

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE  
INGENIERIA QUIMICA**



**INFORME FINAL DE INVESTIGACION**

**“DEGRADACION DE LA TARTRAZINA MEDIANTE  
FOTOCATALISIS SOLAR HETEROGENEA USANDO  
OXIDO DE ZINC”**

**AUTOR: PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO**

**PERIODO DE EJECUCION: Del 01/04/2019 al 31/03/2020**

**(Resolución de aprobación N° 505-2019-R)**

**CALLAO, 2020**

**PERU**

## **DEDICATORIA**

Esta obra la dedico a Dios, a mi familia, a la Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química, mis colegas y alumnos; y a toda la comunidad científica que viene buscando soluciones tecnológicas para un mundo sano y cada vez mejor.

*Ing. MSc. Pablo Diaz Bravo*

## **AGRADECIMIENTO**

El autor agradece a la Universidad Nacional del Callao a través del Vicerrectorado de Investigación por el apoyo moral y financiero mediante el FEDU para la realización de este trabajo de investigación que sin ello hubiese sido dificultoso. Mi reconocimiento a la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC por los servicios brindados, mediante sus instalaciones de laboratorio, materiales y equipos de medición, al personal técnico y jefe de laboratorio que permitieron hacer realidad este trabajo. Finalmente, agradezco a mis alumnos del curso de Ingeniería de las Reacciones Químicas I, quienes también se sumaron a esta aventura.

*Ing. MSc. Pablo Diaz Bravo*

## INDICE

	PAG.
Índice de tablas	2
Índice de figuras	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCION	7
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 Descripción de la realidad problemática	9
1.2 Formulación del problema	12
1.3 Objetivos	12
1.4 Limitantes de la investigación	13
CAPITULO II: MARCO TEORICO	14
2.1 Antecedentes	14
2.2 Marco	17
2.2.1 Marco teórico	17
2.2.2 Conceptual	22
2.3 Definiciones de términos básicos	23
CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES	25
3.1 Hipótesis	25
3.2 Definición conceptual de variables	25
3.3 Operacionalizacion de variables	26

CAPITULO IV: DISEÑO METODOLOGICO	27
4.1 Tipo y diseño de la investigación	27
4.2 Método de investigación	28
4.3 Población y muestra	28
4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado	29
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	29
4.6 Análisis y procesamiento de datos	29
CAPITULO V: RESULTADOS	30
5.1 Resultados descriptivos	30
5.2 Resultados inferenciales	43
CAPITULO VI: DISCUSION DE RESULTADOS	44
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	44
6.2 Contrastación de los resultados de acuerdo a la naturaleza del problema	45
6.3 Responsabilidad ética	46
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	49
ANEXOS	52

## INDICE DE TABLAS

PAG.

Tabla 1: Concentración y % de degradación de la tartrazina en función del tiempo de reacción, utilizando 100 mg/100 ml de catalizador, para muestras de 20, 30, 40 y 50 ppm de solución.....	33
Tabla 2: Concentración y % de degradación de la tartrazina en función del tiempo de reacción, sin usar catalizador, para muestras de 20, 30, 40 y 50 ppm de solución.....	39
Tabla 3: Concentración y % de degradación de la tartrazina en función del tiempo de reacción, usando muestras de 50 ppm de solución coloreada y con cantidad de 0,1; 0,2; 0,3 y 0,4 g de catalizador ZnO, respectivamente en cada muestra.....	42
Tabla 4: ANOVA para el modelo de primer orden del colorante tartrazina...	44

## INDICE DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1: Tartrazina en polvo.....	9
Figura 2: Estructura química de la tartrazina.....	18
Figura 3: Esquema de formación del par redox en una partícula del semiconductor.....	20
Figura 4: Diseño de la investigación.....	27
Figura 5: Espectro de absorción del colorante tartrazina a distintas concentraciones.....	30
Figura 6: Curva de calibración. Absorbancia en función de la concentración del colorante tartrazina.....	31
Figura 7: Grafica de dispersión de concentración en función del tiempo de reacción del colorante tartrazina.....	34
Figura 8: Grafica de $\ln(C_0/C)$ en función del tiempo de reacción del colorante tartrazina.....	35
Figura 9: Exposición a radiación solar (reactor batch) de la muestra de colorante tartrazina.....	36
Figura 10: Degradación de la concentración del colorante tartrazina.....	36
Figura 11: Curva de calibración. Absorción en función de la concentración del colorante tartrazina sin catalizador.....	38
Figura 12: Grafica de dispersión de Concentración en función del tiempo de reacción sin usar fotocatalizador.....	40
Figura 13: Grafica de $\ln(C_0/C)$ en función del tiempo de reacción de muestras de 50ppm de colorante, usando cantidades de 0,1; 0,2; 0,3 y 0,4 g de catalizador ZnO.....	41

## RESUMEN

La degradación del colorante tartrazina, ha sido materia de investigación por diversos autores debido a que los efectos negativos de este colorante en la salud son controvertidos. El consumo constante de alimentos que contienen tartrazina causa cambios en los estados de ánimo, hiperactividad, ansiedad, trastornos del sueño, alergias como rinitis o picazón cutánea y tos espasmódica. Un estudio de mercado comprobó que productos con colorantes amarillos contienen el peligroso colorante de la tartrazina, principal aditivo de estas bebidas, por ello su presencia en los efluentes líquidos es inevitable y generan problemas de contaminación ambiental que requieren solución técnica con responsabilidad social. Diversas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, denominados procesos de oxidación avanzada (TAO's) han surgido en los últimos tiempos, con el objetivo de reducir y/o eliminar compuestos como los colorantes azo. En particular, la fotocatalisis heterogénea ha mostrado una creciente atención como una alternativa interesante a tecnologías convencionalmente utilizadas para este fin.

En este trabajo, se realizó la degradación del colorante tartrazina mediante la fotocatalisis solar heterogénea, utilizando el óxido de zinc como catalizador, y como fuente energética la energía solar. El experimento se llevó a cabo a nivel de laboratorio en un reactor batch. La reducción de la concentración del colorante fue seguida mediante un espectrofotómetro UV y los resultados indican que el óxido de zinc es un excelente fotocatalizador para la degradación de la tartrazina, logrando una disminución del 63 % al cabo de 20 minutos. La cinética de reacción fotocatalítica obedece al modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood, y es de pseudo primer orden con una constante de velocidad promedio de  $164,36 \text{ min}^{-1}$  y el tiempo de vida media promedio de 22,36 minutos. Asimismo, se observó que a medida que la concentración del colorante aumenta, la cinética de reacción disminuye, y para que la velocidad de reacción sea más alta, la concentración óptima del colorante debe ser de 20 ppm. Por otro lado, la cantidad de catalizador óptima para la degradación fue de 1 g/L.

**Palabras claves:** tartrazina, fotocatalisis solar, óxido de zinc.



## **ABSTRACT**

The degradation of the tartrazine dye has been the subject of research by various authors because the negative effects of this dye on health are controversial. Constant consumption of foods containing tartrazine causes changes in mood, hyperactivity, anxiety, sleep disorders, allergies such as rhinitis or itchy skin and spasmodic cough. A market study found that products with yellow dyes contain the dangerous tartrazine dye, the main additive of these drinks, so their presence in liquid effluents is inevitable and generate environmental pollution problems that require technical solution with social responsibility. Various wastewater treatment technologies, called advanced oxidation processes (TAOs) have emerged in recent times, with the aim of reducing and / or eliminating compounds such as azo dyes. In particular, heterogeneous photocatalysis has shown increasing attention as an interesting alternative to technologies conventionally used for this purpose.

In this work, the degradation of the tartrazine dye was carried out by heterogeneous solar photocatalysis, using zinc oxide as a catalyst, and as solar energy source. The experiment was carried out at the laboratory level in a batch reactor. The dye concentration reduction was followed by a UV spectrophotometer and the results indicate that zinc oxide is an excellent photocatalyst for the degradation of tartrazine, achieving a decrease of 63% after 20 minutes. The kinetics of photocatalytic reaction obeys the kinetic model of Langmuir-Hinshelwood, and is pseudo first order with an average speed constant of 164.36 min<sup>-1</sup> and the average average life time of 22.36 minutes. It was also observed that as the concentration of the dye increases, the reaction kinetics decreases, and for the reaction rate to be higher, the optimum concentration of the dye should be 20 ppm. On the other hand, the optimum catalyst amount for degradation was 1 g / L.

**Keywords:** tartrazine, solar photocatalysis, zinc oxide

## INTRODUCCION

Distintos estudios científicos realizados sobre la tartrazina a la fecha no han demostrado ningún efecto carcinogénico (Maekawa, et al. 1987). Sin embargo, los efectos negativos de este colorante en la salud son controvertidos. En 1959 se describió por primera vez un cuadro de urticaria debido a la tartrazina presentándose posteriormente más casos de urticaria, lesiones purpúricas, anafilaxia y en general intolerancia debidos a este y otros colorantes azoicos. Un estudio de mercado comprobó que productos con colorantes amarillos, como Inca Kola, Triple Kola, Oro, Costa kids Refreskids Naranja, Piña, Durazno, entre otros, contienen el peligroso colorante de la tartrazina, principal aditivo de las bebidas amarillas, por ello su presencia en los efluentes líquidos es inevitable agudizando de esta forma el impacto visual y por lo tanto el malestar social al ser vertidas sin tratamiento alguno en las cuencas receptoras.

En las últimas décadas, se realizaron distintas investigaciones sobre la degradación de la tartrazina usando diversas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, como son los procesos de oxidación avanzada (TAO's) cuyo objetivo es reducir y/o eliminar compuestos como los colorantes azo. En particular, la fotocatalisis heterogénea ha mostrado cierta atención relevante como una alternativa interesante a tecnologías convencionalmente utilizadas para el tratamiento de aguas contaminadas. Los procesos fotocatalíticos se basan en la irradiación de suspensiones de óxidos semiconductores generalmente dióxido de titanio, en presencia de las especies contaminantes que se quiere degradar. Si los fotones suministrados al sistema tienen la energía adecuada, se origina en el semiconductor una separación de cargas (pares electrón  $e^-$ /hueco  $h^+$ ). Entre otros procesos los huecos pueden dar lugar a la formación de radicales hidroxilos ( $^{\circ}OH$ ), especies de alto poder oxidante capaces de reaccionar con una gran variedad de compuestos orgánicos conduciendo en último término a su completa mineralización. En el proceso foto catalítico, la oxidación tiene lugar directamente en la superficie de la partícula que se utiliza como catalizador o semiconductor. Si la fuente de energía es la radiación solar, esta puede interactuar con la materia en un amplio rango de longitudes de onda y con diversos cambios en la estructura de las moléculas. La

luz solar, es una energía directa, primaria, abundante y barata que en muchos casos es absorbida por compuestos químicos para producir procesos foto catalíticos (Romero, *et al.*, 1999). Así, la fotocatalisis heterogénea mediada por un catalizador sólido es una alternativa atractiva para el tratamiento de aguas. Distintos autores estudiaron la degradación del colorante tartrazina utilizando procesos de oxidación avanzada con dióxido de titanio como catalizador, y lámparas de luz ultravioleta. Algunos, mediante electro oxidación a distintos pH. Otros recurrieron al uso de la radiación UV y peróxido de hidrogeno con distintas concentraciones volumétricas. Los resultados son satisfactorio, logrando inclusive su completa mineralización.

En este trabajo de investigación, el interés es presentar una tecnología limpia para la degradación del colorante tartrazina mediante la fotocatalisis solar heterogénea utilizando como catalizador el óxido de zinc en suspensión. El experimento se realizó a nivel de laboratorio en un reactor tipo batch con agitación, irradiado con luz solar. Las corridas experimentales y los análisis de absorbancia se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

## CAPITULO I: PLANTEAMIENTO EL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

La tartrazina es un colorante artificial ampliamente utilizado en la industria alimentaria, pertenece a la familia de los colorantes azoicos, que contienen el grupo azo:  $-N=N-$ . Se presenta en forma de polvo y es soluble en agua, toma una coloración más amarillo cuanto más disuelta esté. Los productos que contienen este colorante comprende alimentos comerciales procesados de color amarillo o verde, o que se espera que tengan color marrón o crema. Los siguientes alimentos pueden contener tartrazina:

- **Postres y dulces:** helados, productos de repostería, caramelos, chicles, gominolas, gelatinas, etc.
- **Bebidas:** bebidas alcohólicas, refrescos, gaseosas, bebidas energéticas e isotónicas.
- **Snacks:** tortitas o totopos de maíz, patatas fritas, palomitas de maíz, etc.
- **Condimentos:** salsas, mostaza, colorante alimentario amarillo o colorantes para paellas.



