado de (Chunga, 2018, pp. 22)

Pariona y Pineda (2019, pp. 57), mencionan que la fotocatálisis con luz solar es un proceso de oxidación avanzada usado para tratar aguas residuales con el fin de originar reacciones químicas de oxidación eliminando de este modo compuestos orgánicos, pero también puede emplear luz ultravioleta (UV); utiliza TiO<sub>2</sub> como fotocatalizador eficiente, puesto que acelera las reacciones químicas originadas por la luz. Con el fin de tomar lugar, la

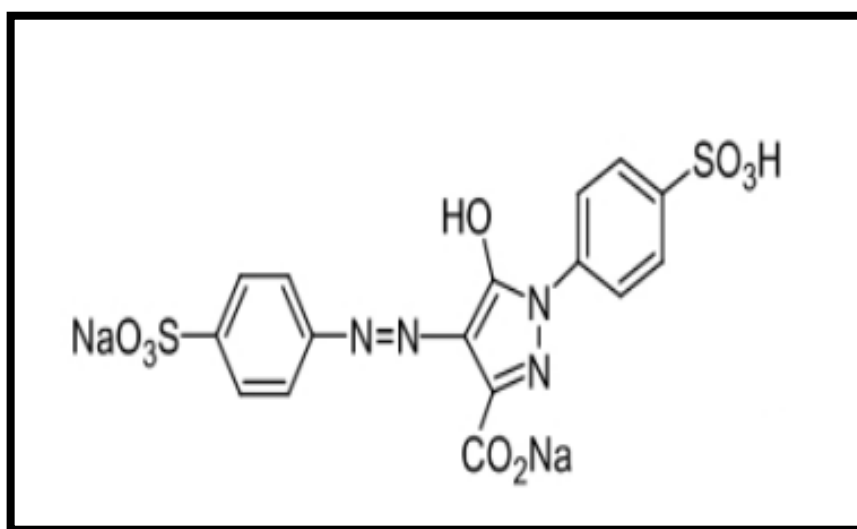
fotocatálisis heterogénea requiere que el catalizador absorba una cuanta energía, luego de la absorción de la energía, la especie absorbente genera portadores de carga (huecos electrones) y estos últimos son transferidos al oxidante, del mismo modo el catalizador acepta electrones del agente reductor los cuales cargan los huecos generados en la banda de valencia del semiconductor. De esta forma, el flujo neto de electrones es nulo y el catalizador permanece inalterado. La degradación foto catalítica heterogénea es simple: el uso de un semiconductor para generar suspensiones coloidales estables es bajo radiación para estimular una reacción en la interfaz solido-liquido (o solido-gas).

El *dióxido de titanio* ( $TiO_2$ ), es un componente inorgánico de tonalidad blanca que se utiliza color blanco el cual presenta propiedades reflectantes y es capaz de dispersar y absorber los rayos ultravioletas. Es así como la aplicación de  $TiO_2$  favorece el proceso fotocatalítico ya que presenta un elevado poder oxidativo y una escasa o nula selectividad, este proceso puede eliminar diversas sustancias y mezclas muy complejas, así mismo les brinda a las superficies la capacidad de desinfección, autolimpieza y descontaminación (Vidal, 2021, pp. 16)

La *tartrazina*, es un colorante sintético azoico que posee anillos aromáticos en ambos extremos, además de contar con la presencia de un arilo o alquilo en su estructura, lo que los denomina como AZO, presenta elevadas capacidades de coloración de manera principal en los tonos amarillos a rojos y aparte de su empleo como colorante de alimentos. La tartrazina (E102), brinda una coloración de amarillo limón y se presenta más que todo en refrescos y condimentos; así mismo la tartrazina es originado del alquitrán del carbón, sus tonalidades se dan desde amarillo fuerte al naranja intenso, pertenece al grupo de los azoicos y es muy soluble en agua (200 g.L-1 a 25°C), su fórmula química se representa como  $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$ , su masa molar es de 534,36 g /mol, su punto de fusión es alcanzado a los 350°C, su punto de ebullición se da

a los 870°C, su densidad es de 1,83 mg/cm<sup>3</sup> y su espectro de absorción en agua es de 426 nm (Avellán y Vera, 2024, pp. 10).

Figura 2 Estructura Química del Colorante Tartrazina



Nota: Tomado de (Fasando y Vásquez, 2018 pp. 22).

## 1.2 Formulación del problema

### Problema General

¿Cuál es el efecto de las nanopartículas de Dióxido de Titanio en la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo?

### Problema Específicos

- ¿Cuál es la dosis óptima de las nanopartículas Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo?
- ¿Cuál es el tiempo óptimo del tratamiento con nanopartículas de Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo?

- ¿Cómo lograr el efecto catalizador de las nanopartículas de Dióxido de Titanio en la degradación de la Tartrazina (E-102)?

### 1.3 Objetivos

#### Objetivo General

- Evaluar el efecto de las nanopartículas de dióxido de titanio en la degradación del colorante Tartrazina (E-102) de una solución modelo.

#### Objetivos Específicos

- Determinar la dosis óptima de las nanopartículas de Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.
- Determinar el tiempo óptimo del tratamiento con Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.
- Diseñar un sistema de radiación ultravioleta que permita activar el efecto catalizador del Dióxido de Titanio.

### 1.4 Hipótesis

#### Hipótesis General

El efecto de las nanopartículas de Dióxido de Titanio logrará alcanzar una degradación de la Tartrazina (E-102) en un rango de 80% a 90%.

#### Hipótesis Especificas

- La dosis óptima de las nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) influye significativamente en la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.

- El tiempo óptimo del tratamiento con Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) influye significativamente en la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.
- El sistema de radiación ultravioleta logra una correcta fotocatalisis de las nanopartículas de Dióxido de Titanio en la degradación de la Tartrazina (E-102).

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de Investigación

La investigación desarrollada es de tipo aplicada, puesto que, aplica la fotocatalisis del dióxido de titanio para el tratamiento de efluentes con contenido de tartrazina; según su diseño metodológico es experimental pues se manipuló intencionalmente la variable independiente (VI), para alcanzar una finalidad sobre la variable dependiente (VD) (Hernández, et al. 2014, pp. 90), asimismo, se clasifica como una investigación descriptiva, ya que se determinó el efecto fotocatalítico del dióxido de titanio en función al tiempo de exposición ante una muestra contaminada con tartrazina.

### 2.2 Población y Muestra

La población estuvo compuesta por dos soluciones modelo en las siguientes concentraciones:

C1 = 5mg de tartrazina/1.5l de agua destilada, equivale a 3.33 mg/l

C2 = 10mg de tartrazina/1.5l de agua destilada, equivale a 6.67 mg/l

La muestra fue un total de 20 litros de cada solución modelo (C1, C2), siendo 12 tomas de 60 ml por cada solución, 6 tomas para determinar el tiempo y 6 tomas para determinar la cantidad (g/l) de dióxido de titanio.

### 2.3 Equipos y Materiales

En cuanto a los equipos y materiales que se utilizó lo siguiente:

- a) Reactivos Químicos
  - Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)
  - Tartrazina

b) Material de campo

- Recipientes para toma de muestras
- Cámara fotográfica

c) Material de laboratorio

- Fiolas de 1L y de 100 ml
- Envase de 3L
- Espátula
- Luna de reloj
- Vaso precipitado
- Probeta
- Matraces de Erlenmeyer

d) Equipos de laboratorio:

- Balanza analítica, marca SARTORIUS
- Multiparámetro, marca HACH
- Fotocatalizador
- Turbidímetro

### ***2.3.1 Dióxido de Titanio***

Debido a sus propiedades catalíticas se adquirió nanopartículas de Dióxido de Titanio, las cuales fueron aplicadas en dosis de 100, 150 y 200 mg/L, respecto de las soluciones modelo C1 y C2.

### ***2.3.2 Sistema Fotocatalizador***

Se elaboró un sistema fotocatalizador casero que constó de 3 tuberías de vidrio borosilicato transparente ubicados en una estructura metálica con una inclinación de 12°, por los cuales recircularon las muestras, mientras eran expuestas a rayos UV.

## 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 2.4.1 Diseño Experimental

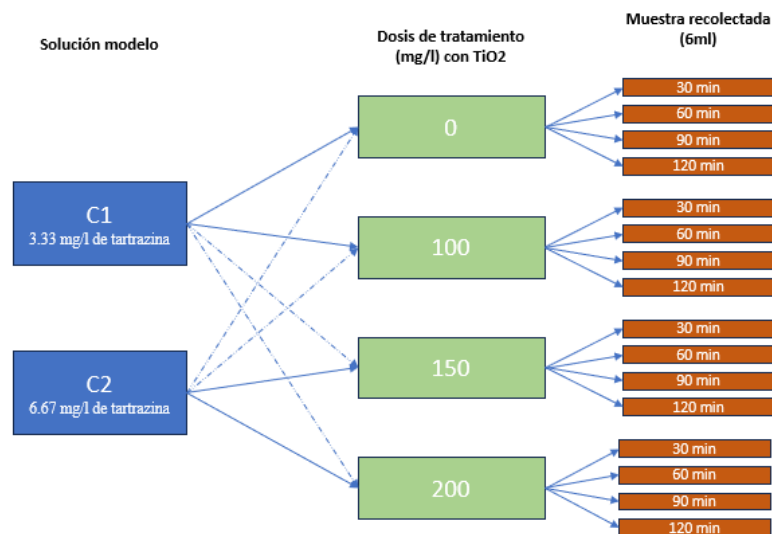
Tomando en consideración las metodologías empleadas por Apumaita y Mires (2021) y Vidal (2021) para determinar los tiempos y concentración de los tratamientos con TiO<sub>2</sub>, se determinó aplicar dosis de TiO<sub>2</sub> de 100mg/l, 150mg/l y 200mg/l en función de la solución modelo C1 y C2; asimismo, la toma de muestras se realizó a los 30, 60, 90, 120 minutos, por cada tratamiento aplicado a las soluciones C1 y C2, lo cual se puede apreciar en la Tabla 1 y la Figura 3.

Tabla 1 Matriz Experimental

Solución modelo	Concentración de Tartrazina (mg/l)	Concentración de TiO <sub>2</sub> (mg/l)	Toma de muestra (minutos)
C1	3.33	0	30, 60, 90 y 120
		100	
		150	
		200	
C2	6.67	0	30, 60, 90 y 120
		100	
		150	
		200	

Nota: Elaboración Propia

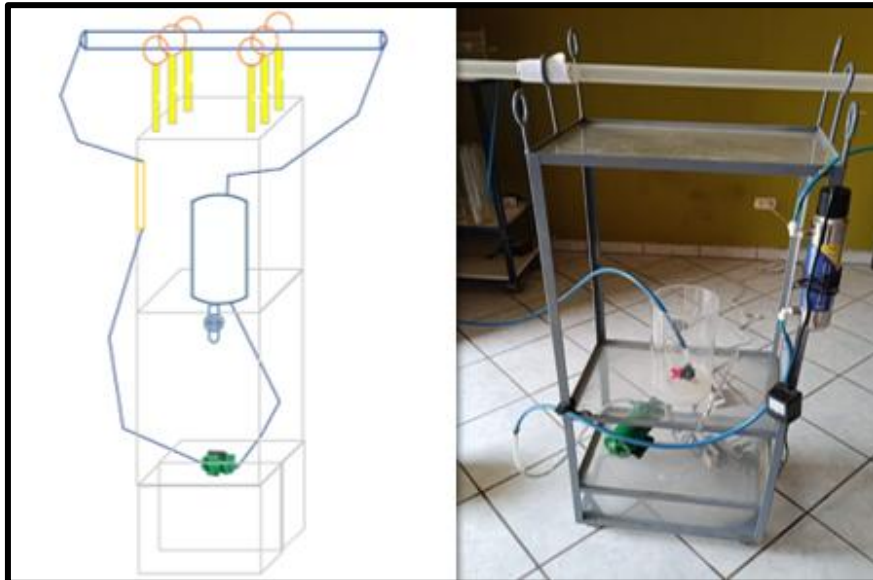
Figura 3. Diseño experimental



Nota: Elaboración Propia.

El diseño y elaboración del fotocatalizador casero, luego de una revisión exhaustiva de diversos estudios citados en el presente documento, se logró desarrollar un modelo (Fig.3) que constó de una bomba circuladora de agua de 0.75 hp, 1 tubería de vidrio borosilicato transparente sujetos por una estructura metálica con una inclinación de  $12^\circ$ , con las siguientes medidas: espesor (2mm), alto (70cm), ancho (50cm) y de longitud (1m); asimismo, se empleó una lámpara UV para agua de 2GPM, 16 watts, para activar el catalizador.

*Figura 4 Diseño del Sistema*



Nota: Elaboración Propia

Para la realización del experimento, se introdujo 1.5 litros de cada solución modelo (C1 y C2) en tiempos determinados, para que recirculen con ayuda de la bomba de agua en las tuberías conectadas al equipo de rayos UV; asimismo, a cada solución modelo se le añadió las dosis de  $\text{TiO}_2$  en concentraciones de 100, 150 y 200 mg/l, realizando las tomas de muestra de acuerdo a los tiempos establecidos en la Tabla 1 del presente documento.