*Figura 1.* Tartrazina en polvo

Los colorantes azoicos se han cuestionado reiteradamente, debido a que muchos colorantes de esta familia han demostrado ser cancerígenos. En cambio, los colorantes autorizados, que son muy polares y solubles en agua, no se absorben (Calvo, 2008). En cuanto a la tartrazina, los distintos estudios científicos realizados a la fecha no han demostrado ningún efecto carcinogénico (Maekawa, et al. 1987). Sin embargo, los efectos negativos de este colorante en la salud son controvertidos. Un estudio científico que evaluaba mezclas de aditivos alimentarios ha relacionado a la tartrazina con el aumento en la incidencia del trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) en niños, si se utilizaba en combinación con los benzoatos (Turner y Kemp, 2012). No obstante, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, en un estudio del año 2009 indicó que estos datos no suponían pruebas concluyentes y que los estudios tenían serios fallos experimentales, y concluyó que la tartrazina en las concentraciones aprobadas en la Unión Europea no suponía riesgo para la salud. En 1959 se describió por primera vez un cuadro de urticaria debido a la tartrazina presentándose posteriormente más casos de urticaria, lesiones purpúricas, anafilaxia y en general intolerancia debidos a este y otros colorantes azoicos. En general, las complicaciones en la salud son diversas y dependerán de la cantidad de alimentos consumidos que contengan tartrazina, los más afectados indudablemente son los niños y adolescentes en etapa escolar, ya que muchas veces sustituyen la lonchera por productos que encuentran en los quioscos del colegio. El consumo constante de alimentos que contienen tartrazina causa cambios en los estados de ánimo, hiperactividad, ansiedad, trastornos del sueño, alergias como rinitis o picazón cutánea y tos espasmódica”, precisó la especialista Devorah Vigo. Un estudio de mercado realizado por el área de investigación de ASPEC, comprobó que productos con colorantes amarillos, como Inca Kola, Triple Kola, Oro, Costa kids Refreskids Naranja, Costa kids Refreskids Piña , Costa kids Refreskids durazno, Gatorade Lima-Limón, Sporade Lima-Limón, entre otros, contienen el peligroso colorante de la tartrazina, principal aditivo de las bebidas amarillas, por ello su presencia en los efluentes líquidos es inevitable agudizando de esta forma el impacto visual y por lo tanto el malestar social al ser vertidas sin tratamiento alguno en las cuencas receptoras. Los efluentes de estas industrias generan problemas de

contaminación ambiental que requieren solución técnica con responsabilidad social.

En las últimas décadas, han surgido diversas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, una de estas son los procesos de oxidación avanzada (TAO's) cuyo objetivo es reducir y/o eliminar compuestos como los colorantes azo. En particular, la fotocatalisis heterogénea ha experimentado una creciente atención como una alternativa interesante a tecnologías convencionalmente utilizadas para el tratamiento de aguas contaminadas. Los procesos fotocatalíticos se basan en la irradiación de suspensiones de óxidos semiconductores (SC) generalmente dióxido de titanio, en presencia de las especies contaminantes que se quiere degradar. Si los fotones suministrados al sistema tienen la energía adecuada, se origina en el semiconductor una separación de cargas (pares electrón  $e^-$ /hueco  $h^+$ ). Entre otros procesos los huecos pueden dar lugar a la formación de radicales hidroxilos ( $^{\circ}\text{OH}$ ), especies de alto poder oxidante capaces de reaccionar con una gran variedad de compuestos orgánicos conduciendo en último término a su completa mineralización. Después del flúor, el radical hidroxilo ( $^{\circ}\text{OH}$ ) es la segunda especie con mayor poder oxidante 2.8 Voltios (Vanysek, 2004; Hager, 1990) lo cual le confiere la capacidad de oxidar la materia orgánica. En el proceso foto catalítico, la oxidación tiene lugar directamente en la superficie de la partícula que se utiliza como catalizador o semiconductor. Si la fuente de energía es la radiación solar, esta puede interactuar con la materia en un amplio rango de longitudes de onda y con diversos cambios en la estructura de las moléculas.

El interés de este trabajo va dirigido al desarrollo de una tecnología limpia, mediante el proceso foto catalítico con energía solar, utilizando como catalizador el óxido de zinc. Para el efecto, se realizará la degradación del colorante tartrazina, mediante el proceso descrito a nivel de laboratorio. Respecto a la configuración del catalizador, había dos posibilidades, que éste se halle en suspensión o que se encuentre inmovilizado (Zhang, 2001). Se ha creído conveniente recurrir al del catalizador suspendido debido a que está comprobado que es la de mayor eficiencia respecto al inmovilizado, ya que no existe limitación de la transferencia de masa, y hay mayor área superficial en contacto con las especies reactivas en disolución.

## **1.2 Formulación del problema**

La tartrazina es muy utilizada como aditivo en la industria alimentaria especialmente en el rubro de las bebidas gasificadas, cuyos efectos negativos en la salud es apreciable siendo prohibidos su uso en países como Inglaterra, Noruega y Austria, por lo cual su presencia en efluentes líquidos es inevitable y generan problemas de contaminación ambiental que requieren solución técnica sostenible.

### **1.2.1 Problema General**

¿Podrá degradarse la concentración de la tartrazina mediante la fotocatalisis solar heterogénea utilizando como catalizador el óxido de zinc?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Se podrá obtener los parámetros cinéticos de la degradación de la tartrazina en el proceso foto catalítico solar utilizando como catalizador el óxido de zinc?
- ¿Se podrá determinar la concentración óptima del colorante para el proceso foto catalítico solar?
- ¿Cuál será la cantidad optima del catalizador para el proceso foto catalítico solar?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la degradación de la concentración de la tartrazina mediante el proceso de fotocatalisis solar heterogénea usando el óxido de zinc como catalizador

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener los parámetros cinéticos de la degradación de la concentración de la tartrazina en el proceso foto catalítico solar utilizando como catalizador el óxido de zinc.
- Determinar la concentración óptima del colorante para el proceso foto catalítico solar.
- Determinar la cantidad óptima de catalizador para el proceso foto catalítico solar.

### 1.4 Limitantes de la investigación

#### ❖ Teórico

Limitaciones teóricas no existen, más aún se buscan soluciones tecnológicas que sean ecológicas y sostenibles en el tiempo. El uso de la energía solar como fuente energética en vez de lámparas UV, así como también la utilización del óxido de zinc como catalizador, son algunas características resaltantes que diferencian en este trabajo respecto a otros que utilizan reactivos como  $H_2O_2 - Fe^{++}$  y como catalizador el dióxido de titanio  $TiO_2$ .

#### ❖ Temporal

El proyecto de investigación se realizó experimentalmente en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, el periodo de ejecución fue de un año calendario.

#### ❖ Espacial

La investigación tiene carácter tecnológico sustantivo y experimental, propone alternativas de solución tecnológica en el tratamiento de efluentes líquidos de la industria alimentaria que utilizan como aditivo, el colorante tartrazina.



## CAPITULO II: MARCO TEORICO

En 1959 se describió por primera vez un cuadro de urticaria debido al uso de la tartrazina y otros colorantes azoicos. Estudios epidemiológicos en Francia han determinado que la prevalencia de la tolerancia a la tartrazina se encuentra alrededor del 0,12% de la población (Gershwin y Albertsons, 2001). Asimismo, existía información indicando que este aditivo podría afectar a las personas asmáticas actuando como un agente liberador de histamina (Corder E.H., Buckley, 1995).

Por otro lado, la prevención y control de la contaminación ambiental es una de las principales responsabilidades y preocupaciones del hombre moderno y en los últimos años han surgido un número significativo de investigaciones para la prevención y el control de dicha contaminación. Entre éstas, la foto degradación de contaminantes forma parte del grupo de tecnologías de oxidación avanzada, que busca reducir y/o eliminar compuestos persistentes como son los colorantes Azo.

### 2.1 Antecedentes internacionales

- Arroyave J.A, Garcés L.F., Arango A. y Agudelo C., (2008). “*Degradación del colorante tartrazina mediante fotocátalisis heterogénea empleando lámpara de luz ultravioleta*”. Se evaluó la degradación del colorante tartrazina empleando fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio como catalizador y lámparas de luz ultravioleta. UV. Para el desarrollo experimental se utilizó una lámpara de luz ultravioleta, un reservorio de vidrio para el almacenamiento del colorante tartrazina en solución acuosa para someterlo a tratamiento y una bomba que permitía la recirculación de la solución por el sistema de fotorreactor. La degradación del colorante tartrazina se determinó mediante espectrofotometría ultravioleta/visible. Los autores obtuvieron un buen porcentaje de remoción (100,0 %) del colorante tartrazina para la combinación de oxidación química mediante el empleo de 0 mg/L de TiO<sub>2</sub> y 0,4 %v/v del agente oxidante peróxido de hidrógeno, además de la combinación experimental del proceso fotoquímico de la fotocátalisis heterogénea con los ensayos experimentales de 50 mg/L de TiO<sub>2</sub> y 0,2 %v/v H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, y 50 mg/L de TiO<sub>2</sub> y 0,4 %v/v H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

- Al-Dawery, Salam K. (2013). *Photo-Catalyst Degradation of Tartrazine Compound in Wastewater Using TiO<sub>2</sub> and UV Light*". estudiaron la degradación foto catalítica de la tartrazina presente en aguas residuales usando TiO<sub>2</sub> y luz ultravioleta; sus resultados indican que la concentración de foto-catalizador (TiO<sub>2</sub>) influye en gran medida en la velocidad de degradación. Asimismo, observaron que la degradación foto catalítica obedece a una cinética de primer orden, con una constante de velocidad de velocidad de  $3,4 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$  en una solución de 500,00 mg/L de dióxido de titanio.
- Morales G.V., Sham E.L., Cornejo R., Morales P.J. y Farfán Torres M. (2013), "*Degradación foto catalítica de tartrazina: Influencia de parámetros significativos del proceso*". Los autores observaron que al aumentar la concentración del fotocatalizador se incrementa significativamente la velocidad de degradación del colorante orgánico, mientras que los efectos de la temperatura de calcinación y de la velocidad de calcinación son opuestas y menos significativas. Desde ese punto de vista el proceso óptimo resulta utilizando 0.2 g/L de fotocatalizador calcinado a 300°C a una velocidad de 2°C/min. Los resultados muestran también que la reacción de foto degradación es de primer orden y que la constante cinética a una temperatura dada depende fuertemente de la concentración del fotocatalizador.
- Gil Pavas E., Dobrosz Gomez I. y Gomez Garcia M. (2012). "*Degradación y mineralización de tartrazina mediante electro oxidación. Optimización de las condiciones de operación*". Los autores operaron un reactor con dos electrodos: uno de diamante dopado con bromo y otro de titanio, en configuración monopolar. Se establecieron como variables más significativas del proceso: la concentración inicial del colorante, la densidad de corriente y el pH. El diseño experimental determino sus valores óptimos: concentración inicial de 30 ppm, densidad de corriente 5 mA/cm<sup>2</sup> y pH = 6.0. El trabajo

demonstró la hipótesis sobre que estas variables son los parámetros más significativos en el proceso de electro oxidación.

- Petruta Oancea V. (2014). *Kinetics of tartrazine photodegradation by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in aqueous solution*. Estudió la cinética de foto degradación de la tartrazina mediante UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en una solución acuosa obteniendo una cinética de reacción de pseudo primer orden con una constante cinética de  $7.91 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ .

### **Antecedentes nacionales**

- Corzo Lucioni A., (2011). “Estudio cinético de la degradación foto catalítica oxidativa de rodamina B con ZnO y luz solar”. El autor estudio la degradación foto inducida del colorante rodamina B, utilizando oxido de zinc y la luz solar como fuente de radiación fotónica en sistemas abiertos expuestos al aire libre. Sus resultados indican que la reacción es de pseudo primer orden y la existencia de un límite en la concentración inicial del colorante y del fotocatalizador, concentraciones superiores al límite causan efectos ajenos a los que usualmente se conocen en cinética química. Sus resultados demuestran que la degradación foto catalítica 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 de la rodamina B de  $0,1 \text{ min}^{-1}$ .
- Pantoja Cadillo A y Portales Tarrillo R. (2015) en su tesis “Reducción de concentración de amarillo de tartrazina contenido en aguas de lavado de la industria de bebidas, mediante UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>”. Los autores utilizaron un reactor anular en condiciones variables de acidez, concentración del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y flujo volumétrico. Los resultados muestran una reducción sustancial de la concentración del colorante obedeciendo a una cinética de primer orden. Las condiciones óptimas de operación fueron una constante cinética de  $0,179 \text{ min}^{-1}$ .

<sup>1</sup> a 24 °C, concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 50 ppm para un flujo volumétrico de 2 L/min y pH = 4.

Información sobre la degradación del colorante tartrazina utilizando el método de fotocatalisis solar heterogénea no se ha encontrado en la literatura afín. Por lo tanto, la propuesta es nueva que permitirá incorporar dentro de las tecnologías limpias, una alternativa de solución para el tratamiento de efluentes líquidos provenientes de la industria alimentaria. Más aún se usará como fotocatalizador el óxido de zinc en vez del dióxido de titanio TiO<sub>2</sub> por tener característica parecida y un band gap relativamente similar.