#### **2.4.2 Recolección y análisis de datos**

De acuerdo a lo descrito en numeral 2.4.1. del diseño experimental, se recolectó 6ml de muestras en función al tiempo establecido, por cada solución modelo; cada muestra fue rotulada

y llevada en un cooler con ice pack para presévalas, y puedan ser analizadas mediante espectrofotometría UV en un laboratorio acreditado por la Dirección de Investigación Criminal (DIRINCRI), a fin de determinar las concentraciones finales de tartrazina luego de la aplicación del catalizador ( $\text{TiO}_2$ ). Los resultados obtenidos se transcribieron y evaluaron en el programa Ms. Excel, asimismo, para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa ANOVA y realizar el comparativo con las gráficas realizadas con el software MINITAB.

*Figura 5 Recolección y transporte de las muestras*



Nota: Elaboración Propia

### **2.4.3 Aspectos Éticos**

Los autores del presente estudio respetaron la propiedad intelectual de aquellos autores mencionados en la investigación, citándolos y referenciándolos adecuadamente. Para la determinación de los análisis se solicitaron los permisos respectivos del laboratorio de la Policía Nacional del Perú – Oficina de Criminalística mediante el uso de un equipo certificado, a fin de que se facilite el uso del laboratorio, respetando los manuales y protocolos estipulados para tal fin; puesto que, el laboratorio en mención cuenta con la acreditación respectiva.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al aplicar el fotocatalizador TiO<sub>2</sub> a soluciones modelo contaminadas con tartrazina; para ello, fue necesario realizar pruebas de absorbancia usando el equipo UV-VIS Spectrophotometer, para obtener las longitudes de onda de cada muestra analizada.

El cálculo del porcentaje degradación de la tartrazina y la reacción cinética, siguieron la metodología aplicada por Apumaita y Mires (202), aplicando las siguientes fórmulas:

#### Porcentaje de degradación

Se determinó aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Degradación} = \frac{X_i - X_f}{X_i} \times 100\%$$

Siendo:

$X_i$  = concentración inicial

$X_f$  = concentración final

#### Cinética de la reacción

Para poder conocer la velocidad de las reacciones llevadas a cabo mediante el proceso fotocatalítico entre el colorante (Tartrazina) y el catalizador (Dióxido de Titanio), se aplicó la metodología de Langmuir – Hinshelwood; la cual se muestra a continuación, luego de integrar la ecuación de la metodología mencionada, para hallar la constante de velocidad cinética (K).

$$K_t = \ln \left( \frac{X_i}{X_f} \right)$$

Siendo:

$X_i$  = concentración inicial

$X_f$  = concentración final

### 3.1 Resultados de la solución modelo C1

De acuerdo al diseño experimental, la solución modelo C1 y su tratamiento con el catalizador se realizaron conforme a las composiciones descritas en las tablas 2 y 3.

Tabla 2 Composición de la solución modelo C1

Código	Contaminante	Peso (mg)	Volumen (litros)	Concentración (mg/l)
C1	Tartrazina	5	1.5	3.33

Nota: Elaboración Propia

Tabla 3 Concentraciones de tratamiento aplicado

Código	Tratamiento	Peso (mg)	Volumen (litros)	Concentración (mg/l)
C1	Dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	100	1.5	66.7
		150	1.5	100
		200	1.5	133.33

Nota: Elaboración Propia

De acuerdo con las muestras analizadas en el laboratorio de 6ml de la C1, tomadas en los intervalos de 0, 30, 60, 90 y 120 minutos, respecto de cada dosis de tratamiento con Dióxido de Titanio, se obtuvo los datos descritos en la Tabla4:

Tabla 4. Concentración final de tartrazina en intervalos de tiempo de 30, 60, 90 y 120 min, luego de la aplicación del tratamiento con TiO<sub>2</sub>.

Solución modelo	Concentración (mg)	Solución (mg/l)	Tiempo (min)	Concentración de Tartrazina X <sub>f</sub>		
				mg	mg/l	
C1 (5mg/1.5l de agua)	Xi Tartrazina	5.06	3.37	0	5.06	3.37
				30	4.35	2.90
				60	3.45	2.30
				90	2.76	1.84
				120	0.7	0.47
	Yi Dióxido de titanio (Ti <sub>2</sub> O)	100	66.67			

Xi			0	4.97	3.31
Tartrazina	4.97	3.31	30	3.92	2.61
Yi			60	2.67	1.78
Dióxido de titanio (Ti2O)	150	100	90	1.8	1.20
			120	0.52	0.35
Xi			0	5.08	3.39
Tartrazina	4.97	3.39	30	3.7	2.47
Yi			60	2.52	1.68
Dióxido de titanio (Ti2O)	200	133.33	90	1.43	0.95
			120	0.32	0.21

Nota: Elaboración Propia

El porcentaje de concentración de tartrazina y su disminución en función del tiempo, se detallan en las tablas 5 y 6, lo cual permite comparar la eficiencia del tratamiento en función de tiempo y dosis de tratamiento.

Tabla 5. Porcentaje de eficiencia y velocidad cinética del tratamiento

Solución modelo	Solución Inicial (mg/l)	Tiempo (min)	Concentración de Tartrazina Xf	Cinética fotocatalítica	Eficiencia	
			mg/l	Ln (Xi/Xf)	%	
C1	Xi Tartrazina	3.37	0	3.37	0.00	
			30	2.90	0.15	<b>13.95</b>
	Yi Dióxido de titanio (Ti2O)	66.67	60	2.30	0.38	<b>31.75</b>
			90	1.84	0.61	<b>45.40</b>
			120	0.47	1.98	<b>86.05</b>
	Xi Tartrazina	3.31	0	3.31	0.00	
			30	2.61	0.24	<b>21.15</b>
	Yi Dióxido de titanio (Ti2O)	100	60	1.78	0.62	<b>46.22</b>
			90	1.20	1.01	<b>63.75</b>
			120	0.35	2.26	<b>89.43</b>
	3.39	0	3.39	0.00		

Xi				
Tartrazina		30	2.47	0.32
Yi		60	1.68	0.70
Dióxido de titanio (Ti2O)	133.33	90	0.95	1.27
		120	0.21	2.77

Nota: Elaboración Propia

Tabla 6. Comparativo de la eficiencia del tratamiento con TiO2 en función del tiempo y dosis.

**Remoción de Tartrazina de la solución modelo C1**

Tratamiento con TiO <sub>2</sub>	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Eficiencia	Tiempo	
	0	30 min		60 min	90 min		120 min				
	[ ] Inicial mg/L	[ ] Final mg/L	%	[ ] Final mg/L	%	[ ] Final mg/L	%	[ ] Final mg/L	%		
<b>100 mg</b>	<b>3.37</b>	2.9	<b>13.95</b>	2.3	<b>31.75</b>	1.84	<b>45.40</b>	0.47	<b>86.05</b>		
<b>150 mg</b>	<b>3.31</b>	2.61	<b>21.15</b>	1.78	<b>46.22</b>	1.2	<b>63.75</b>	0.35	<b>89.43</b>		
<b>200 mg</b>	<b>3.39</b>	2.47	<b>27.14</b>	1.68	<b>50.44</b>	0.95	<b>71.98</b>	0.21	<b>93.81</b>		

Nota: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla 6, se obtuvo un porcentaje de eficiencia del 93.81% con un tratamiento de 20mg de TiO2 en un tiempo de 120 minutos.