## **2.2 Marco**

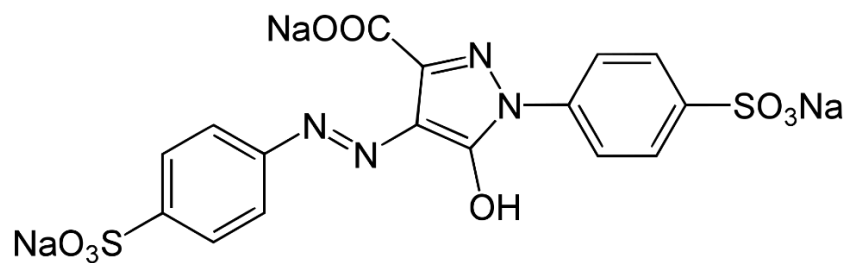
### **2.2.1 Teórico**

Todos consumimos en un momento del día diversos productos artificiales, sobre todo aquellos de coloración amarillo, y no conocemos cuál es el colorante que se utiliza para este llamativo color. Pues la Tartrazina puede estar en ese alimento y si se abusa de ella, nuestro organismo puede tener problemas. Se suele presentar en forma de polvo, soluble en agua y tiene por característica principal proporcionar la tonalidad de color amarillo en alimentos industrializados. Lo podemos encontrar en diversos alimentos como néctares, gaseosas, bebidas hidratantes, bebidas alcohólicas, caramelos, galletas, gelatinas, postres, snacks", tal como comentó la nutricionista Nefi Mendoza de Solidaridad Salud.

#### **La tartrazina**

Es un colorante artificial en polvo ampliamente utilizado en la industria alimentaria, perteneciente a la familia de los colorantes azoicos los que contienen el grupo -N=N-, de formula molecular C<sub>16</sub>H<sub>9</sub>N<sub>4</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>9</sub>S<sub>2</sub> de masa molecular de 534,3 g/mol, denominada también trisodium 1-(4-sulfonatophenyl)-4-(4-sulfonatophenylazo)-5-pyrazolone-3-carboxylate, soluble en agua. La tartrazina como colorante posee los siguientes códigos o

sinónimo E102 (UE), amarillo 5 (países hispanohablantes). El origen de la tartrazina es a partir del alquitrán de carbón y mediante un proceso simple se obtiene el producto sintético azoico que proporcionara color amarillo o verde. El costo de su producción es muy barato que tiene un precio bajo, por lo que es muy utilizado en la industria alimentaria para sustituir otros colorantes naturales que por otro lado no son perjudiciales. Las complicaciones que puede generar son diversas y estas dependen de la cantidad de tartrazina que contienen los alimentos. El consumo constante de alimentos con este colorante puede causar cambios de estado de ánimo, hiperactividad, ansiedad, trastornos del sueño, alergias como rinitis o picazón cutánea.



*Figura 2.* Estructura química de la tartrazina (recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tartrazina>)

En las últimas décadas se han registrado un número significativo de investigaciones para la prevención y contaminación de este colorante, dentro de éstas, la foto degradación de contaminantes, forma parte del grupo de tecnologías de oxidación avanzada, que busca reducir y/o eliminar compuestos persistentes como son los colorantes Azo.

### **Foto catálisis**

La **fotocatálisis** es una reacción fotoquímica que convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador o sustrato, consistente en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción. Al igual que la fotosíntesis, la luz solar, es capaz de eliminar CO<sub>2</sub> para generar materia

orgánica, la fotocatalisis elimina otros contaminantes habituales en la atmósfera, como son los NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, COVs (compuestos orgánicos volátiles), CO, metil mercaptano, formaldehído, compuestos orgánicos clorados, compuestos polis aromáticos. En los métodos de oxidación avanzada (PAOs) se utilizan semiconductores para descontaminar aguas con contenido de colorantes. El semiconductor, es un elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre. Así, a temperaturas muy bajas actúan como aislantes y a temperaturas muy altas o con un aporte energético externo, actúan como conductores. La eficiencia de los semiconductores depende de la diferencia de energía entre su banda de valencia y su banda de conducción (ver figura 3).

Normalmente las bandas de energías se componen de: una banda de valencia; una de conducción y, otra banda interpuesta entre las dos anteriores denominada “banda prohibida”. La función de esta última es impedir o dificultar que los electrones salten desde la banda de valencia hasta la banda de conducción. En el caso de los metales la banda prohibida no existe, por lo que los electrones necesitan poca energía para saltar de una banda a la otra. Si definimos un *band gap* como la cantidad de energía expresada en *eV*, que se necesita para que un electrón salte de la banda de valencia a la banda de conducción. Si la energía aportada es igual o superior al *band gap*, entonces el electrón habrá pasado de la banda de valencia a la banda de conducción, saltando la barrera prohibida. El puesto que deja el electrón liberado como consecuencia de la energía recibida *hν*, se comporta como si fuera una nueva partícula libre con una carga positiva y una masa comparable a la del electrón. Esta pseudo partícula recibe el nombre de *hueco* (Serrano, 2013). En resumen: en los semiconductores hay dos tipos de portadores de corriente eléctrica: Los electrones: con carga negativa y los huecos con carga positiva.

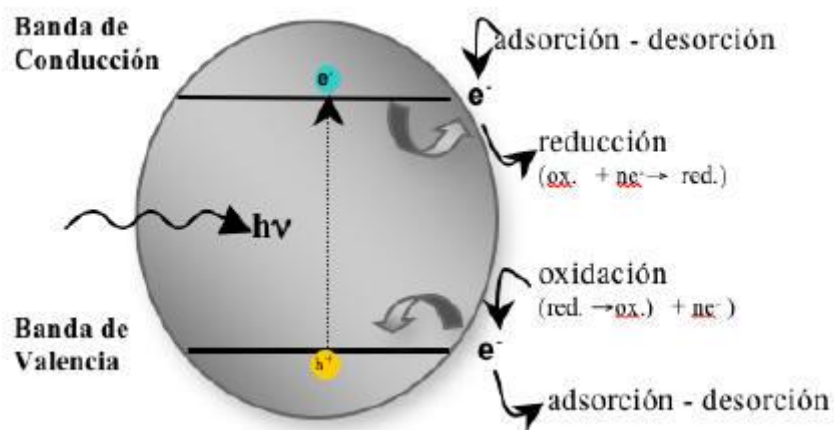


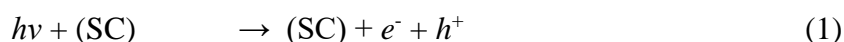
Figura 3. Esquema de formación del par redox en una partícula del semiconductor.

Los mejores semiconductores suelen ser los óxidos metálicos como el  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$  y otros (Rodríguez, 2007). Estos materiales son económicamente asequibles, y pueden excitarse con luz de no muy alta energía ( $< 3.3 \text{ eV}$ ), absorbiendo parte de la radiación del espectro solar que incide sobre la superficie terrestre ( $\lambda > 310 \text{ nm}$ ), lo cual incrementa el interés para un posible aprovechamiento de la luz solar. Varios óxidos como el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnO}$  y el  $\text{TiO}_2$  no conducen electrones, pero tienen propiedades catalíticas. En estos compuestos existe una gran diferencia entre la banda no conductora o de valencia conocida como *band-gap*.

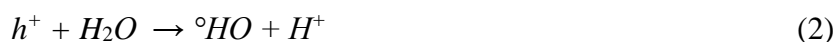
De los semiconductores indicados el de mejor aceptación por los resultados obtenidos es el dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$ . Este óxido metálico de transición forma diferentes polimorfos: rutilo, anatasa y brookita, es un semiconductor, normalmente en su fase anatasa y rutilo, se utiliza en reacciones fotocatalíticas y foto electroquímicas. Por otro lado el óxido de zinc  $\text{ZnO}$ , tiene un “*band gap*” relativamente amplio de  $\sim 3.3 \text{ eV}$  a temperatura ambiente por lo que se sugiere utilizar también para los procesos de fotocatalisis. Este semiconductor tiene diversas propiedades favorables, incluyendo buena transparencia, alta movilidad de electrones, amplio rango de energía donde

no existen estados electrónicos (*band gap*), y fuerte luminiscencia a temperatura ambiente.

Los procesos foto catalíticos se basan en la irradiación de suspensiones de óxidos semiconductores (SC) generalmente dióxido de titanio, en presencia de las especies contaminantes que se quiere degradar. Si los fotones suministrados al sistema tienen la energía adecuada, se origina en el semiconductor una separación de cargas (pares electrón  $e^-$ /hueco  $h^+$ ). Entre otros procesos los huecos pueden dar lugar a la formación de radicales hidroxilos ( $^{\circ}OH$ ), especies de alto poder oxidante capaces de reaccionar con una gran variedad de compuestos orgánicos conduciendo en última instancia a su completa mineralización.



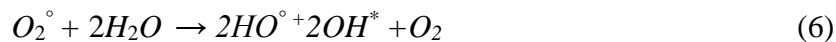
En la superficie del semiconductor (SC), los huecos reaccionan tanto con  $H_2O$  absorbida (2) como con grupos OH (3) para formar radicales hidroxilos  $OH^{\circ}$ .



Por su parte los electrones en exceso de la banda de conducción reaccionan con el oxígeno molecular para formar radicales superóxido y peróxido de hidrogeno



Tanto el radical superoxido como el peróxido de hidrógeno generan más radicales hidroxilos mediante las siguientes reacciones:



El radical  $^{\circ}OH$  generado provoca la completa mineralización de muchas sustancias orgánicas  $RH$  por captura de hidrogeno y formación de un radical orgánico que puede reaccionar con el oxígeno atmosférico formando peroxiradicales.





Incluso pueden iniciarse reacciones de oxidación en serie que pueden conducir en algunos casos la mineralización completa de los compuestos orgánicos.



Si la fuente de energía es la radiación solar, esta puede interactuar con la materia en un amplio rango de longitudes de onda y con diversos cambios en la estructura de las moléculas. La radiación cerca al espectro visible o ultravioleta (240-700 nm) interactúan con los electrones de las moléculas y estas reacciones son más importantes desde el punto de vista ambiental.

### 2.2.2 Conceptual

La degradación del colorante tartrazina ha sido materia de investigación por muchos autores según la literatura afín (Arroyave et al. 2008; Al-Dawery et al. 2013; Morales et al. 2013, y otros). La mayoría de ellas se refieren a la fotocatalisis foto-fenton, es decir utilizando como fuente de irradiación energética, lámparas ultravioletas que consumen energía eléctrica, así como también al uso como catalizador el dióxido de titanio TiO<sub>2</sub>. Si los fotones suministrados al sistema tienen la energía adecuada, se origina en el sólido semiconductor una separación de cargas (pares electrón e<sup>-</sup>/hueco h<sup>+</sup>) conocida como band-gap (Serrano, 2013). Los huecos dan lugar a la formación de radicales hidroxilos (<sup>o</sup>OH), especies de alto poder oxidante que reaccionan con una gran variedad de compuestos orgánicos que pueden conducir en última instancia a su completa mineralización.

Si la fuente de energía es la radiación solar, esta puede interactuar con la materia en un amplio rango de longitudes de onda y con diversos cambios en la estructura de las moléculas (Romero et al. 1999). Asimismo, si el sólido catalítico tiene un band-gap relativamente alto similar al del TiO<sub>2</sub> es posible realizar el proceso foto catalítico de degradación de compuestos orgánicos.

En este trabajo se realizará la foto degradación del colorante tartrazina, en un reactor del tipo batch, catalizada con partículas de óxido de zinc (band gap similar al TiO<sub>2</sub>) y utilizando como fuente de irradiación energética la luz solar. De este modo se intenta desarrollar una alternativa tecnológica para la degradación del colorante tartrazina, así como también el tratamiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en efluentes líquidos industriales.

### **2.3 Definición de términos básicos**

#### **Fotocatálisis solar**

Se define cuando la fuente de radiación fotónica es la luz solar. La aplicación de la fotocatalisis heterogénea con luz solar confiere una mayor sostenibilidad al proceso, y es muy atractiva para la eliminación de efluentes con carga de carbono orgánico moderada o baja, compuestos no degradables mediante métodos biológicos o convencionales, contaminantes de elevada toxicidad o la posibilidad de operar en modo discontinuo.

#### **Colorante tartrazina**

Es un colorante artificial ampliamente utilizado en la industria alimentaria. Su característica principal es proporcionar la tonalidad de color amarillo en alimentos industrializados y es soluble en agua. Se puede encontrar en néctares, gaseosas, bebidas hidratantes, bebidas alcohólicas, caramelos, galletas, postres gelatinas etc. El consumo constante de estos alimentos podría generar cambios en los estados de ánimo, hiperactividad, ansiedad, trastornos del sueño, alergias o picazón cutánea, disminuyendo nuestra calidad de vida. Es preciso controlar los efluentes líquidos de las industrias alimentarias que contengan trazas de tartrazina y evitar de este modo el impacto ambiental ante la flora y fauna natural.