### 3.2 Resultados de la solución modelo C2

De acuerdo al diseño experimental, la solución modelo C1 y su tratamiento con el catalizador se realizaron conforme a las composiciones descritas en las tablas 7 y 8.

Tabla 7 Composición de la solución modelo C2

Código	Contaminante	Peso (mg)	Volumen (litros)	Concentración (mg/l)
C2	Tartrazina	10	1.5	6.67

Nota: Elaboración Propia

Tabla 8. Concentraciones de tratamiento aplicado

Código	Tratamiento	Peso (mg)	Volumen (litros)	Concentración (mg/l)
C2	Dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	100	1.5	66.7
		150	1.5	100
		200	1.5	133.33

Nota: Elaboración Propia

De acuerdo con las muestras analizadas en el laboratorio de 6ml de la C2, tomadas en los intervalos de 0, 30, 60, 90 y 120 minutos, respecto de cada dosis de tratamiento con Dióxido de Titanio, se obtuvo los datos descritos en la Tabla9:

 Tabla 9. Concentración final de tartrazina en intervalos de tiempo de 0, 30, 60, 90 y 120 min, luego de la aplicación del tratamiento con TiO<sub>2</sub>.

Solución modelo	Concentración (mg)	Solución (mg/l)	Tiempo (min)	Concentración de Tartrazina Xf		
				mg	mg/l	
<b>C2</b> (10mg/1.5l de agua)	Xi Tartrazina	9.96	6.64	0	9.96	6.64
				30	8.15	5.43
				60	6.8	4.53
				90	3.48	2.32
	Yi Dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	100	66.67	120	1.5	1.00
				0	10.09	6.73
				30	7.9	5.27
				60	6.23	4.15
	Yi Dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	150	100	90	4.8	3.20
				120	1.17	0.78
				0	10.07	6.71
				30	7.4	4.93
Yi Dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	200	133.33	60	5.2	3.47	
			90	2.8	1.87	
			120	0.72	0.48	
			0	10.07	6.71	

Nota: Elaboración Propia

El porcentaje de concentración de tartrazina y su disminución en función del tiempo, se detallan en las tablas 10 y 11, lo cual permite comparar la eficiencia del tratamiento en función de tiempo y dosis de tratamiento.

Tabla 10. Porcentaje de eficiencia y velocidad cinética del tratamiento

Solución modelo	Solución inicial	Tiempo	Concentración de Tartrazina Xf	Cinética fotocatalítica	Eficiencia		
	(mg)	min	mg/l	Ln (Xi/Xf)	%		
C2	Xi Tartrazina	0	6.64	0.00			
		30	5.43	0.20	<b>18.17</b>		
	Yi Dióxido de titanio (Ti2O)	60	4.53	0.38	<b>31.73</b>		
		90	2.32	1.05	<b>65.06</b>		
		120	1.00	1.89	<b>84.94</b>		
	Xi Tartrazina	6.73	0	6.73	0.00		
			30	5.27	0.25	<b>21.74</b>	
		Yi Dióxido de titanio (Ti2O)	100	60	4.15	0.48	<b>38.29</b>
				90	3.20	0.74	<b>52.45</b>
	Xi Tartrazina	6.72	0	6.71	0.00		
			30	4.93	0.31	<b>26.59</b>	
		Yi Dióxido de titanio (Ti2O)	133.33	60	3.47	0.66	<b>48.41</b>
90				1.87	1.28	<b>72.22</b>	
		120	0.48	2.64	<b>92.86</b>		

Nota: Elaboración Propia

Tabla 11. Comparativo de la eficiencia del tratamiento con TiO<sub>2</sub> en función del tiempo y dosis.

Remoción de Tartrazina de la solución modelo C2									
Tratamiento con TiO <sub>2</sub>	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Eficiencia
	0	30 min		60 min	90 min		120 min		
	[ ] Inicial mg/L	[ ] Final mg/L	%	[ ] Final mg/L	%	[ ] Final mg/L	%	[ ] Final mg/L	%
<b>100 mg</b>	<b>6.64</b>	5.43	<b>18.17</b>	4.53	<b>31.73</b>	2.32	<b>65.06</b>	1.00	<b>84.94</b>
<b>150 mg</b>	<b>6.73</b>	5.27	<b>21.74</b>	4.15	<b>38.29</b>	3.2	<b>52.45</b>	0.78	<b>88.41</b>
<b>200 mg</b>	<b>6.72</b>	4.93	<b>26.59</b>	3.47	<b>48.41</b>	1.87	<b>72.22</b>	0.48	<b>92.86</b>

Nota: Elaboración Propia

Respecto de la C2, el mayor porcentaje de eficiencia fue de 92.86%, para un tratamiento de 200mg de TiO<sub>2</sub>, en un tiempo de 120 minutos.

### 3.3 Análisis estadístico

Para desarrollar el análisis correspondiente se agrupan los resultados según lo obtenido en la experimentación comparando las variables: Nanopartículas de dióxido de titanio VS Degradación del Colorante Tartrazina, para lo cual se analiza la eficiencia en la remoción del Colorante Tartrazina, por lo que se agrupa los resultados de la siguiente manera:

Según los datos analizados se aplicará el método denominado Diseño Completamente al Azar (DCA) que permitirá comprobar cuál de los tratamientos para reducir Tartrazina es más eficiente.