## **Óxido de zinc**

Es un compuesto inorgánico cuya fórmula química es ZnO, es un polvo blanco insoluble en agua, y es comúnmente usado como aditivo en diversos materiales y productos. Tiene propiedades catalíticas debido a que posee una gran diferencia entre la banda no conductora o de valencia denominada band-gap de aproximadamente 3,3 eV, similar al dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) por lo que se puede utilizar en los procesos de fotocatalisis. En experimentos realizados bajo irradiación con luz solar, el ZnO ha presentado mayor eficiencia en la degradación de colorantes que otros semiconductores, como TiO<sub>2</sub>,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, CdS, WO<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>. Esto se debe a su capacidad superior para absorber fotones de luz, el tiempo de vida del par hueco-electrón relativamente más largo y la movilidad electrónica mucho mayor en comparación con la del TiO<sub>2</sub> (Sakthivel, et al, 2003; Huang, et al., 2010). Las propiedades foto catalíticas del ZnO se conocen desde hace varias décadas, ya en 1967 Morrison y Freund reportaron haber estudiado el mecanismo de la reacción fotocatalítica para la oxidación del anión formiato (HCOO<sup>-</sup>) usando este semiconductor, encontrando que la reacción catalítica ocurre por medio de los huecos y electrones que alcanzan la superficie del catalizador. Esto demostró que el proceso de oxidación es controlado por la disponibilidad de huecos y electrones del catalizador, lo que indica el rol vital que juegan las propiedades electrónicas del material en el proceso foto catalítico. El óxido de zinc como fotocatalizador, ha sido ampliamente estudiado en la degradación de contaminantes orgánicos tóxicos presentes en el agua, residual o natural (Chen, et al., 2008; Daneshvar, et al., 2004.; Pardeshi and B. Patil, 2008), contaminantes en fase gaseosa (Li and H. Haneda, 2003), remoción de metales pesados (Delgado, et al., 2010) así como para la descomposición foto catalítica del agua para la producción de H<sub>2</sub> como combustible (Liu, et al., 2011).

## **CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES**

### **3.1 Hipótesis General**

Si la concentración del colorante disminuye en el tiempo entonces la degradación de la tartrazina mediante el proceso de fotocátalisis solar heterogénea usando óxido de zinc, es viable

#### **Hipótesis Específica**

- Si la degradación de la concentración del colorante ocurre mediante la fotocátalisis solar heterogénea usando como catalizador el óxido de zinc, entonces se podrá obtener los parámetros cinéticos de la reacción.
- Mediante pruebas con distintas concentraciones iniciales del colorante es posible determinar la concentración idónea para el proceso foto catalítico.
- Realizando pruebas experimentales con distintas concentraciones de fotocatalizador se podrá hallar la cantidad óptima de catalizador para el proceso foto catalítico solar.

### **3.2 Definición conceptual de las variables**

La investigación a desarrollarse se caracteriza por ser longitudinal estudiando la degradación de la concentración del colorante a lo largo del tiempo establecido, por ser este el determinante en la relación causa efecto.

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cualitativa y cuantitativa. Por su dependencia Y es dependiente, y las variables X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> son independientes.

Es decir:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3)$$

Donde:

$Y$  = % de degradación de la concentración del colorante

$X_1$  = tiempo de reacción

$X_2$  = Concentración inicial del colorante

$X_3$  = Concentración del fotocatalizador

### 3.2.1 Operacionalización de variables

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>INDICE</b>	<b>TECNICAS ESTADISTICAS</b>	<b>METODO</b>
Y = % de degradación de la concentración del colorante	<ul style="list-style-type: none"> <li>Degradación de la concentración del colorante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración del colorante en el tiempo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ppm de colorante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anova</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ecuación de Langmuir-Hinshelwood</li> </ul>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>INDICE</b>	<b>TECNICAS ESTADISTICAS</b>	<b>METODO</b>
$X_1$ = tiempo de reacción	<ul style="list-style-type: none"> <li>tiempo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>minutos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>minutos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estadística descriptiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método experimental de corrida</li> </ul>
$X_2$ = Concentración inicial del colorante	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración inicial del colorante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mg/L de solución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ppm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estadística descriptiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotometría UV-Visible</li> </ul>
$X_3$ = Concentración del fotocatalizador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración del fotocatalizador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mg/100 mL de solución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mg/100 mL de solución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estadística descriptiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotometría UV-Visible</li> </ul>

## CAPITULO IV: DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1 Tipo y Diseño de la Investigación

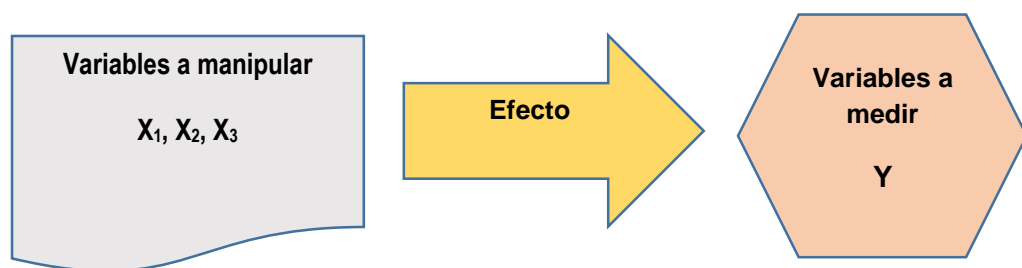
#### 4.1.1 Tipo de Investigación

La investigación que se desarrolló, corresponde:

- a) **Por su finalidad.** Es de tipo aplicativo exploratorio, que sirve para el tratamiento de efluentes líquidos provenientes de la industria alimentaria.
- b) **Por su diseño interpretativo.** Es experimental puesto que permite manipular el factor causal para observar y determinar el efecto deseado.
- c) **Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados.** Es del tipo mixto porque las variables de la investigación son cuantitativas y cualitativas.

#### 4.1.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la presente investigación fue de tres etapas, cuya representación se puede notar en la Figura 4.



*Figura 4.* Diseño de la Investigación

### 4.1.3 Etapas de la Investigación

Se han considerado tres etapas.

**Primera etapa de la investigación.** En la primera etapa de la investigación se utilizaron muestras de soluciones de colorante de distinta concentración inicial  $X_2$  expuestas a la variable  $X_1$ , manteniendo constante  $X_3$ .

**Segunda etapa de la investigación.** En la segunda etapa de la investigación se utilizaron concentraciones de catalizador distintas  $X_3$  expuestas a la variable  $X_1$ , pero manteniendo constante  $X_2$ .

**Tercera etapa de la investigación.** Con la información teórica y experimental obtenida en la primera y segunda etapa, se realizará un riguroso análisis de la información. En esta etapa se identificara la variable  $Y$ .

#### Matriz de experimento

Corrida	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$	$Y$
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	$Y_1$
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	$Y_2$
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	$Y_3$
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	$Y_4$

## 4.2 Método de investigación

La presente investigación se realizó aplicando el método científico, consistente en la percepción directa del objeto de investigación y está conformado por tres etapas

### **4.3 Población y Muestra**

**La población** está representada por las muestras de solución de colorante tartrazina. Estas muestras son de 20, 30, 40 y 50 ppm de colorante, sometidas a irradiación solar usando catalizador el óxido de zinc, y también sin usar catalizador.

**La muestra** que se tomaron para cada análisis fue de 10 ml de solución coloreada irradiada.

### **4.4 Lugar de estudio**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

### **4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información**

#### **4.5.1 Técnica.** Las técnicas que se utilizaron son:

Técnicas para análisis fisicoquímicos

#### **4.5.2 Instrumentos**

El instrumento de medición que se utilizó fue con la finalidad de medir magnitudes físicas como la absorbancia atómica a través del espectrofotómetro Varian UV Cary 50 Bio procesos de medición que dan un resultado que luego se utilizaron en el presente trabajo de investigación.

### **4.6 Análisis y procedimientos de datos**

Para el procesamiento de los datos resultados de las pruebas experimentales, se utilizó el software Minitab 18.



## CAPITULO V: RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

#### 5.1.1 Determinación de la longitud de onda del colorante

Para realizar las pruebas de absorbancia se requiere conocer la longitud de onda a la cual se absorbe el colorante en el espectrofotómetro UV (Varian-Cary 50 Bio, Australia). Para ello, se hizo un barrido de absorbancia para obtener la longitud de onda idónea para los análisis. Las muestras utilizadas fueron de concentraciones de 20, 30 40 y 50 ppm del colorante tartrazina, a un pH ácido. Los análisis de absorción se realizaron en el laboratorio de investigaciones de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao FIQ-UNAC. El procedimiento utilizado fue:

- Se calibra el espectrofotómetro hasta que el set figure 0.000
- Se usa como blanco el agua destilada.
- Se realizó el barrido espectral en el rango visible (400 a 700 nm)

Para las muestras de 20, 30, 40 y 50 ppm de solución. La figura 5, muestra el espectro de absorción de las distintas concentraciones del colorante tartrazina, observándose un valor máximo aproximadamente a 427 nm.

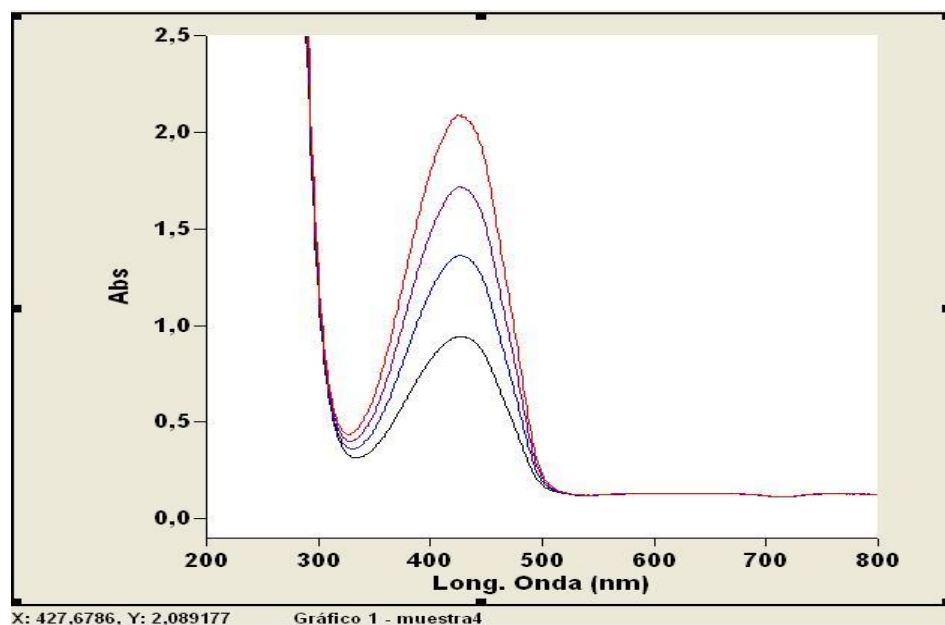
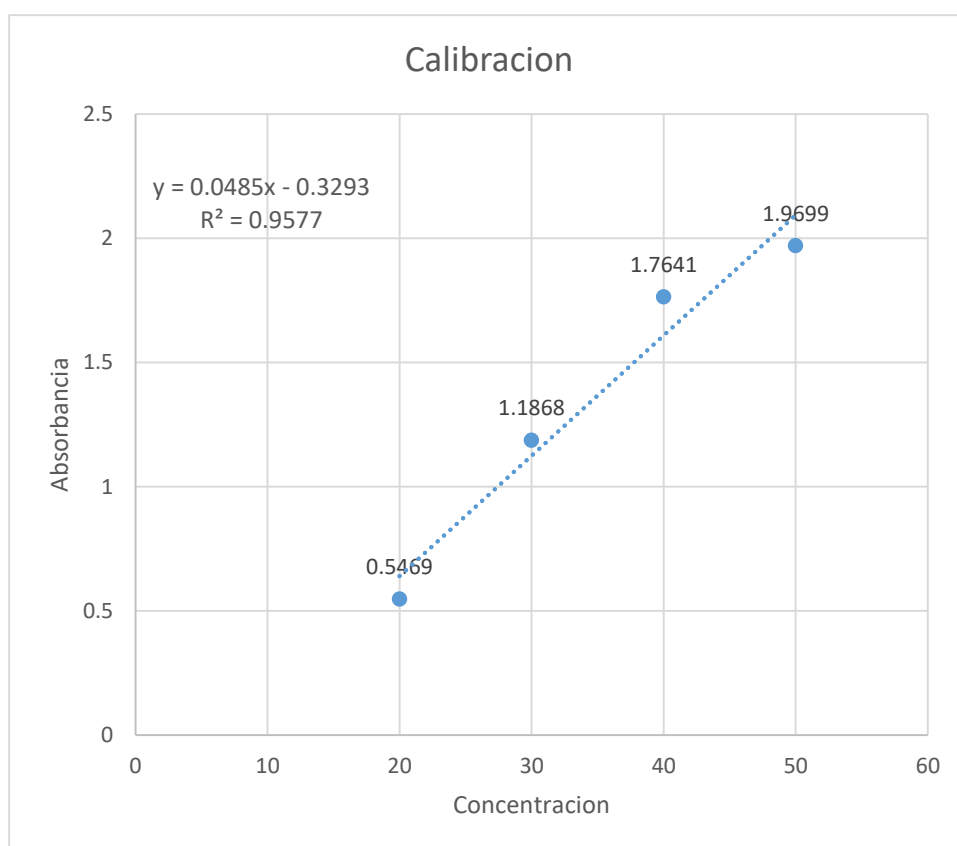