#### 3.3.1. Prueba de normalidad

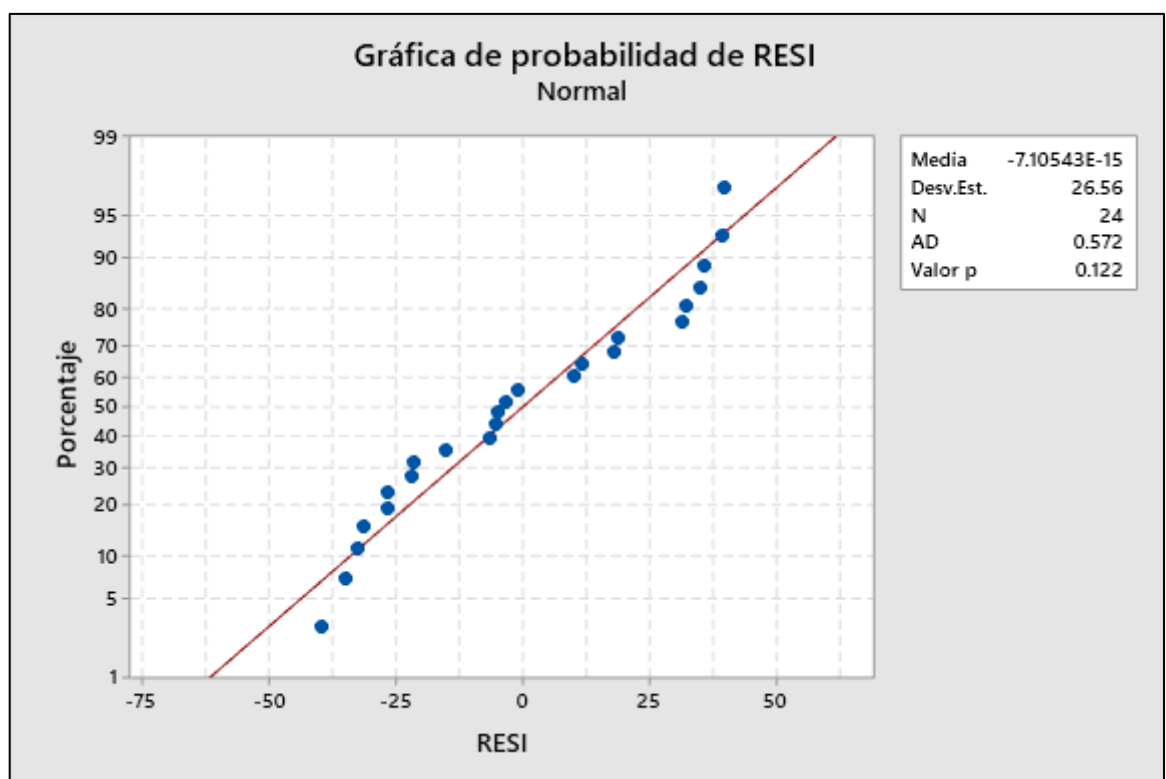
Se analiza el comportamiento estadístico de los datos en función de la normalidad de lo cual surgen dos hipótesis:

H<sub>0</sub>: Los residuos se distribuyen en distribución normal

H<sub>a</sub>: Los residuos no se distribuyen en distribución normal

Para lo cual se utilizará la prueba de Anderson Darling para comprobar y verificar dichos supuestos:

Figura 6. Resultado de prueba de normalidad AD en los datos obtenidos



Nota. Elaborado en el software MINITAB versión 19

De los resultados obtenidos en la prueba se obtiene un estadístico AD= 0.572 y un valor  $p = 0.122$  que es mayor que el valor  $p$  admisible de la investigación que es 0.05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula lo que con una significancia de 5% se acepta el supuesto que los datos se distribuyen en distribución normal.

### 3.3.2. Prueba de Homogeneidad de Varianzas

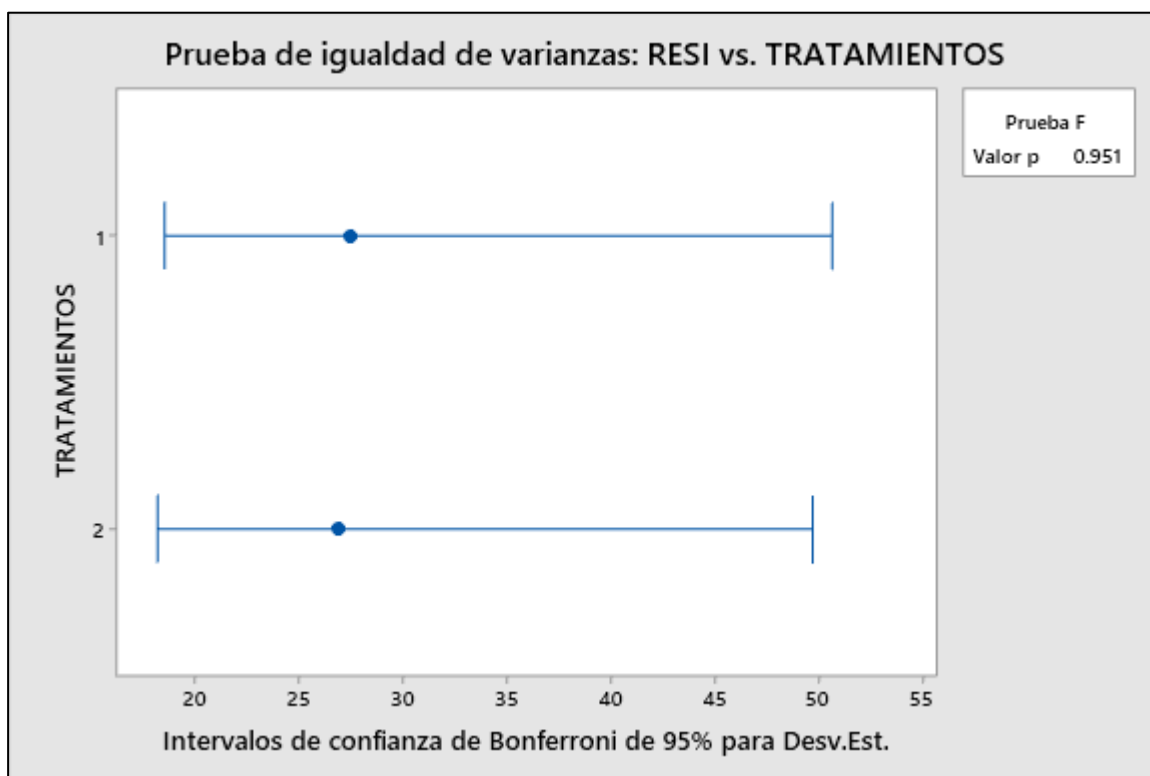
Se realiza esta prueba para verificar la homogeneidad de las varianzas y verificar que la dispersión de los datos es constante con las siguientes hipótesis, teniendo en cuenta que los datos se comportan o se alinean en una distribución normal para lo cual se usa la prueba de Bartlett, verificando:

H0: Todas las varianzas son iguales

Ha: Al menos una varianza es diferente

De lo que se obtiene:

Figura 7. Prueba de Homogeneidad de Varianzas



Nota. Elaborado en el software MINITAB versión 19

De lo que se obtiene un estadístico de Bartlett = 1.54 y un valor p = 0.951 que es mayor al valor p de la investigación (0.05) por lo que se acepta la hipótesis nula por lo que con un con una significancia de 5%, se acepta el supuesto que todas las varianzas son iguales.

### 3.4 ANOVA

Se trata de demostrar si uno de los tratamientos es significativo o influye en la degradación Tartrazina, por lo que se plantea las siguientes hipótesis:

H0: Todos los tratamientos son iguales al momento de degradar Tartrazina

Ha: Al menos un tratamiento es diferente es decir tiene efectos significativos sobre la degradación de Tartrazina.

Para lo cual se analiza en base a la prueba de Fisher en base a un análisis de varianzas (ANOVA) por lo que se obtiene que el valor  $F = 68.95$  y un valor  $p = 0.000$ , porque el valor  $p$  es menor al valor  $p$  de la investigación por lo que rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna por lo que con una significancia del 5%, se acepta el supuesto que al menos un tratamiento es diferente, es decir tiene efecto significativo sobre la degradación de Tartrazina, validando la investigación y dando una evidencia estadística que existe un tratamiento que presenta mayor y mejor eficiencia en el proceso de degradación de Tartrazina.

Tabla 12. Prueba ANOVA (prueba Fisher) de verificación de Significancia de los tratamientos aplicados

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
EXPERIENCIAS	11	15972.0	1452.00	68.85	0.000
Error	12	253.1	21.09		
Total	23	16225.0			

Nota. Elaborado en el software MINITAB versión 19

Tabla 13. Verificación de mejor tratamiento en degradación de Tartrazina

TRATAMIENTOS	EXPERIENCIAS	DOSIS DE TARTRAZINA	DOSIS DE DIOXIDO DE TITANIO	% EFICIENCIA DE REMOCIÓN	CONCENTRACIÓN DE TARTRAZINA	TIEMPO DE TRATAMIENTO
1	12	5 mg/ 1.5L	200 mg	93.81	5 mg	120 min

Nota. Elaboración propia en base a los resultados estadísticos obtenidos

Por lo que 93.81% con una dosis de 5 mg/ 1.5L y dosis de Dióxido de Titanio de 200g que es el primer tratamiento aplicado el más significativo estadísticamente.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 DISCUSIONES

Apumaita y Mires (2021), realizaron un estudio de la degradación de una solución modelo de colorante azorrubina E – 122 mediante radiación ultravioleta y  $\text{TiO}_2$  como catalizador, considerando concentraciones de colorante de: 2 ppm, 10 ppm y 20 ppm y concentración del catalizador de: 15 ppm, 20 ppm y 30ppm en un tiempo de 360 min de operación, donde obtuvieron como resultado que el  $\text{TiO}_2$  logró una remoción óptima de 2ppm de colorante con 30ppm de catalizador de 96.5%. En nuestro trabajo de investigación se empleó tres dosis de tratamiento, siendo el tercer tratamiento el más eficiente con una dosis de 200mg de  $\text{TiO}_2$ , el que obtuvo una eficiencia de remoción de colorante tartrazina de 93.81% en 120 minutos para la muestra preparada con 5 mg de tartrazina; mientras que para la muestra preparada con 10 mg de tartrazina se obtuvo una eficiencia de remoción de colorante de 92.86% en el mismo tiempo de 120 minutos; resultados que se encuentran dentro del rango obtenido por Apumaita y Mires (2021).

Así mismo, Diaz (2020), en su estudio realizó la degradación del colorante tartrazina mediante el proceso de fotocátalisis solar heterogénea, para lo cual utilizó óxido de zinc como catalizador, y como fuente energética la energía solar, donde logró una remoción del colorante del 63 % en 20 minutos; a diferencia de nuestra investigación que en un tiempo de 30 min con una dosis de  $\text{TiO}_2$  de 200 mg se logró eficiencias de reducción del colorante de 27.14% y 26.59% para las muestras preparadas con 5 mg y 10 mg respectivamente, por lo que, para un tratamiento mediante la aplicación de  $\text{TiO}_2$  resulta necesario un mayor tiempo para alcanzar un mayor porcentaje de remoción.

En ese sentido, una mayor dosis de  $\text{TiO}_2$  y tiempo de tratamiento asegura un mayor

porcentaje de remoción de la tartrazina con una concentración de 5ml/1.5l, asimismo, el haber logrado la remoción de la tartrazina, evidencia que la exposición a los rayos UV permitió la fotocatalisis del dióxido de Titanio, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Arroyave et. al (2009), que señalan que, a medida que se incrementa el tiempo de tratamiento e irradiación, se logra un mayor porcentaje de mineralización de la tartrazina.

## 4.2 CONCLUSIONES

- ❖ Se diseñó un sistema fotovoltaico teniendo como componentes una bomba de agua, tubos, soportes, estanterías, estructura en forma de cilindro acrílico, mangueras de agua, llaves de agua; el cual permitió para acelerar la reacción fotoquímica del  $TiO_2$ , logrando degradar la tartrazina de una solución modelo.
- ❖ Se evaluó el efecto de las nanopartículas del dióxido de titanio para la degradación de la tartrazina en una solución modelo, dando como resultado una tasa de remoción diferente dependiendo al tiempo que este expuesta la tartrazina en el sistema de tratamiento.
- ❖ De los resultados podemos concluir que a mayor tiempo de exposición a los rayos UV y tiempo de tratamiento, se obtiene un mayor porcentaje de remoción del colorante, siendo en esta investigación, un tiempo óptimo de 120 minutos.
- ❖ Se concluye según los datos obtenidos y analizados mediante la comparación de medias de Tukey, que la eficiencia de la degradación de la tartrazina, de la solución C1 preparada con 5 mg (de tartrazina en un volumen de 1.5L) donde se empleó una dosis de tratamiento de 200 g de dióxido de titanio, resultó ser el más significativo estadísticamente, es decir, la dosis más óptima.

### 4.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el experimento en temporada de verano para poder tener mayor capacidad de degradación mediante luz solar.
- Para una mayor generación de volumen de tartrazina degradada, se recomienda implementar tubos en paralelo, cambio de bomba de agua y conectado al sistema para generar mayor volumen en menos tiempo.
- Para optimizar el empleo del equipo UV se recomienda implementar dos o más en el caso de ampliar el sistema.
- Se recomienda realizar el análisis posterior a los 120 minutos de iniciado el experimento para determinar posibles cambios en la concentración de la tartrazina en la solución modelo.