Figura 5. Espectro de absorción del colorante tartrazina a distintas concentraciones. Se observa un valor máximo de longitud de onda aproximadamente de 427 nm. Elaboración propia

### 5.1.2 Obtención de la curva de calibración de colorante tartrazina

Para hallar la curva de calibración se prepararon muestras de 100 ml de solución coloreada conteniendo cada una de ellas concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm del colorante respectivamente. Se tomaron 10 ml de cada solución y se llevó al espectrofotómetro de absorción para las lecturas respectivas a la longitud de onda idónea obtenida anteriormente que se muestran en la tabla 1. La figura 6, muestra la curva de calibración de absorbancia versus concentración para el colorante tartrazina en tiempo cero. Luego, mediante regresión lineal se obtiene la ecuación para el cálculo de las concentraciones a partir de mediciones de la absorbancia.



$$\text{Concentracion de colorante} = \frac{\text{Absorbancia} + 0.3293}{0.0485}$$

Figura 6. Curva de calibración, Absorbancia en función de la concentración del colorante tartrazina a concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm. Elaboración propia

### 5.1.3 Cinética de reacción de degradación de la tartrazina con fotocatalizador ZnO

Las muestras de solución de colorante tartrazina de concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm, conteniendo 100 miligramos de catalizador óxido de zinc/100 mililitros de solución coloreada se expusieron a radiación solar en el intervalo de tiempo de las 12 horas hasta las 16 horas, en un reactor batch con agitación uniforme (pastillas magnéticas) cada una. Se tomaron muestras de 10 ml de cada reactor en intervalos de tiempo de 5, 10, 15 y 20 minutos. Se centrifugaron las muestras para separar el fotocatalizador de la solución coloreada en un cuarto oscuro (a fin de detener la reacción). Posteriormente se midieron las absorbancias en el espectrofotómetro UV. Los resultados de las corridas, se resumen en la tabla 1. Los datos de absorbancia se muestran en el reporte de informe análisis de absorbancia (ver anexo 2). La concentración del colorante se obtiene de la curva de calibración del colorante tartrazina que se muestra en la figura 7.

La Cinética del proceso foto catalítico es la de Langmuir-Hinshelwood (L-H) que permite determinar la constante cinética de velocidad  $k$ , así como también la constante de equilibrio de adsorción  $K$  del colorante sobre la superficie del fotocatalizador.

$$-r_A = -\frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{kKC_A}{(1+KC_A)} \quad (1)$$

Para disoluciones diluidas  $KC_A \ll 1$ , la solución de la ecuación (1) resulta de pseudo primer orden,

$$\ln\left(\frac{C_{A0}}{C_A}\right) + K(C_{A0} - C_A) = kKt \quad (2)$$

El porcentaje de degradación del colorante se obtuvo usando la ecuación:

$$\% \text{ Degradacion} = \frac{(\text{Concentracion inicial} - \text{concentracion})}{\text{Concentracion inicial}} \times 100$$

Tabla 1

*Concentración y % de degradación de la **Tartrazina** en función del tiempo de reacción, utilizando 100 mg/100 ml de catalizador, para muestras de 20, 30, 40 y 50 ppm de solución*

Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Ln (Co/C)	Concentración Inicial (ppm)	%D
0	0,5469	18,0659	0	20	0
5	0,2802	12,5670	0,3629		30,4382
10	0,1573	10,0330	0,5881		44,4647
15	0,0446	7,7092	0,8516		57,3270
20	0,0011	6,8123	0,9752		62,2917
0	1,1868	31,2598	0	30	0
5	0,8963	25,2701	0,2127		19,1610
10	0,7722	22,7113	0,3195		27,3465
15	0,5651	18,4412	0,5277		41,0065
20	0,4619	16,3134	0,6503		47,8135
0	1,7641	43,1629	0	40	0
5	1,5301	38,3381	0,1185		11,1780
10	1,4006	35,6680	0,1907		17,3640
15	1,1620	30,7484	0,3391		28,7618
20	0,9987	27,3814	0,4551		36,5625
0	1,9699	47,4061	0	50	0
5	1,6075	39,9340	0,1715		15,7620
10	1,3794	35,2309	0,2968		25,6828
15	1,1836	31,1938	0,4185		34,1988
20	1,0095	27,6041	0,5408		41,7710

Elaboracion propia.

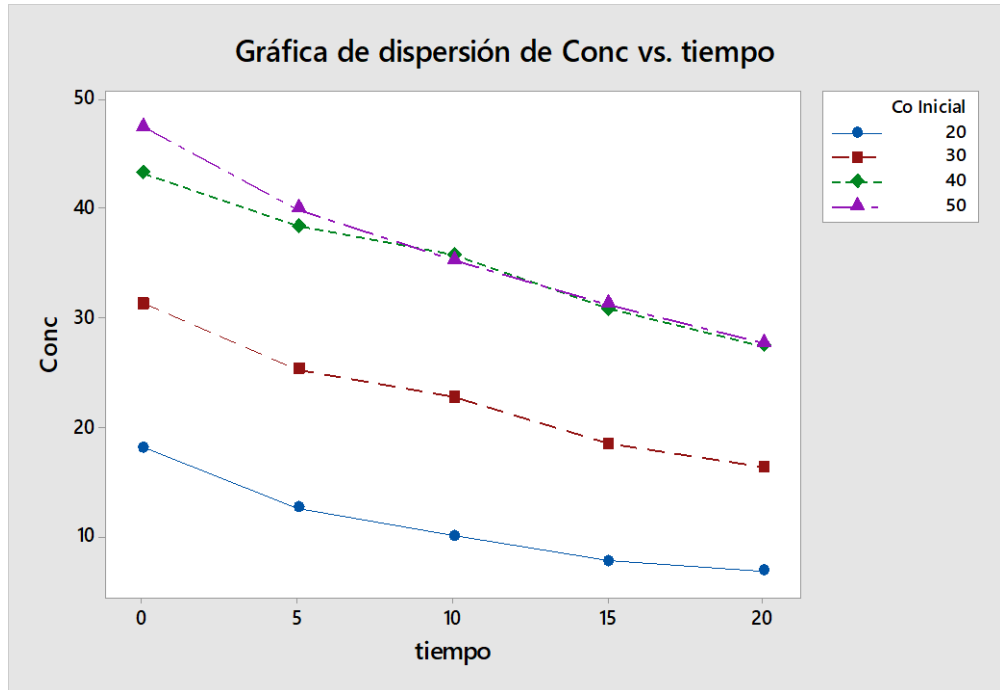
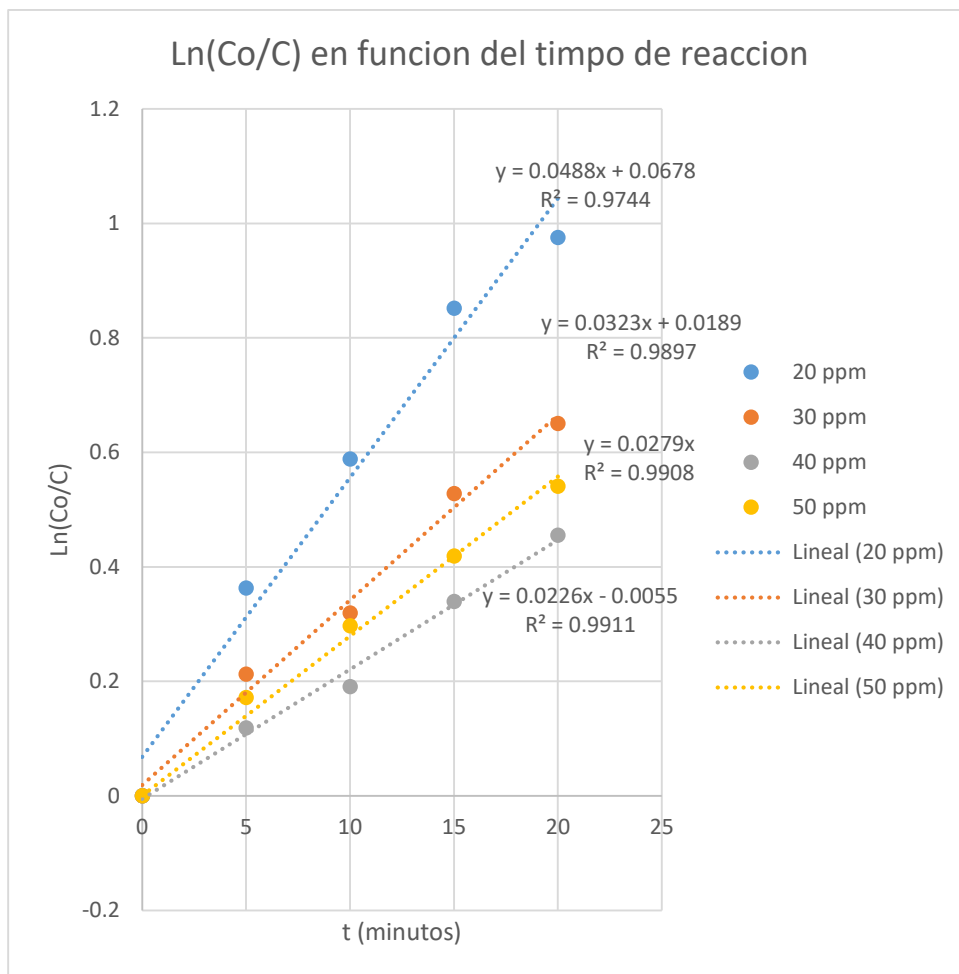


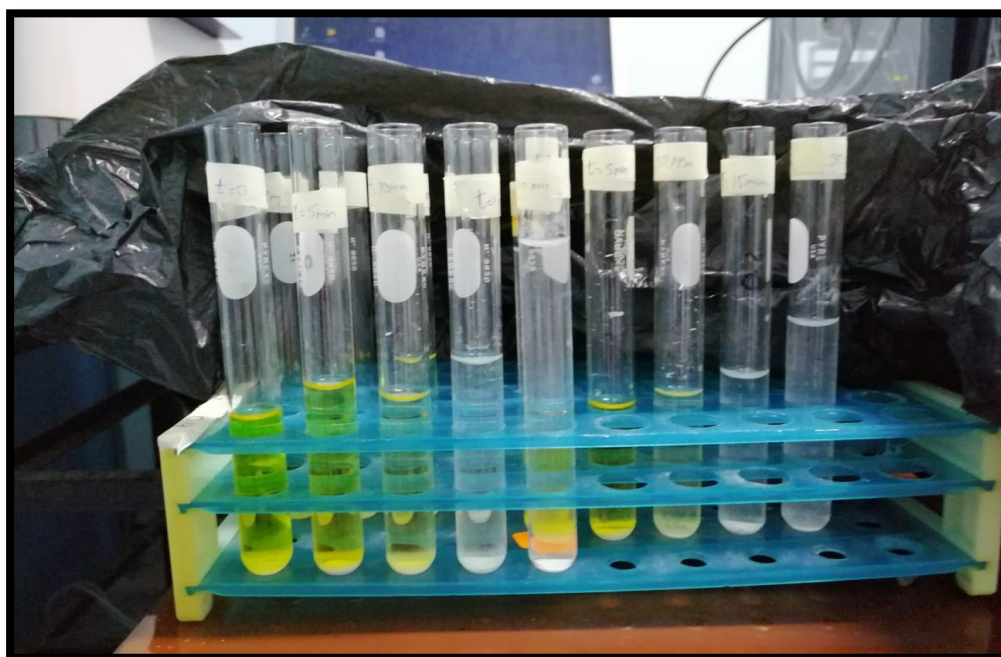
Figura 7. Grafica de dispersión de Concentración en función del tiempo de reacción del colorante tartrazina a concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm. Elaboración propia



*Figura 8.* Grafica de  $\ln(Co/C)$  en función del tiempo de reacción del colorante tartrazina a concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm. Elaboración propia



*Figura 9.* Exposición a radiación solar (reactor batch) de la muestra de colorante tartrazina. Elaboración propia



*Figura 10.* Degradación de la concentración del colorante tartrazina, de la muestra de 20 ppm en función del tiempo de reacción de 0, 5, 10, 15 y 20 minutos. Elaboración propia