## REFERENCIAS

- Alcantra, A. (2021). *Material Zeolítico modificado con Nanopartículas de ZnO empleado en la remoción de Amarillo 5 y Evaluación de su comportamiento tóxico en la especie Lactuca Sativa*. [Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencia de Materiales. Universidad Autónoma del estado de México]. Repositorio de la Universidad Autónoma del estado de México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/111413/TESIS%20DOCTORAL%20ADRIAN%20ALCANTARA%20%20COBOS%20JUL%2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alegre, Y. y Rosales, S. (2017). *Influencia del tipo de fotocatalisis y tiempo en el tratamiento de aguas residuales textiles*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico del Gas Natural y Energía. Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3790>
- Apumaita, E. y Mires, C. (2021). *Degradación del Colorante Azorrubina E-122 mediante un sistema combinado de radiación Ultravioleta y Dióxido de Titanio a partir de una solución modelo*. [Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias Químicas. Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao. [https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6353/TESIS\\_MAESTRO\\_APUMAITA\\_MIRES\\_FIQ\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6353/TESIS_MAESTRO_APUMAITA_MIRES_FIQ_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arroyave, J., Garcés, L. y Arango, A. (2009). Mineralización del colorante tartrazina mediante un proceso de oxidación avanzada. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(2), 46-53. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3400499.pdf>
- Avellán, G. y Vera, M. (2024). *Hidrocarbón a partir de Tusa de Maíz (Zea Mays) para la adsorción del colorante amarillo Tartrazina en Soluciones Acuosas*. [Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

[https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2342/1/TIC\\_IA70D.pdf](https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2342/1/TIC_IA70D.pdf)

Calvo, D. (2020). *Obtención y caracterización de TiO<sub>2</sub> modificado con OG para la degradación de contaminantes con radiación solar*. [Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencias de la Energía. Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio de la Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/9005/1/FQDCC-247163.pdf>

Calla, K. y Chavarría, O. (2023). *Remoción de Arsénico en el agua potable mediante Fotocatálisis heterogénea usando Óxido de Titanio como Catalizador*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7911/TESIS-CALLA-CHAVARRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carranza, J. (2022). *Degradación por fotocatálisis de colorantes en medio acuoso utilizando mezclas de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y óxido de zinc (ZnO)*. [Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio de la Universidad Nacional de Tumbes. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/63482/TESIS%20-%20CARRANZA%20SALAZAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Centeno, G. (2021). Solar Photocatalysis: A Promising Technology for the Treatment of Organic Matter and Water Disinfection. *Ciencia en Revolución*, 7 (21), pp. 73–86. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5722065>

Chunga, K. (2018). *Degradación del color y la turbidez en agua residual textil real empleando TiO<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en un reactor fotocatalítico – Lima 2018*. [Tesis para optar el título Profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/28014/CHUNGA\\_MK.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/28014/CHUNGA_MK.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Díaz, P. (2020). *Degradación de la tartrazina mediante fotocatálisis solar heterogénea usando*

- óxido de zinc*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/5156/DIAZ%20BRAVO%20-%20FIQ%20-%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fasanando, S. y Vásquez, L. (2018). *Procesos de Oxidación Avanzada para la reducción de la Concentración del amarillo Ocaso FCF (E110)*. {Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Callao}. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7175/FASANANDO%20-%20VASQUEZ%20%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerrero, A. (2020). *Degradación fotocatalítica de azocolorantes en agua utilizando óxido de manganeso y óxido de titanio como catalizadores*. [Tesis para Optar el Título de Ingeniero Industrial. Universidad Autónoma del estado de Morelos]. Repositorio de la Universidad Autónoma del estado de Morelos. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3123/GUSALD09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta Edición). MCGRAW-HILL. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Methodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Muños, D. y Huamán, S. (2022). *Evaluación del Tratamiento Fotocatalítico con Dióxido de Titanio tipo rutilo para la degradación de clorpirifos en una solución modelo*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30686>
- Pariona, D. y Pineda, R. (2019). *Eficiencia de oxidación fotocatalítica heterogénea mediante nanopartículas de Dióxido de Titanio y Peróxido de hidrogeno en aguas residuales de un servicio de alimentación hospitalaria*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad

- Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3035>
- Pérez, N. (2018). *Tratamiento de Aguas Residuales de Industria Textil mediante Fotocatálisis con Dióxido de Titanio*. [Tesis para optar el título Profesional de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación. Universidad de las Américas]. Repositorio de la Universidad de las Américas. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9316/1/UDLA-EC-TIAM-2018-22.pdf>
- Polo, D. (2017). *Degradación oxidativa de moléculas modelo de efluentes de la industria textil utilizando cobaltita nanométrica como fotocatalizador*. [Tesis para Optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad de la Costa]. Repositorio de la Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/188/1.084.789.398.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tarango, E. (2022). *Estudio de la fotodegradación de rojo carmín a alta temperatura mediante un sistema acoplado de calentamiento destilación solar*. [Tesis para Optar el Grado de Maestra en ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio de la Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/140548/TESIS%20MCA%20ECTB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vidal, D. (2021). *Fotocatálisis del dióxido de titanio en la reducción de parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos en Aguas Residuales de una Empresa Agroindustrial, Lima 2020*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30431/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Zagoya, M. (2023). *Obtención de películas delgadas de CdTiO<sub>3</sub> por síntesis sol-gel decoradas con nanopartículas de Au, para aplicaciones fotocatalíticas con luz solar*. [Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencias de la Energía. Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio de la Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/8966/1/FQMAC-300278.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO N° 1. *Matriz de consistencia*

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables			
Problema Principal	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
¿Cuál es el efecto de las nanopartículas de Dióxido de Titanio en la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo?	Evaluar el efecto de las nanopartículas de dióxido de titanio en la degradación del colorante Tartrazina (E-102) de una solución modelo.	El efecto de las nanopartículas de Dióxido de Titanio logrará alcanzar una degradación de la Tartrazina (E-102) en un rango de 80% a 90%.	Efectos de las Nanopartículas de Dióxido de Titanio	Parámetros del Tratamiento	Dosis de TiO <sub>2</sub>	mg/L
					Tiempo de Tratamiento	min
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
• ¿Cuál es la dosis óptima de las nanopartículas Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo?	•Determinar la dosis óptima de las nanopartículas de Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.	•La dosis óptima de las nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) influye significativamente en la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.		Degradación de la Tartrazina (E-102)	Concentración de Tartrazina	mg/L
• ¿Cuál es el tiempo óptimo del tratamiento con nanopartículas de Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo?	•Determinar el tiempo óptimo del tratamiento con Dióxido de Titanio para la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.	•El tiempo óptimo del tratamiento con Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) influye significativamente en la degradación de la Tartrazina (E-102) de una solución modelo.	Degradación del colorante tartrazina (E-102)			
• ¿Cómo lograr el efecto catalizador de las nanopartículas de Dióxido de Titanio en la degradación de la Tartrazina (E-102)?	•Diseñar un sistema de radiación ultravioleta que permita activar el efecto catalizador del Dióxido de Titanio.	•El sistema de radiación ultravioleta logra una correcta fotocatalisis de las nanopartículas de Dióxido de Titanio en la degradación de la Tartrazina (E-102).		Porcentaje de remoción de la Tartrazina (E-102)	Porcentaje de tartrazina en función del tiempo	%

ANEXO N° 2. *Panel Fotográfico de la Experimentación*



ANEXO 3: *Certificado de Laboratorio – Lectura de Concentración de Tartrazina*

**POLICÍA NACIONAL DEL PERÚ**  
 Oficina de Criminalística

**INFORME DE INGENIERIA FORENSE**
**Nº FQ 01-06/2023**
**A. PROCEDENCIA:** UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.