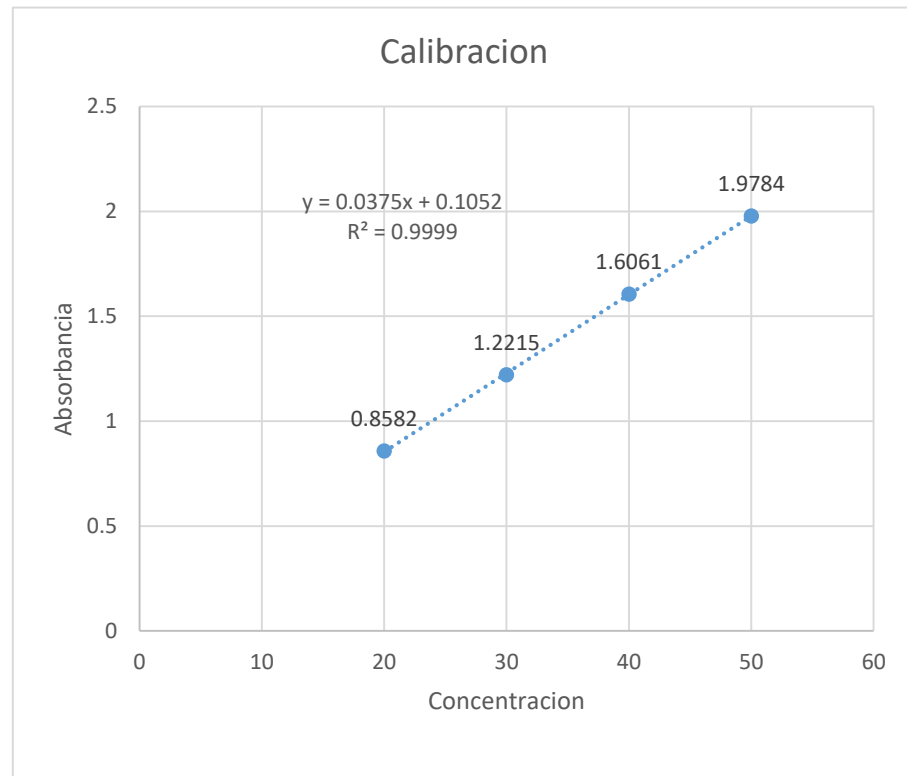
#### **5.1.4 Cinética de reacción de degradación de la tartrazina sin fotocatalizador ZnO**

Las muestras de solución de colorante tartrazina de concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm, sin catalizador se expusieron a radiación solar en el intervalo de tiempo de las 12 horas hasta las 16 horas, en un reactor batch con agitación uniforme (pastillas magnéticas) cada una. Se tomaron muestras de 10 ml de cada reactor en intervalos de tiempo de 5, 10, 15 y 20 minutos. Se midieron las absorbancias en el espectrofotómetro UV. Los resultados de las corridas, se resumen en la tabla 2. La concentración del colorante se obtiene de la curva de calibración del colorante tartrazina que se muestra en las figura 11 y 12.

#### **5.1.5 Determinación del efecto de la concentración del fotocatalizador ZnO**

Para obtener la cantidad óptima de fotocatalizador ZnO durante el proceso fotocatalítico, se escogió arbitrariamente cantidades de 100, 200, 300 y 400 mg de ZnO. Estas fueron colocadas separadamente en cada uno en los matraces de 250 ml que contenían concentraciones de 50 ppm de colorante tartrazina. Se realizó la irradiación solar y se tomaron muestras de 10 ml de cada reactor en intervalos de tiempo de 5, 10, 15 y 20 minutos. Los resultados de los análisis se resumen en la tabla 3 y figura 13.





$$\text{Concentracion de colorante} = \frac{\text{Absorbancia} - 0,1052}{0.0375}$$

*Figura 11.* Curva de calibración, Absorbancia en función de la concentración del colorante tartrazina a concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm, sin foto catalizador. Elaboración propia

Tabla 2

*Concentración y % de degradación de la Tartrazina en función del tiempo de reacción, sin usar catalizador, para muestras de 20, 30, 40 y 50 ppm de solución*

Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Ln (Co/C)	Concentración Inicial (ppm)	%D
0	0,8582	20,0800	0	20	0
5	0,8901	20,9360	-0,0414		4,2360
10	0,9007	21,2133	-0,0549		5,6440
15	0,8760	20,5547	-0,0233		2,3638
20	0,8615	20,1680	-0,0043		0,4382
0	1,2215	29,7680	0	30	0
5	1,1914	28,9650	0,0273		2,6964
10	1,2071	29,3840	0,0129		1,2899
15	1,2171	29,4800	0,0097		0,9674
20	1,2262	29,8880	0,0040		0,4031
0	1,6061	40,4480	0	40	0
5	1,6191	40,3707	0,0086		0,8660
10	1,6208	40,4160	0,0097		0,9794
15	1,6038	39,9626	0,0015		0,1532
20	1,6220	40,4480	0,0105		1,0590
0	1,9784	49,9520	0	50	0
5	1,9745	49,8346	0,0023		0,2348
10	1,9680	49,6746	0,0055		0,5551
15	1,9543	49,3093	0,0129		1,2865
20	1,9978	50,4697	0,0103		1,0356

Elaboracion propia.

La tabla 2, muestra el resumen de las corridas experimentales sin utilizar catalizador. Se observa que no hay cambio de la concentración en el tiempo, tampoco degradación, lo que indica que sin catalizador no existe la reacción de degradación del colorante.

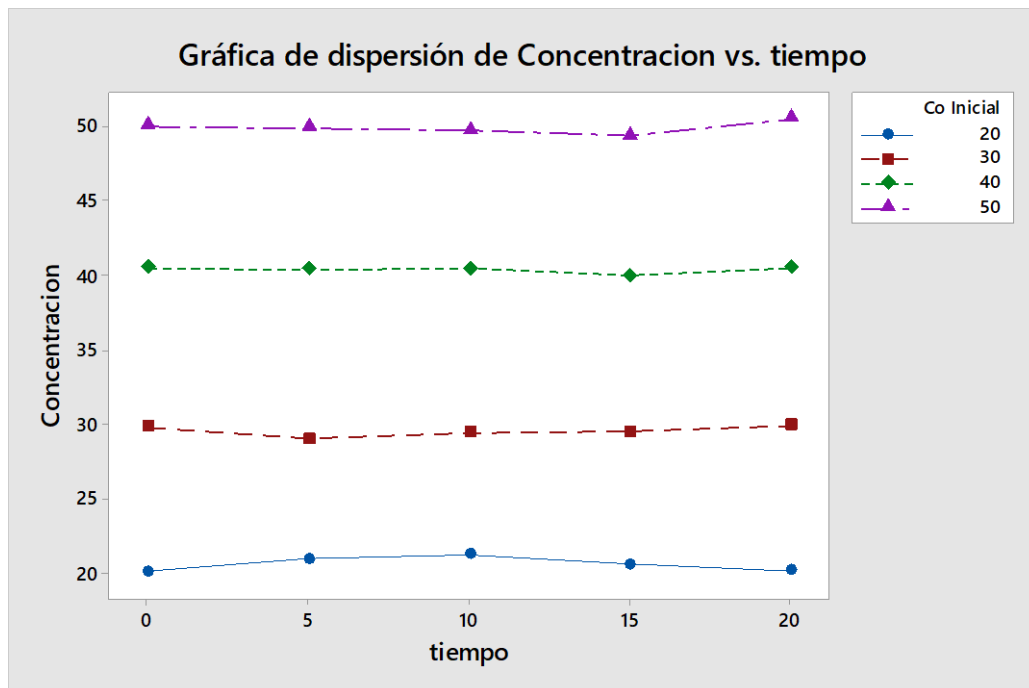


Figura 12. Grafica de dispersión de Concentración en función del tiempo de reacción del colorante tartrazina a concentraciones de 20, 30, 40 y 50 ppm, sin usar foto catalizador. Elaboración propia

#### 5.1.4 Determinación del efecto de la concentración del fotocatalizador ZnO

Para obtener la cantidad óptima de fotocatalizador ZnO durante el proceso fotocatalítico, se escogió arbitrariamente cantidades de 100, 200, 300 y 400 mg de ZnO. Estas fueron colocadas separadamente en cada uno en los matraces de 250 ml que contenían concentraciones de 50 ppm de colorante tartrazina. Se realizó la irradiación solar y se tomaron muestras de 10 ml de cada reactor en intervalos de tiempo de 5, 10, 15 y 20 minutos. La figura 13 muestra el  $\ln(C_0/C)$  en función del tiempo, y los resultados de los análisis se resume en la tabla 3.

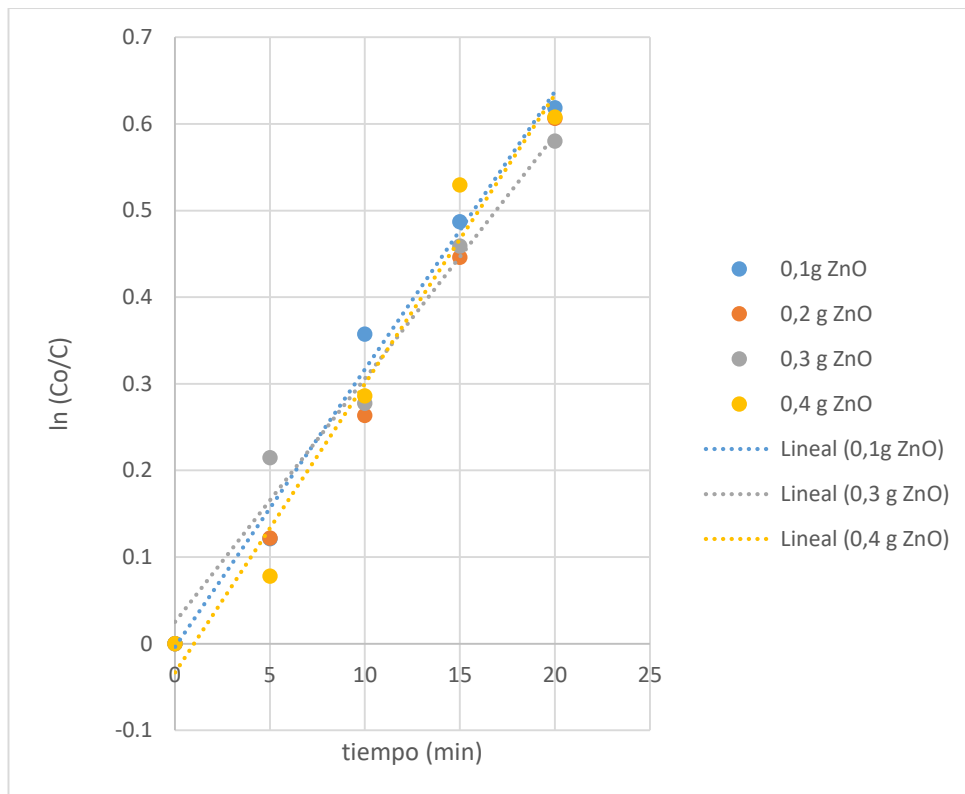


Figura 13. Grafica de  $\ln(C_0/C)$  en función del tiempo de reacción de muestras de 50 ppm de colorante tartrazina usando cantidades de 0,1; 0,2; 0,3 y 0,4 g de catalizador ZnO. Elaboración propia

Tabla 3

*Concentración y % de degradación de la Tartrazina en función del tiempo de reacción, usando muestras de 50 ppm de solución y con cantidad de catalizador ZnO de 01,02,03 y 04 g respectivamente en cada muestra.*

Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Ln (Co/C)	Cantidad de catalizador (g)	%D
0	1,9699	47,4061	0	0,1	0
5	1,7075	41,9958	0,1212		11,4126
10	1,2794	33,1690	0,3571		30,0321
15	1,0836	29,1319	0,4869		38,5481
20	0,9095	25,5422	0,6184		46,1204
0	1,9699	47,4061	0	0,2	0
5	1,7063	41,9711	0,1218		11,4648
10	1,4374	36,4260	0,2634		23,1602
15	1,1429	30,3540	0,4458		35,9690
20	0,9247	25,8556	0,6062		45,4593
0	1,9699	47,4061	0	0,3	0
5	1,5260	38,2536	0,2145		19,3067
10	1,4130	35,9237	0,2773		24,2015
15	1,1240	29,9649	0,4587		36,7910
20	0,9580	26,5423	0,5800		44,0109
0	1,9699	47,4061	0	0,4	0
5	1,7975	43,8515	0,07794		7,4982
10	1,3980	36,6144	0,2860		24,8738
15	1,0250	27,9237	0,5293		41,0969
20	0,9230	25,8206	0,6076		45,5332

Elaboracion propia.

## 5.2 Resultados inferenciales

De los resultados obtenidos en el ítem 5.1, se confirma que la degradación del colorante tartrazina mediante la fotocatalisis solar heterogénea usando el óxido de zinc como catalizador, es satisfactorio logrando reducciones del 63% al cabo de 20 minutos y se infiere su mineralización total en un tiempo muy cercano a este.

Asimismo, los resultados de la tabla 2 y figuras 11 y 12 indican que el proceso fotocatalítico de degradación del colorante tartrazina sin catalizador prácticamente no existe.