**B. ANTECEDENTE:** RECEPCION DIRECTA.

**C. DATOS DEL PERITO:**

 Nombres y apellidos : MAY. S. PNP. Wilfredo David SEJJE SUAREZ.  
 N° de colegiatura : CIP 137424 Ingeniero Químico.  
 DNI : 42830642  
 Dirección Laboral : Av. Aramburú Nro. 550-Surquillo-Lima.

**D. MUESTRA:** N° EXP 01-06 UNAC.

**E. DESCRIPCION:**

Se recibió 03 cooler con refrigerante de color blanco con tapa azul lacrado y asegurado con cinta adhesiva; dentro de cada contenedor se encontraron DIEZ (10) frascos de vidrio color ámbar con tapa rosca de plástico, conteniendo líquido, las muestras contienen lo siguiente:

- Experimento N° 01 5mg -100mg
- Experimento N° 02 10mg -150mg
- Experimento N° 03 5mg -200mg
- Experimento N° 04 10mg -100mg
- Experimento N° 05 5mg -150mg
- Experimento N° 06 10mg -200mg.

**F. ANALISIS:**
**OBJETIVO:** Determinar la concentración de la solución de tartrazina en las diferentes muestras.

**METODO:** Experimental – Analítico instrumental, espectrofotometría UV - Visible.

**RESULTADOS:**

Experimento N° 01 5mg -100mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	5.06	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	4.35	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	3.45	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	2.76	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	0.70	mg.g <sup>-1</sup>

Experimento N° 02 10mg -150mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	10.09	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	7.90	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	6.23	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	4.80	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	1.17	mg.g <sup>-1</sup>



**POLICÍA NACIONAL DEL PERÚ**  
Oficina de Criminalística

INFORME DE INGENIERIA FORENSE

FQ 01-06/2023

Experimento N° 03 5mg -200mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	5.08	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	3.70	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	2.52	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	1.43	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	0.32	mg.g <sup>-1</sup>

Experimento N° 04 10mg -100mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	9.96	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	8.15	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	6.80	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	3.48	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	1.50	mg.g <sup>-1</sup>

Experimento N° 05 5mg -150mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	4.97	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	3.92	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	2.67	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	1.80	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	0.52	mg.g <sup>-1</sup>

Experimento N° 06 10mg -200mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	10.07	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	7.40	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	5.20	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	2.80	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	0.72	mg.g <sup>-1</sup>

\* Calibración presenta un R<sup>2</sup> de 0.99985

**G. OTROS.**

Todas las muestras son agotadas en los análisis químicos.

**H. CONCLUSION.**

Por los resultados obtenidos en el examen, el contenido de las muestras examinadas de los SEIS (06) experimentos con diferentes muestras de sustancias líquidas, corresponden a soluciones de agua con tartrazina en diferentes concentraciones como de describen en el análisis.

WDSS.



SURQUILLO, 10 de noviembre del 2023.

OS - 391110  
Wlfrado David SEJUE SUAREZ  
MAYOR S PNP  
PERITO INGENIERO FORENSE  
DINCRUPNP



**POLICÍA NACIONAL DEL PERÚ**  
Oficina de Criminalística

**INFORME DE INGENIERIA FORENSE**

**FQ 01-06/2023**

- A. PROCEDENCIA:** UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.  
**B. ANTECEDENTE:** RECEPCION DIRECTA.

**C. DATOS DEL PERITO:**

Nombres y apellidos : MAY. S. PNP. Wilfredo David SEJJE SUAREZ.  
N° de colegiatura : CIP 137424 Ingeniero Químico.  
DNI : 42830642  
Dirección Laboral : Av. Aramburú Nro. 550-Surquillo-Lima.

**D. MUESTRA:** N° EXP 01-06 UPN.

**E. DESCRIPCION:**

Se recibió 03 cooler con refrigerante de color blanco con tapa azul lacrado y asegurado con cinta adhesiva; dentro de cada contenedor se encontraron DIEZ (10) frascos de vidrio color ámbar con tapa rosca de plástico, conteniendo líquido, las muestras contienen lo siguiente:

- Experimento N° 01 5mg -100mg
- Experimento N° 02 10mg -150mg
- Experimento N° 03 5mg -200mg
- Experimento N° 04 10mg -100mg
- Experimento N° 05 5mg -150mg
- Experimento N° 06 10mg -200mg.

**F. ANALISIS:**

**OBJETIVO:** Determinar la concentración de la solución de tartracina en las diferentes muestras.

**METODO:** Experimental – Analítico instrumental, espectrofotometría UV - Visible.

**RESULTADOS:**

Experimento N° 01 5mg -100mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	5.06	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	4.35	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	3.45	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	2.76	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	0.70	mg.g <sup>-1</sup>

Experimento N° 02 10mg -150mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a t <sub>0</sub>	10.09	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>30</sub>	7.90	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>60</sub>	6.23	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>90</sub>	4.80	mg.g <sup>-1</sup>
Concentración a t <sub>120</sub>	1.17	mg.g <sup>-1</sup>

Página 1 de 2



**POLICÍA NACIONAL DEL PERÚ**  
Oficina de Criminalística

INFORME DE INGENIERIA FORENSE

FQ 01-06/2023

Experimento N° 03 5mg -200mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a 1s	5.08	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s0	3.70	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s1	2.52	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s2	1.43	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s3	0.32	mg g <sup>-1</sup>

Experimento N° 04 10mg -100mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a 1s	9.96	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s0	8.15	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s1	6.80	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s2	3.48	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s3	1.50	mg g <sup>-1</sup>

Experimento N° 05 5mg -150mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a 1s	4.97	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s0	3.92	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s1	2.67	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s2	1.80	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s3	0.52	mg g <sup>-1</sup>

Experimento N° 06 10mg -200mg

Parámetro	Resultado	Unidad
Concentración a 1s	10.07	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s0	7.40	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s1	5.20	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s2	2.80	mg g <sup>-1</sup>
Concentración a 1s3	0.72	mg g <sup>-1</sup>

\* Calibración presenta un R<sup>2</sup> de 0.99985

**G. OTROS.**

Todas las muestras son agotadas en los análisis químicos.

**H. CONCLUSION.**

Por los resultados obtenidos en el examen, el contenido de las muestras examinadas de los SEIS (06) experimentos con diferentes muestras de sustancias líquidas, corresponden a soluciones de agua con tartrazina en diferentes concentraciones como de describen en el análisis.

WDSS.



SURQUILLO, 10 de noviembre del 2023.

*[Firma manuscrita]*  
OS - 30118  
MIRIAM CERVANTES SUAREZ  
MAYOR S. P. P.  
PERITO INGENIERO FORENSE  
INCP/CP/P

ANEXO 4: *Resultados de Turbiedad*