Los resultados de la tabla 1 y figura 7 muestran que a medida que la concentración del colorante tartrazina aumenta, la cinética de reacción disminuye, y se infiere que la velocidad de reacción será más alta, para una concentración óptima del colorante de 20 ppm.

En el estudio del efecto de la cantidad de catalizador óptima sobre la degradación de la concentración del colorante tartrazina, los resultados de la tabla 3 y figura 13 muestran que a bajas cantidades de catalizador el proceso fotocatalítico es más eficiente, por lo tanto la cantidad óptima es 1 g/L. Se infiere que para concentraciones superiores, el efecto es mínimo.

## CAPITULO VI: DISCUSION DE RESULTADOS

### 6.1 Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

Los datos experimentales obtenidos en la degradación del colorante tartrazina que se muestra en la tabla 1 (pagina 33) se sometió al análisis estadístico, a fin de responder las hipótesis planteadas.

El primer paso consistió en realizar un análisis de varianza con la finalidad de comprobar que las variables independientes seleccionadas correlacionan con la variable dependiente. Luego se propone un modelo que contenga una conducta línea. El modelo de diseño experimental utilizado fue el de Diseño de Bloques Completamente Aleatorizado DBCA. La codificación de factores utilizadas es (-1; 0; +1). La información del factor es:

Factor	Tipo	Niveles	Valores
t(min)	Fijo	5	0; 5; 10; 15; 20
Co	Fijo	4	20; 30; 40; 50

El resultado se muestra en la tabla 4.

Tabla 4.

*ANOVA para el modelo de primer orden del colorante tartrazina*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
T(min)	4	587.90	146.976	67.24	0.000
Co	3	2107.05	702.350	321.31	0.000
Error	12	26.23	2.186		
Total	19	2721.18			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.47848	99.04%	98.47%	97.32%

Elaboración propia

El valor  $p$  para el modelo de primer orden se encuentra por debajo de 0,05 por lo que con un nivel de certeza estadística del 99,5% se puede afirmar que el modelo describe adecuadamente el comportamiento del proceso de degradación fotocatalítica del colorante tartrazina.

Para validar la decisión de emplear el modelo lineal se observa que el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{\text{ajustado}}$ ) son muy altos, lo que indica con confianza la validez del modelo respecto a los datos pronosticados en el rango de trabajo utilizado.

En conclusión, se rechaza la hipótesis nula y se arriba a la conclusión de que existe degradación de la concentración del colorante tartrazina. Asimismo, se analiza el efecto de la concentración del colorante en el proceso fotocatalítico, así como también el efecto de la cantidad de catalizador idónea.

### **6.1 Contratación de los resultados con otros estudios similares**

Los resultados de la tabla 1, figuras 7 y 8 indican que el óxido de zinc es un excelente catalizador para la degradación fotocatalítica solar heterogénea del colorante tartrazina. Otros autores como Arroyave et al (2008), Al-Dawary (2013) Morales, et al (2013), Gil Pavas et al (2014), Pantoja y Portales (2015) también estudiaron la degradación de la tartrazina mediante diversas técnicas con resultados muy satisfactorios, usando el dióxido de titanio como fotocatalizador, lámparas de luz UV, y el peróxido de hidrogeno en distinta composición. A diferencia respecto a los autores, es que en el experimento se utilizó como catalizador el óxido de zinc y la energía solar como fuente energética, energía ecológica, limpia y barata.

Corzo y Lucioni (2011) aplicaron la fotocatalisis solar heterogénea en su estudio de la degradación fotocatalítica oxidativa del colorante rodamina B, usando óxido de zinc y luz solar, con resultado muy satisfactorios y demostrando las bondades de esta tecnología.

Alguna otra información en la literatura afin, sobre la degradación del colorante tartrazina utilizando la fotocatalisis solar heterogénea no se ha encontrado. Esto garantiza la idoneidad de este trabajo de investigación, por



lo que se propone esta nueva tecnología como una alternativa de solución para el tratamiento de efluentes líquidos conteniendo colorante tartrazina.

Asimismo, se observó que a medida que la concentración del colorante tartrazina aumenta, la cinética de reacción disminuye, y para que la velocidad de reacción sea más alta, la concentración óptima del colorante debe ser de 20 ppm. Resultados similares obtuvieron Corzo y Lucioni (2011) en su estudio de degradación de la rodamina B. Por otro lado, la cantidad de catalizador óptima sobre la degradación de la concentración del colorante tartrazina, fue de 1 g/L. Corzo y Lucioni (2011) obtuvieron la cantidad óptima de 2 g/L. Una explicación a este fenómeno es que a concentraciones de colorantes altas, o soluciones con concentraciones elevadas de fotocatalizador impiden el libre desplazamiento de fotones a través de la solución, dificultando la fotocatalisi.

### **6.3 Responsabilidad ética**

La **responsabilidad ética** consiste en el compromiso al cumplimiento de acuerdos implícitos o explícitos respecto a la conducta idónea y respetuosa en un ámbito o actividad profesional. La responsabilidad, revelan nuestra pertenencia a la humanidad y a la naturaleza. Por eso, los lazos, los compromisos, las obligaciones vividas es lo que nos hace sentir responsables.

Bajo este concepto, el autor garantiza la responsabilidad ética del presente trabajo, sobre la degradación del colorante tartrazina utilizando la fotocatalisis solar heterogénea usando el óxido de zinc. No se ha encontrado información similar en la literatura afin, lo que indica la idoneidad del trabajo de investigación. Por lo tanto, se propone esta nueva tecnología como una alternativa de solución para el tratamiento de efluentes líquidos conteniendo colorante tartrazina. .

## CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo indican que el óxido de zinc, es un excelente catalizador para el proceso de degradación de la concentración del colorante tartrazina mediante la fotocatalisis solar heterogénea, logrando una reducción cercano al 63% al cabo de 20 minutos y alcanzando una degradación total para un tiempo ligeramente superior. Cabe señalar que los resultados de la tabla 2 y figura 12, indican que el proceso de degradación foto catalítica solar sin catalizador no existe. Es decir, es imposible sin catalizador.

Asimismo, se observa que la cinética de degradación de la concentración fotocatalítica del colorante tartrazina, obedece al modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood y es de pseudo primer orden con una constante cinética promedio de  $164,36 \text{ min}^{-1}$ , constante de equilibrio  $K = 0,00013$  y  $t_{1/2} \text{ (promedio)} = 22,36$  minutos. También se observó que a medida que la concentración del colorante tartrazina aumenta, la cinética de reacción disminuye, y para que la velocidad de reacción sea más alta, la concentración optima del colorante debe ser de 20 ppm. Por otro lado, el estudio del efecto de la cantidad de catalizador óptima sobre la degradación de la concentración del colorante tartrazina, indica que a bajas cantidades de catalizador el proceso fotocatalítico es más eficiente, por lo tanto la cantidad óptima es 1 g/L. Para concentraciones superiores, el efecto es mínimo.

## **RECOMENDACIONES**

En la tecnología propuesta se utiliza como catalizador el óxido de zinc en suspensión. Las en suspensión ocasiona la aparición de sólidos suspendidos, que es parámetro limitado por la legislación en materia de vertidos. Por lo que tanto es necesario separar las partículas de ZnO de las aguas tratadas antes de su vertido o reutilización, esto es uno de los principales inconvenientes al aplicar esta tecnología debido a su reducido tamaño. La solución a este problema presenta dos alternativas: aumentar el tamaño de las partículas a fin de separarlas por filtración, o adherirlas a soportes (vidrio, policarbonato, estireno, etc.) de mayor tamaño para mejorar la separación. En sistemas abiertos esto es muy importante.

Aplicar esta tecnología en lugares con bastante irradiación solar o en épocas de verano en aquellas ciudades con estaciones definidas. Otra alternativa es utilizar con tecnologías combinadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Al-Dawary, Salam K. (2013). Photo-Catalyst Degradation of Tartrazine Compound in Wastewater Using  $\text{TiO}_2$  and UV Light. *Journal of Engineering Science and Technology*. 8 (6),15-25.
- Arroyave Rojas, Joan. (2008). Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatalisis heterogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. *P+L Revista Lasallista de Investigación*. 3 (2), 25-35.
- Calvo Miguel. (2008). Colorantes artificiales. Recuperado de:  
[https://www.google.com/search?ei=52GnXM67D43c5gKVIYCQBA&q=colorantes+artificiales.+calvo+m.&oq=colorantes+artificiales.](https://www.google.com/search?ei=52GnXM67D43c5gKVIYCQBA&q=colorantes+artificiales.+calvo+m.&oq=colorantes+artificiales)
- Corder E.H., Buckley C.E (1995). Aspirin, salicylate, sulfite and tartrazine induced bronchoconstriction. Safe doses and case definition in epidemiological studies. *J. Clin. Epidemiol*, 48 (10),1269-1275.
- Corzo-Lucioni, A. y Vega-Baudrit, J. (2012). Estudio cinético de la degradación foto catalítica oxidativa de colorantes empleados en la industria textilera. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 13(1), 60-68.
- Chen, Liu. Jiangfeng, P. Liu, and B. (2011), Investigation of Photocatalytic Degradation of Methyl Orange by Using Nano-Sized ZnO catalysts. *Adv. Chem. Eng. Sci.*, vol. 01, no. 01, pp. 9–14.
- Daneshvar, D. Salari, and a. . Khataee, (2004). Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to  $\text{TiO}_2$ . *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 162, no. 2–3, pp. 317–322.
- Delgado-Balderas, L. Hinojosa-Reyes, J. L. Guzmán-Mar, J. M. Alfaro-Barbosa, J. M. Peralta-Hernández, and A. Hernández- Ramírez, (2010). Remoción fotocatalítica de cromo hexavalente en residuos acuosos provenientes de laboratorios de investigación. In Congreso Internacional de QFB 2010.
- Gershwin M.E., Albertson, T.E. (2001). Bronchial asthma: principles of diagnosis and treatment, Humana Press; 4ta ed. ISBN 0-89603-861-0, Tartrazine and other dyes, pp: 330

- Gil Pavas E., Dobrosz - Gómez I., Gómez - García M.A. (2012). Degradación y mineralización de tartrazina mediante electro oxidación. Optimización de las condiciones de operación. *Inf. tecnol.* 25 (4),163-174. ISSN 0718-0764 Universidad Nacional de Colombia.
- Huang, . Wang, J. Wu, and X. L , (2010). Titanium Dioxide Nanomaterials : Basics and Design , Synthesis and Applications in Solar Energy utilization Techniques, in Solar Collectors and Panels. Theory and Applications, R. Manyala, Ed. InTech.
- Li and H. Haneda, (2003). Morphologies of zinc oxide particles and their effects on photocatalysis. *Chemosphere*, vol. 51, no. 2, pp. 129–37.
- Liu, H. Bai, S. Xu, and D. D. Sun, (2011). Hierarchical uO/ZnO ‘corn-li e’ architecture for photocatalytic hydrogen generation, *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 21, pp. 13473–13480.
- Maekawa et al. (1987). Lack of carcinogenicity of tartrazine (FD & C Yellow N° 5) in the rat. *Food Chem. Toxicol.* 25 (12), 891-896.
- Morales P.J., Sham E.L., Cornejo R., y Farfan Torres M. (2013). Degradación foto catalítica de tartrazina: Influencia de parámetros significativos del proceso. *VII CAIQ*. Universidad de Salta. Argentina.
- Morrison and T. Freund, (1967). Chemical ole of Holes and Electrons in ZnO Photocatalysis, *J. Chem. Phys.*, vol. 47, no. 4, p. 1543.
- Pantoja Cadillo y Portales Tarrillo (2015). Reduction de concentracion de Amarillo de tartrazina contenido en aguas de lavado de la industria de bebidas, mediante UV/H2O2. *Tesis maestria*, FIQ UNAC.
- Pardeshi and a. B. Patil, (2008). Simple route for photocatalytic degradation of phenol in aqueous zinc oxide suspension using solar energy. *Sol. Energy*, vol. 82, no. 8, pp. 700– 705.
- Petruta Oancea, Viorica Meltzer. (2014). Kinetics of tartrazine photodegradation by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in aqueous solution. *Chemical Papers.* 68 (1),105-111.  
Recuperado de:  
<http://link.springer.com/article/10.2478/s11696-013-0426-5>

- Romero M., Blanco J., Sánchez B, Vidal A., Malato S., Cardona A.I. (1999). Solar photocatalytic degradation of water and air pollutants: Challenges and perspective. *Solar Energy*. 66 (1), 169-182.
- Rodríguez, R. (2007). Eliminación foto catalítica de H<sub>2</sub>S en el aire mediante TiO<sub>2</sub> soportado sobre sustratos transparentes en el UV-A. *Tesis doctoral*. Universidade de *Santiago de Compostela*: Departamento de Enxeñaría Química.
- Sakthivel, B. Neppolian, M. V Shankar, B. Arabindoo, M. Palanichamy, and V. urugesan. (2003). Solar photocatalytic degradation of azo dye: comparison of photocatalytic efficiency of ZnO and TiO<sub>2</sub>. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 77, no. 3, pp. 65–82, 2003.
- Serrano, D. (2013). Foto degradación de Aguas de Proceso de la Industria Textil. España: Proyecto de fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid.
- Turner PJ., Kemp A.S. (2012). Allergic rhinitis in children. *J Paediatr Child Health*. 48(4), 302-310. doi: 10.1111/j.1440-1754.2010.01779.x. Epub 2010 Jun 27.
- Vanysek (2004), Hager (1990). Tratamientos de oxidación avanzada. *Agua & Medio Ambiente*. Recuperado de:  
<https://www.google.com/search?ei=BWanXIDGK-2b5wLb4KjAAQ&q=agua-medio+ambiente.biogspot&oq=agua-medio+amb>
- Vigo Devorah (2018). Cuidado con la tartrazina, un colorante enemigo de las loncheras. Recuperado de: <https://diariocorreo.pe/.../cuidado-con-la-tartrazina-un-colorante-de-cuidado-572886/>
- Zhang Y., Rodríguez, R. (2011). Batch adsorption and mechanism of Cr(VI) Removal from Aqueous solution by Polyaniline 7Humic Acid Nanocomposite. *Journal of Environmental Engineering*. 137(12), 1158-1164.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1:** Materiales de laboratorio, reactivos colorantes, instrumentos y equipos utilizados en el experimento.

**ANEXO 2:** Reporte de Análisis de Absorbancia en el espectrofotómetro UV/Variant/Cary del proceso foto catalítico usando 0,1 g de catalizador

**ANEXO 3:** Matriz de consistencia.

**ANEXO 1:** Materiales de laboratorio, reactivos colorantes, instrumentos y equipos utilizados en el experimento.

A) Fotografías de materiales de laboratorio



Matraces y fiolas

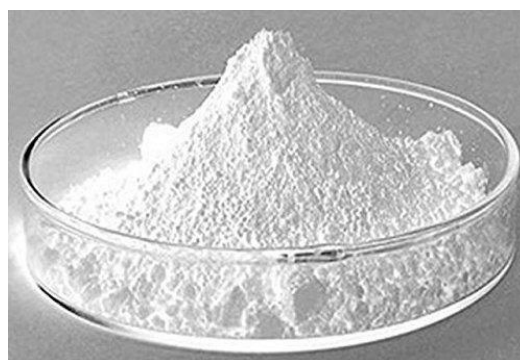


Fiola con colorante

B) Reactivos



Colorante amarillo tartrazina



Óxido de zinc



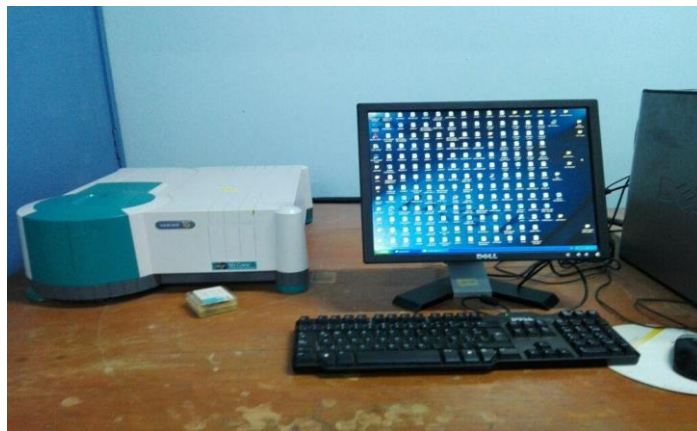
C) Equipos e Instrumentos



Balanza analítica



Reactor batch con agitador magnético



Espectrofotometro UV/ Varyan-Cary 50 Bio

**ANEXO 2: Reporte de Análisis de Absorbancia en el espectrofotómetro UV/Variant/Cary del proceso foto catalítico usando 0,1 g de catalizador**

## Informe Análisis Concentración

Hora Informe 20/11/2019 11:52:17  
 Método  
 Nombre de Lote C:\Documents and Settings\Administrador\Escritorio\tartrazina  
 1\20ppm con catalizador.BCN  
 Aplicación Concentración 3.00 (339)  
 Operador **20ppm con catalizador**

### Condiciones del Instrumento

Instrumento Cary 50  
 N° Versión Intrumento. 3,00  
 Long. Onda (nm) 427,0  
 Modo Ordenadas Abs  
 T. Med. (sec) 0,1000  
 Replicados 3  
 Media Patrón/Muestra Apag.  
 Correcciones de peso y volumen Apag.  
 Tipo Ajuste Lineal  
 Mín R<sup>2</sup> 0,95000  
 Unidades Concentración mg/L  
 Cambiador Celdas Encen.

Comentarios:  
 20ppm con catalizador

### Informe Cero

Leer	Abs	nm
Cero	(0,1439)	427,0

### Calibración

Tiempo Colección 20/11/2019 11:52:29

Patrón	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Patrón1	0,0		0,5469	0,0001	0,02	0,5468
						0,5470
						0,5468
Patrón2	5,0		0,2802	0,0000	0,01	0,2803
						0,2802
						0,2802
Patrón3	10,0		0,1573	0,0000	0,03	0,1573
						0,1573
						0,1572
Patrón4	15,0		0,0446	0,0001	0,20	0,0445
						0,0446
						0,0446
Patrón5	20,0		0,0011	0,0001	4,97	0,0011
						0,0010
						0,0011

Ecuación Calib. Abs = -0,02654\*Conc + 0,47145  
 Coef. Correlación 0,91686

Fallo en Mín R<sup>2</sup>

# Informe Análisis Concentración

Hora Informe 20/11/2019 12:02:19  
 Método  
 Nombre de Lote C:\Documents and Settings\Administrador\Escritorio\tartrazina  
 1\30ppm con catalizador.BCN  
 Aplicación Concentración 3.00(339)  
 Operador **30ppm con catalizador**

## Condiciones del Instrumento

Instrumento Cary 50  
 N° Versión Intrumento. 3,00  
 Long. Onda (nm) 427,0  
 Modo Ordenadas Abs  
 T. Med. (sec) 0,1000  
 Replicados 3  
 Media Patrón/Muestra Apag.  
 Correcciones de peso y volumen Apag.  
 Tipo Ajuste Lineal  
 Mín R<sup>2</sup> 0,95000  
 Unidades Concentración mg/L  
 Cambiador Celdas Encen.

Comentarios:  
 30ppm con catalizador

## Informe Cero

Leer	Abs	nm
Cero	(0,1428)	427,0

## Calibración

Tiempo Colección 20/11/2019 12:02:40

Patrón	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Patrón1	0,0		1,1868	0,0002	0,02	1,1866
						1,1870
						1,1868
Patrón2	5,0		0,8963	0,0004	0,04	0,8967
						0,8961
						0,8961
Patrón3	10,0		0,7722	0,0002	0,02	0,7720
						0,7723
						0,7722
Patrón4	15,0		0,5651	0,0002	0,03	0,5653
						0,5650
						0,5652
Patrón5	20,0		0,4619	0,0000	0,01	0,4619
						0,4618
						0,4619

Ecuación Calib. Abs = -0,03562\*Conc + 1,13265  
 Coef. Correlación 0,97188

# Informe Análisis Concentración

Hora Informe 20/11/2019 12:10:45  
 Método  
 Nombre de Lote C:\Documents and  
 Settings\Administrador\Escritorio\tartrazina  
 1\40ppm con catalizador.BCN  
 Aplicación Concentración 3.00(339)  
 Operador **40ppm con catalizador**

## Condiciones del Instrumento

Instrumento Cary 50  
 N° Versión Intrumento. 3,00  
 Long. Onda (nm) 427,0  
 Modo Ordenadas Abs  
 T. Med. (sec) 0,1000  
 Replicados 3  
 Media Patrón/Muestra Apag.  
 Correcciones de peso y volumen Apag.  
 Tipo Ajuste Lineal  
 Mín R<sup>2</sup> 0,95000  
 Unidades Concentración mg/L  
 Cambiador Celdas Encen.

Comentarios:  
 40pm con catalizador

## Calibración

Tiempo Colección 20/11/2019 12:10:59

Patrón	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Patrón1						1,7626
						1,7654
	0,0		1,7641	0,0014	0,08	1,7642
Patrón2						1,5294
						1,5301
	5,0		1,5301	0,0007	0,05	1,5308
Patrón3						1,3993
						1,4016
	10,0		1,4006	0,0012	0,08	1,4007
Patrón4						1,1621
						1,1617
	15,0		1,1620	0,0003	0,02	1,1622
Patrón5						0,9992
						0,9983
	20,0		0,9987	0,0004	0,04	0,9987

Ecuación Calib. Abs = -0,03798\*Conc +1,75084  
 Coef. Correlación 0,99333

Los datos no ascienden.

## Leyenda Marcas Resultados

U = Sin calibrar O = Fuera de rango  
 N = No usado en calibración R = Lectura repetida

# Informe Análisis Concentración

Hora Informe 20/11/2019 12:19:54  
 Método  
 Nombre de Lote C:\Documents and Settings\Administrador\Escritorio\tartrazina  
 1\50ppm con catalizador.BCN  
 Aplicación Concentración 3.00 (339)  
 Operador **50ppm con catalizador**

## Condiciones del Instrumento

Instrumento Cary 50  
 N° Versión Instrumento. 3,00  
 Long. Onda (nm) 427,0  
 Modo Ordenadas Abs  
 T. Med. (sec) 0,1000  
 Replicados 3  
 Media Patrón/Muestra Apag.  
 Correcciones de peso y volumen Apag.  
 Tipo Ajuste Lineal  
 Mín R<sup>2</sup> 0,95000  
 Unidades Concentración mg/L  
 Cambiador Celdas Encen.

Comentarios:  
 50ppm con catalizador

## Informe Cero

Leer	Abs	nm
Cero	(0,1501)	427,0

## Calibración

Tiempo Colección 20/11/2019 12:20:05

Patrón	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Patrón1	0,0		1,9699	0,0026	0,14	1,9695
						1,9676
						1,9726
Patrón2	5,0		1,6075	0,0006	0,04	1,6082
						1,6071
						1,6071
Patrón3	10,0		1,3794	0,0017	0,13	1,3793
						1,3811
						1,3778
Patrón4	15,0		1,1836	0,0008	0,08	1,1839
						1,1843
						1,1827
Patrón5	20,0		1,0095	0,0002	0,03	1,0095
						1,0093
						1,0098

Ecuación Calib. Abs = -0,0266\*Conc + 0,0198  
 Coef. Correlación 0,9945

### ANEXO 3: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

#### “DEGRADACIÓN DE LA TARTRAZINA MEDIANTE FOTOCATÁLISIS SOLAR HETEROGÉNEA USANDO OXIDO DE ZINC”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Podrá degradarse la tartrazina mediante el proceso de fotocátalisis solar heterogénea usando el óxido de zinc como catalizador?	Determinar la degradación de la tartrazina mediante el proceso de fotocátalisis solar heterogénea usando el óxido de zinc como catalizador	Si la concentración del colorante disminuye en el tiempo entonces la degradación de la tartrazina mediante el proceso de fotocátalisis solar heterogénea usando oxido de zinc, es viable	$Y = \%$ de degradación del colorante tartrazina	% de degradación de la concentración del colorante	<ul style="list-style-type: none"> <li>Porcentaje de disminución de la concentración del colorante en unidad de tiempo</li> </ul>	Ecuación de Langmuir-Hinshelwood
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Se podrá obtener los parámetros cinéticos de la degradación de la tartrazina en el proceso fotocatalítico solar utilizando como catalizador el óxido de zinc?	Obtener los parámetros cinéticos de la degradación de la tartrazina en el proceso fotocatalítico solar utilizando como catalizador el óxido de zinc.	Si la degradación del colorante ocurre mediante la fotocátalisis solar heterogénea usando como catalizador el óxido de zinc, entonces se podrá obtener los parámetros cinéticos de la reacción.	$X_1 =$ tiempo de reacción	tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>minutos</li> </ul>	Método experimental de corrida
¿Se podrá determinar la concentración optima del colorante para el proceso de degradación fotocatalítica?	Determinar la concentración optima del colorante para el proceso de degradación fotocatalítica.	Mediante pruebas con distintas concentraciones iniciales del colorante es posible determinar la concentración idónea para el proceso fotocatalítico.	$X_2 =$ Concentración inicial del colorante	Concentración inicial del colorante	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mg/L de solución</li> </ul>	Espectrofotometría UV-Visible
¿Cuál será la cantidad optima del catalizador para el proceso fotocatalítico solar?	Hallar la cantidad optima de catalizador para el proceso fotocatalítico solar.	Realizando pruebas experimentales con distintas concentraciones de fotocatalizador se podrá hallar la cantidad óptima de catalizador para el proceso fotocatalítico solar.	$X_3 =$ Concentración del fotocatalizador	Concentración del fotocatalizador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mg/100 mL de solución</li> </ul>	Espectrofotometría UV-Visible